



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
Carrera de Ingeniería Agrícola

MONOGRAFÍA

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA
SUBCUENCA LAGUNA DE TISMA, UTILIZANDO EL MÉTODO
DRASTIC**

Elaborado por:

Br. Juan José Hurtado Rojas

**Para optar al título de
INGENIERO AGRÍCOLA**

Tutor: Dr. Efraín Chamorro B.

Asesor: MSc. Enoc Seth Castillo Hernández

Managua, Noviembre 2012

DEDICATORIA

Con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios, quien ha permitido que la sabiduría dirija y guíe mis pasos; el que me ha dado fortaleza día a día.

A mi madre Margarita, por su apoyo incondicional durante el transcurso de mis estudios, por todos los sacrificios que ha realizado para que esta persona sea un profesional de bien, por ser la guía en cada paso a dar. Por estar en las buenas y en las malas, en las alegrías y tristezas, gracias mamá por ser tu hijo.

A Doña Yelba López, mi segunda madre con mucho cariño, respeto y admiración. Gracias por ampararme en su familia y caluroso hogar; por ser un hijo más. Por sus consejos y correctivos durante toda esta etapa de mi vida. Estaré eternamente agradecido por todo su amor brindado.

A mi padre Carlos José, por ser un ejemplo a seguir. Gracias.

A mi hermana Margarita del Socorro, gracias al apoyo brindado durante mis estudios universitarios, por privarse de cosas y otorgárselas a esta persona.

A mis hermanos Aleyda y Eliezer.

AGRADECIMIENTO

La culminación de este trabajo fue un proceso que llegó a feliz término por la participación de personas que con su valioso aporte hicieron posible la realización del mismo, por tanto quiero agradecer de una manera muy especial al:

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), en especial a la Dirección de Hidrogeología de la Dirección General de Recursos Hídricos, por todo el apoyo suministrado a lo largo de este proceso.

Dr. Efraín Chamorro, por ser más que un maestro y brindarme su amistad, por ser perseverante en la realización de este estudio.

MSc. Enoc Castillo por brindarme la oportunidad de ser un alumno en la enseñanza de la hidrogeología, por sus consejos y recomendaciones.

MSc. Elizabeth Peña, por ser una de las precursoras en la realización de este trabajo, gracias a sus consejos y sugerencias.

Ing. Ramón Dávila, por brindarme su amistad, tiempo, sus conocimientos y por ser un gran maestro.

Ing. Amílcar Ramos, por su amistad, sus enseñanzas en sistemas de información geográfica, tiempo y espacio ante dudas.

Ing. Eduardo Sosa, un ejemplo a seguir gracias a su perseverancia.

Christiam Sequeira, un gran amigo casi hermano, gracias por su amistad brindada a esta persona durante todos estos años, esperando que siempre se conserve este gran lazo de amistad.

RESUMEN

EL presente estudio **VULNERABILIDAD HIDROGEOLOGICA DE LA SUBCUENCA LAGUNA DE TISMA, UTILIZANDO EL METODO DRASTIC**, muestra el procedimiento y los resultados obtenidos de la aplicación del método DRASTIC. El método es un sistema estandarizado para estimar la sensibilidad natural de un acuífero expuesto a la contaminación.

El método se apoya en el análisis de siete parámetros hidrogeológicos, a los cuales se les asigna un peso de acuerdo al grado de influencia que tiene cada uno de ellos en el proceso de la contaminación; asignando los pesos más altos a los de mayor influencia. Un análisis detallado de los mapas que se obtienen para cada parámetro permite subdividirlo en áreas más pequeñas clasificadas por su sensibilidad local. La sobreposición de estos mapas permite obtener un mapa de vulnerabilidad.

Los parámetros utilizados son: Profundidad del agua subterránea, Recarga, Medio Acuífero, Medio Suelo, Topografía, Zona Vadosa y Conductividad hidráulica.

El método se aplicó en la Subcuenca Laguna de Tisma, cubriendo un área de 618 km², se determinaron tres niveles de vulnerabilidad, los cuales son: Baja Vulnerabilidad, Moderada Vulnerabilidad y Alta Vulnerabilidad.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN.....	iii
CONTENIDO	iv
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE MAPAS.....	ix
CAPITULO 1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCION.....	2
1.1.1 Localización política administrativa	3
1.1.1.1 Macro localización	3
1.1.1.2 Micro localización	4
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 JUSTIFICACION	6
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos	8
CAPITULO 2 MARCO TEORICO	9
2.1 Introducción	10
2.2 Conceptos Básicos.....	11
2.2.1 Cuenca Hidrográfica	11
2.2.2 Aguas Subterráneas	11
2.2.3 Acuífero	11
2.2.3.1 Acuífero libre	12
2.2.3.2 Acuífero confinado.....	12
2.3 Vulnerabilidad Hidrogeológica	12
2.4 Contaminación Hidrogeológica.....	12
2.5 Contaminación Agrícola.....	13

2.6 Modelos de Contaminación del agua subterránea	13
2.7 Transporte de la contaminación en el acuífero	14
2.8 Métodos para determinar la vulnerabilidad	18
2.8.1 Métodos basados en procedimientos	18
2.8.2 Métodos Estadísticos	18
2.8.3 Métodos de Indexación y superposición	18
2.8.3.1 Método GOD	18
2.8.3.2 Método SINTACS	19
2.8.3.3 Método AVI	19
2.8.3.4 Método Epik	20
2.8.3.5 Método EKs	20
2.8.3.6 Método DhT (Relación de potencial hidráulico)	20
2.9 Método DRASTIC	20
2.9.1 Sistema Numérico DRASTIC	21
2.9.2 Profundidad del agua subterránea (D)	24
2.9.3 Recarga (R)	25
2.9.4 Medio Acuífero (A)	26
2.9.5 Medio Suelo (S)	27
2.9.6 Topografía. (T)	28
2.9.7 Impacto en la Zona Vadosa (I)	29
2.9.8 Conductividad Hidráulica (C)	30
2.10 Geomorfología	31
2.11 Drenaje	32
2.12 Geología Local	33
2.12.1 Cuaternario Aluvial (Qal)	33
2.12.2 Cuaternario Residual (Qr)	34
2.12.3 Sedimentos Indiferenciados (Q)	35
2.12.4 Sedimentos Volcánicos (Qv)	35
2.12.5 Formación Las Sierra (TQps)	36

2.13 Fallas y Fracturas	37
2.14 Medio Hidrogeológico	37
CAPITULO 3 DISEÑO METODOLOGICO	39
3.1 Recopilar y evaluar información Hidrogeológica existente sobre los diferentes parámetros hidrogeológicos de la zona de estudio	40
3.2 Elaboración de mapas de los diferentes parámetros hidrogeológicos de la Subcuenca Laguna de Tisma	40
3.2.1 Profundidad del agua (D).....	40
3.2.2 Recarga (R)	41
3.2.3 Medio Acuífero (A).....	42
3.2.4 Medio Suelo (S).....	43
3.2.5 Topografía (T).....	43
3.2.6 Impacto de la zona vadosa (I)	43
3.2.7 Conductividad hidráulica (C).....	44
3.3 Elaboración del mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Subcuenca Laguna de Tisma.....	45
CAPITULO 4 RESULTADOS OBTENIDOS	47
4.1 Características de los parámetros hidrogeológicos de la Subcuenca Laguna de Tisma.....	48
4.1.1 Profundidad del Agua	48
4.1.2 Recarga	52
4.1.2.1 Zona de Recarga 1 (ZR1).....	52
4.1.2.2 Zona de Recarga 2 (ZR2).....	53
4.1.2.3 Zona de Recarga 3 (ZR3).....	54
4.1.2.4 Zona de Recarga 4 (ZR4).....	56
4.1.3 Medio del Acuífero.....	59
4.1.4 Medio Suelo.....	64
4.1.5 Topografía	68
4.1.6 Zona vadosa o zona no saturada	71
4.1.7 Conductividad hidráulica.....	74
4.2 Vulnerabilidad Hidrogeológica	77

4.2.1 Descripción de la Baja vulnerabilidad	77
4.2.2 Descripción de la Moderada Vulnerabilidad	78
4.2.3 Descripción de Alta Vulnerabilidad	78
4.3 Uso del mapa de vulnerabilidad	78
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1 Conclusiones	82
5.2 Recomendaciones	85
BIBLIOGRAFIA.....	87
ANEXOS.....	92
ANEXOS A: CUADROS	93
POZOS DEL PERFIL 1	105
POZOS DEL PERFIL 2	112
ANEXOS B FIGURAS	117

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Valores de Vulnerabilidad	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 2 Peso Asignados	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 3 Profundidad del agua	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 4 Recarga	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 5 Medio Acuífero	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 6 Medio Suelo	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 7 Topografía.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 8 Impacto en la zona vadosa	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 9 Conductividad Hidráulica	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 10 Resultados de la Profundidad del Agua	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 11 resumen de los datos de las diferentes Zonas de Recarga.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 12 recarga media anual	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 13 Resultados de la Recarga.....	¡Error! Marcador no definido.

Cuadro N° 14 Valor Típico de Acuífero.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 15 Resultados del análisis de medio Acuífero.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 16 Resultados del Análisis del medio Suelo...	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 17 Resultado del parámetro Topografía.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 18 Resultados Zona vadosa.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 19 Resultados de la Conductividad Hidráulica	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 20 Resultados de la Vulnerabilidad.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro No 21 Pozos Perforados y Pozos excavados	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro N° 22 Pozos con datos hidráulicos.....	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Macro localización	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2 Micro localización	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Desplazamiento del contaminante que es menos denso que el agua en el acuífero.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4 Desplazamiento del contaminante con la misma densidad del agua en el acuífero.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5 Desplazamiento del contaminante que es mas denso que el agua en el acuífero.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura N° 6: Ubicación espacial de los Parámetros.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7 - Provincias Estructurales de Nicaragua.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8 Descripción Esquemática del Método Drástico...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9 Geología	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10 Perfil Hidrogeológico número 1.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11 Perfil Hidrogeológico N° 2.	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE MAPAS

Mapa N° 1 Profundidad del Agua.....	¡Error! Marcador no definido.
Mapa N° 2 Recarga	¡Error! Marcador no definido.
Mapa N° 2 Recarga	¡Error! Marcador no definido.
Mapa N° 3 Medio Acuífero.....	63
Mapa N° 4 Medio Suelo	67
Mapa N° 5 Topografía	69
Mapa N° 6 Zona Vadosa	73
Mapa N° 7 Conductividad Hidráulica	76
Mapa N° 8 Vulnerabilidad Hidrogeológica	80

CAPITULO 1
GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Uno de los recursos naturales más importantes es el agua, la cual desempeña varias funciones para el mantenimiento de la vida y el desarrollo. Es la base para la obtención de mayores rendimientos agrícolas, crecimiento industrial, en el desarrollo humano y es soporte vital de todas las especies y sistemas naturales. El agua es un recurso renovable, pero a la vez limitado; el aumento de la población, la deforestación, la inexistencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales, la agricultura extensiva e intensiva son factores que aumentan el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, reduciendo su calidad y disponibilidad para consumo humano.

La vulnerabilidad Hidrogeológica la define Foster e Hirata (1991), como la sensibilidad en la calidad del agua subterránea ante una carga contaminante impuesta, la cual es determinada por las características del acuífero.

La metodología DRASTIC fue desarrollada por Linda Aller y otros para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) en el año 1987, con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Es un método de evaluación cualitativa y mapeo, se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10; el 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo **DRASTIC**: **D** (depth – profundidad de agua), **R** (recharge – recarga neta), **A** (aquifer – litología del acuífero), **S** (soil – tipo de suelo), **T** (topography – topografía), **I** (impact – litología de la zona vadosa), **C** (hydraulic conductivity – conductividad hidráulica del acuífero).

La subcuenca Tisma se ha caracterizado por ser unas de las zonas de mayor desarrollo agrícola del país. Teniendo auge durante los años ochenta; años en los cuales en gran parte de su territorio funcionaba el ingenio azucarero el Timal. A pesar de la desaparición del complejo azucarero se ha visto un incremento en la siembra de arroz en las zonas del Timal, San Nicolás, Nacascolo, Finlandia, La Trinidad, Santa María y Santa Rosa; un área de siembra de 100 km² aproximadamente.

1.1.1 Localización política administrativa

1.1.1.1 Macro localización

Los límites de la Subcuenca Laguna de Tisma se encuentran compartidos entre los departamentos de Managua, Masaya y Granada, lo que confiere un carácter interdepartamental. El área de estudio limita entre las coordenadas Norte 1363771-1326012 y Este 597637- 631419. (Figura 1).



Figura 1 Macro localización

1.1.1.2 Micro localización

El área de estudio abarca el 25% del municipio de Tipitapa equivalente a 215.5 km², el 40% de Granada que equivale a 224.8 km², el 98% de Tisma es decir 123.5 km²; mientras que Masaya tiene 36% de su área equivalente a 54.2 km². La Subcuenca Laguna de Tisma tiene una extensión de 617.98 km². (Figura 2).

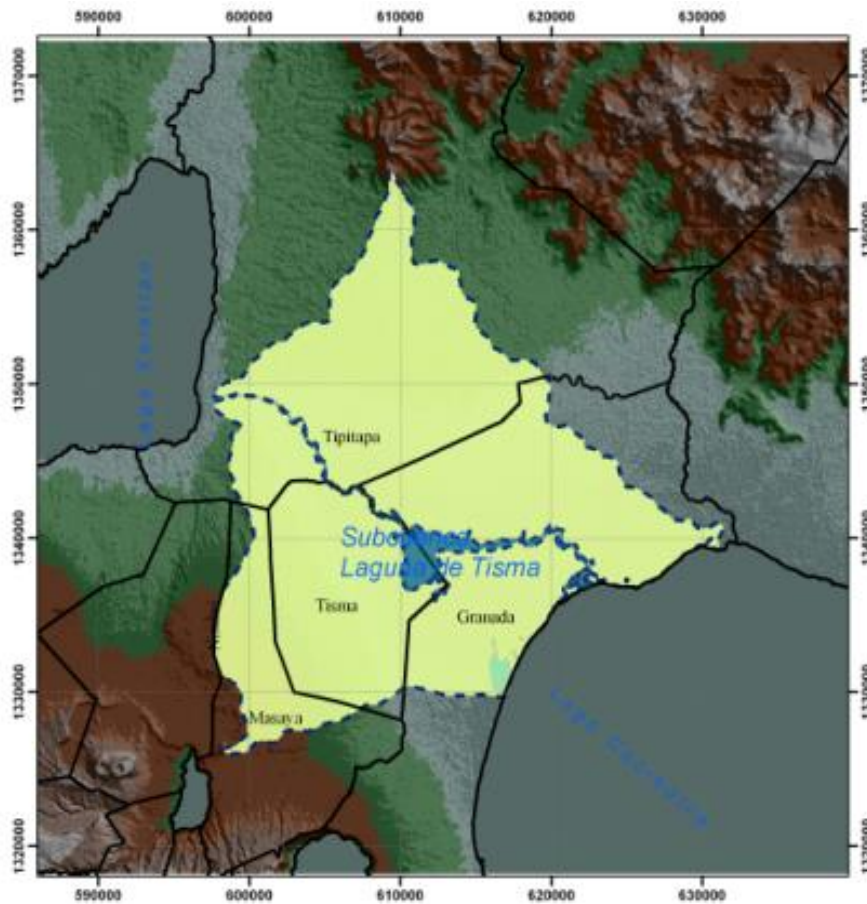


Figura 2 Micro localización

1.2 ANTECEDENTES

Aller et al. (1987) llevó a cabo por primera vez un análisis DRASTIC en los Estados Unidos en escala 1:2,000,000. Posteriormente la USEPA (1992), analizó esos resultados al aplicar el National Survey of Pesticides in Drinking Waters Well, sobre los datos cualitativos obtenidos por el DRASTIC en esa escala. Se analizaron los índices DRASTIC a de nivel condado, así como subconteos computados para 90 Condados seleccionados en los que se realizaron análisis por plaguicidas en muestras de agua de pozos. Los resultados mostraron un DRASTIC muy pobre, por lo tanto, se concluyó que para implementar un plan de manejo de la calidad del agua más exacto, es necesario incrementar el detalle en los datos de entrada del DRASTIC.

Nicaragua a través del proyecto Suwar, ha avalado el método DRASTIC como uno de los métodos de mayor importancia para la evaluación de zonas vulnerables a la contaminación de las aguas subterráneas, debido a los diferentes parámetros hidrogeológicos que se consideran. El primer estudio y de mayor conocimiento realizado en Nicaragua, utilizando este tipo de metodología, es el denominado Vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero de las Sierras, el cual cubrió un área de 1040 Km², comprendiendo las Subcuencas subterráneas Occidental, Central y Oriental del acuífero. Esta área fue seleccionada por que representa la mayor fuente de abastecimiento de agua potable para la capital.

Obando Soriano (2005), mediante el uso del método DRASTIC, evaluó la Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Subcuenca del río Aguas Calientes en Somoto, Madriz. Determinando tres clases de vulnerabilidad, baja, moderada y alta.

Ramos Valle (2012), realizo un estudio de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca el Sauce usando el método DRASTIC, cubriendo un área de 365.5 km². Con este método se elaboró el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica, encontrándose tres niveles de sensibilidad, tales como son: Baja, Media y Alta vulnerabilidad.

Dávila, A; López, O; Castillo, M; (2012), llevaron a cabo la vulnerabilidad del acuífero de Nandaime empleando el método DRASTIC, dada la importancia agrícola económica que representa el acuífero.

1.3 JUSTIFICACION

Las aguas subterráneas son un recurso importante que amerita de un uso adecuado. En los últimos años el reto, ha consistido en la sostenibilidad en cuanto a su cantidad y calidad; esto principalmente por el incremento de actividades antrópicas sobre sus áreas de recarga, especialmente por practicas agrícolas fundamentadas en el uso de agroquímicos.

Nuestro país posee abundancia del recurso hídrico debido a su situación geográfica, proporcionando altas precipitaciones. Como es bien sabido, parte de esta agua se convierte en escorrentía superficial (ríos, quebradas, etc.) y parte se infiltra almacenándose en medios hidrogeológicos subterráneos llamados acuíferos.

Para asegurarnos la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo es necesaria una adecuada protección. Conociendo las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación pueden establecerse en ellas programas específicos de inspección y monitoreo sobre posibles fuentes de contaminación.

Ante esta situación se considera necesario dotar a la autoridad del agua de un instrumento basado en el conocimiento de la vulnerabilidad natural a la contaminación que tiene un acuífero, ante la presencia de una carga contaminante.

La vulnerabilidad hidrogeológica es una herramienta que constituye parte de la base técnica para la formulación de un plan general de protección para las aguas subterráneas. Es importante considerar que para determinar el impacto que tiene una fuente contaminante (histórica, actual o futura), es necesario conocer las condiciones geológicas, hidrogeológicas y la sensibilidad que éstas tienen a la contaminación.

La ubicación espacial de las áreas más vulnerables a la contaminación hidrogeológica en la Subcuenca Tisma será una herramienta confiable en la planificación y protección del recurso hídrico, a la vez será útil en la ubicación y construcción de pozos (perforados y excavados) para diferentes usos, para la localización y construcción de empresas en lugares donde no haya riesgo de contaminación y en la regulación y explotación de este recurso.

La elaboración del presente estudio de vulnerabilidad hidrogeológica de la Subcuenca Laguna de Tisma aportará mayor información, ante la carencia de estudios hidrogeológicos con información detallada.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar la Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Subcuenca Laguna de Tisma utilizando el método DRASTIC.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar y evaluar información Hidrogeológica existente sobre diferentes parámetros hidrogeológicos para utilizarla en la elaboración de mapas.
2. Elaborar mapas de los diferentes parámetros hidrogeológicos del método DRASTIC, para la Subcuenca Laguna de Tisma.
3. Elaborar el mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Subcuenca Laguna de Tisma.

CAPITULO 2
MARCO TEORICO

2.1 Introducción

La Hidrogeología es la ciencia del agua subterránea, la cual tiene un carácter multidisciplinario porque intervienen las disciplinas de la geología, hidráulica, hidrología, química, meteorología, principalmente. Tiene como finalidad la gestión del espacio subterráneo, la planificación de la explotación y la protección de los recursos de agua. El fondo esencial es conocer el potencial de los acuíferos. Esta ciencia exige la adquisición de datos numéricos precisos sobre las características de los acuíferos.

Por eso es necesario la utilización de métodos y los recursos de prospecciones geofísicas, de técnicas de perforación y captación, de la hidrología y de la hidrodinámica subterránea.

Las investigaciones permiten definir con una mejor precisión los funcionamientos hidráulicos de los acuíferos.

Para evaluar la disponibilidad del agua subterránea de una determinada área, es importante cuantificarla en base a las condiciones meteorológicas, hidrológicas, edafológicas, geológicas, hidráulicas, geofísicas e hidrogeológicas.

En hidrogeología, el término vulnerabilidad hidrogeológica comenzó a utilizarse intuitivamente a partir de la década de los 70 en Francia, ampliándose en los 80. Han surgidos numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientadas a su representación cartográfica. (Foster e Hirata 1991).

El término fue usado sin definición formal, aunque hacía referencia a la susceptibilidad del acuífero a ser afectado por la contaminación antrópica. Una definición generalizada y consistente es considerar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero como aquellas características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada de la superficie del terreno, los cuales determina la sensibilidad a ser afectado por una carga contaminante.

2.2 Conceptos Básicos

2.2.1 Cuenca Hidrográfica

Se define como una unidad natural, cuyos límites físicos son definidos por la divisoria superficial de las aguas, también conocida como parte-agua o línea divisoria, que ante la ocurrencia de precipitaciones y la existencia de flujos o caudales base, permite configurar una red de drenaje superficial que canaliza las aguas hacia otro río, al mar, o a otros cuerpos de agua, como los lagos y embalses artificiales y naturales, desde la parte mas alta de la cuenca hasta su punto de emisión en la zona de menor altitud. Sin embargo, el concepto integral (biofísico y socioeconómico) es mucho mas complejo y se refiere a la unidad de gestión territorial definida fundamentalmente por la red de drenaje superficial, en la cual interacciona biofísica y socioeconómicamente el ser humano, los recursos naturales, los ecosistemas y el medio ambiente, con el agua que une e integra sistémicamente la cuenca.

Las cuencas se pueden delimitar en: subcuencas o microcuencas o cuencas de orden inferior y están formadas por un conjunto de elementos que se interrelacionan. Los más importantes son: agua, bosque y suelo.

2.2.2 Aguas Subterráneas

El agua subterránea es parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua. El agua subterránea se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados (debido a la gravedad) y eventualmente llegan a los arroyos, lagos, ríos y océanos.

2.2.3 Acuífero

Es aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharlas en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Custodio, 1998).

Un acuífero es una estructura geológica estratigráfica sedimentaria, cuyo volumen de poros está ocupado por agua en movimiento o estática, capaz de ceder agua en cantidades significativas ya sea por afloramientos en manantiales o por extracciones mediante pozos teniendo como recarga el agua de percolación.

2.2.3.1 Acuífero libre

Es también llamado acuífero freático y es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable; el límite superior está formado por una superficie libre de agua o nivel freático, a una presión igual a la atmosférica.

2.2.3.2 Acuífero confinado

Un acuífero confinado es una formación permeable completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables, la presión del agua es mayor que la atmosférica.

2.3 Vulnerabilidad Hidrogeológica

La vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del medio que determina la sensibilidad a ser afectado negativamente por un contaminante externo. Es una propiedad relativa, no medible y adimensional, su evaluación se realiza admitiendo que es un proceso dinámico e iterativo. La vulnerabilidad puede ser intrínseca (condicionada por las características hidrogeológicas del suelo) y específica (cuando se consideran factores externos, como la climatología o el propio contaminante), (Foster, 1987).

2.4 Contaminación Hidrogeológica

La contaminación del agua subterránea puede ser producida por agentes biológicos (organismos patógenos) y por sustancias químicas, introducidas al suelo por las diferentes actividades antropogénica, deforestación, cambio de uso de la tierra, al igual que el uso disperso de agroquímicos utilizados en la agricultura.

Debido al lento ritmo de renovación de las aguas subterráneas, una vez contaminadas, su depuración es complicada, lenta y costosa. Los procesos naturales de auto depuración son limitados, consistiendo en filtración a través del subsuelo, además de procesos naturales de neutralización, oxidación, reducción, etc. Estos procesos dependen de la geomorfología del terreno.

2.5 Contaminación Agrícola

Las prácticas agrícolas siempre ejercen una gran influencia sobre la calidad del agua superficial y subterránea, causando problemas serios bajo ciertas circunstancias. Su influencia es grande por que normalmente se realiza sobre áreas de recarga de los acuíferos (Faustino).

La diferencia esencial entre otras fuentes de contaminantes y la de prácticas agrícolas es que éstas son fuentes no puntuales. Los contaminantes potenciales son: los residuos animales, las sales en el agua de irrigación y toda la gama de diferentes compuestos químicos, aplicados a las cosechas. Entre éstos se encuentran los pesticidas y los compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos, de nitrógeno, fósforo y potasio, todos presentes en fertilizantes comerciales.

2.6 Modelos de Contaminación del agua subterránea

Las condiciones óptimas para la contaminación de los reservorios de agua subterránea se dan en los escenarios geológicos donde el nivel freático intercepta o está próximo a la superficie. Esto le permite al contaminante estar en contacto directo con el agua subterránea.

Otro aspecto sensible a la contaminación lo constituyen las zonas de fallas, debido a que favorecen la rápida infiltración y/o desplazamiento de los contaminantes, los que eventualmente entran al sistema a medida que en las zonas de fallas el flujo del agua subterránea muestra tendencia de ir hacia arriba.

Asimismo el recurso del suelo urbano y suburbano está sujeto a la influencia de las actividades humanas afectando los reservorios de agua.

La urbanización acelerada promueve la impermeabilización del suelo aumentando así la escorrentía superficial y con esto la contaminación en las zonas de descarga por sedimentos y materia orgánica como subproducto de la reducción en la tasa de infiltración, lo que a su vez impacta en el agua subterránea al no permitir la renovación del recurso en los reservorios.

2.7 Transporte de la contaminación en el acuífero

El transporte de contaminante está en función de las características hidrogeológicas de cada medio, de las propiedades de retardación y degradación del contaminante desde el momento de su disposición hasta su llegada al agua subterránea.

Existe una variedad de sustancias provenientes de diferentes actividades que pueden contaminar el agua subterránea. Estas pueden llegar hasta el agua al ser colocadas sobre la superficie del suelo, enterrada en el suelo o depositada directamente en el acuífero.

Al depositar el contaminante en la superficie de la tierra, se puede infiltrar a través del suelo llegando a la zona vadosa y posteriormente penetrar al acuífero.

Una vez que el contaminante alcanza el acuífero, éste puede desplazarse con el agua subterránea, viajar más despacio que el flujo, flotar sobre la superficie del agua subterránea sumergirse a través del acuífero hasta alcanzar el fondo, según las características físicas del contaminante, como es el caso de su densidad.

A medida que el contaminante se desplaza a través del sistema, sufre una atenuación mediante los procesos de dilución, dispersión, filtración mecánica, volatilización, descomposición, precipitación, intercambio de iones etc. La atenuación de un contaminante está en función del tiempo que el contaminante permanece en contacto con el material litológico, la granulometría, al igual que las características físicas, químicas y biológicas de los materiales que componen los estratos de la formación geológica por donde pasa el contaminante.

Cuando los materiales litológicos tienen propiedades desfavorables para el transporte de contaminante con un espesor significativo por encima del nivel freático, hay un incremento en la probabilidad de la atenuación.

Los procesos de dilución, atenuación y dispersión están en dependencia de la tasa y recarga del contaminante aplicado, al igual que de las características propias del contaminante y de las propiedades hidrogeológicas de los materiales que se encuentran en el área de estudio.

La zona vadosa o no saturada es de vital importancia porque constituye el principal frente de defensa natural que protege de la contaminación a las aguas subterráneas, por su posición espacial entre la superficie del suelo y manto acuífero.

Los procesos de atenuación de los contaminantes disminuyen progresivamente a medida que se profundiza en la zona no saturada.

Esta protección natural al igual que el transporte de contaminación estará siempre en función de las características de las formaciones geológicas presentes en el área.

El impacto de un episodio de contaminación móvil y persistente es un proceso lento que puede tardar desde años hasta décadas antes de que llegue a ser aparente. La infiltración, la permeabilidad, la porosidad y las propiedades fisicoquímicas del contaminante son las que determinan la capacidad de transporte en la zona saturada y en la zona no saturada.

Otro aspecto a considerar es la densidad y solubilidad de un contaminante con relación al agua, lo que puede determinar la capacidad de este a ser miscible (capacidad de mezclarse) con la misma.

Pueden presentarse tres casos típicos de transporte de contaminantes, que dependen de la densidad del mismo respecto al agua:

- 1) Cuando el contaminante es menos denso que el agua, este se transportaría sobre la capa freática; flotaría. (Figura 3).

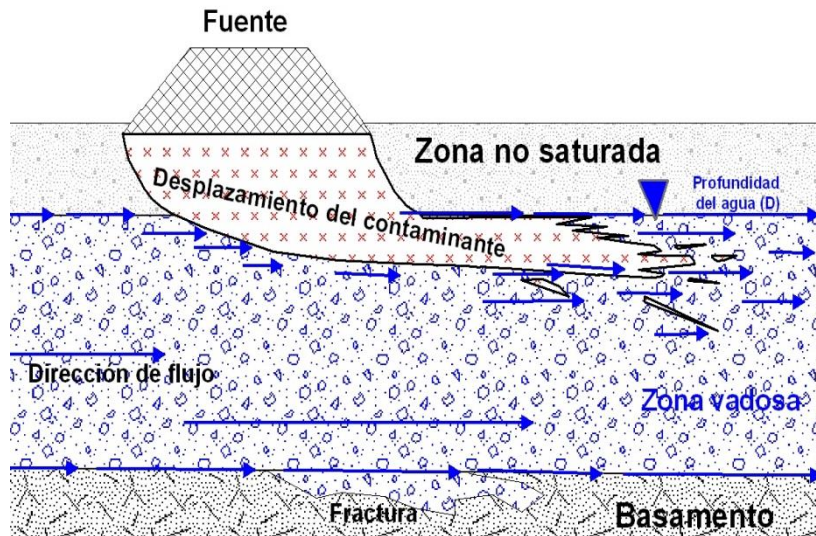


Figura 3. Desplazamiento del contaminante que es menos denso que el agua en el acuífero.

2) Cuando el contaminante tiene igual densidad respecto al agua, se podría mezclar y viajar a la misma velocidad del agua. (Figura 4).

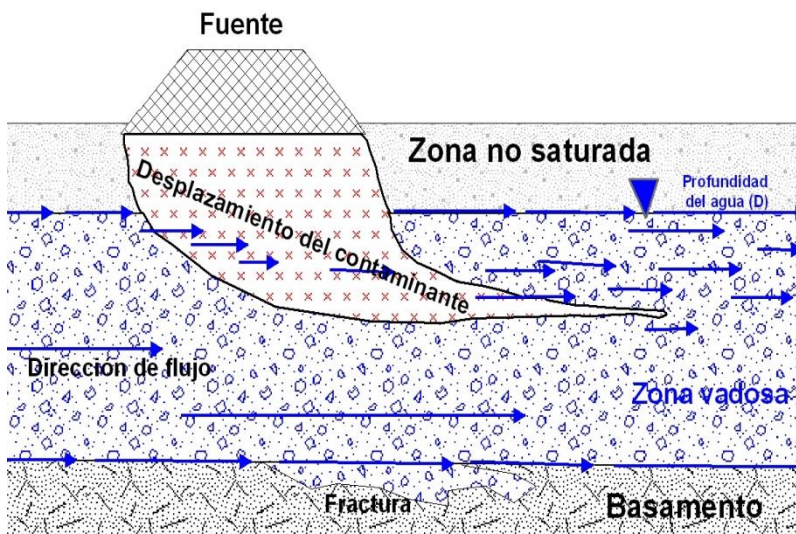


Figura 4 Desplazamiento del contaminante con la misma densidad del agua en el acuífero.

3) Cuando el contaminante es más denso que el agua, este se sumerge hasta el fondo del acuífero (Figura N° 5).

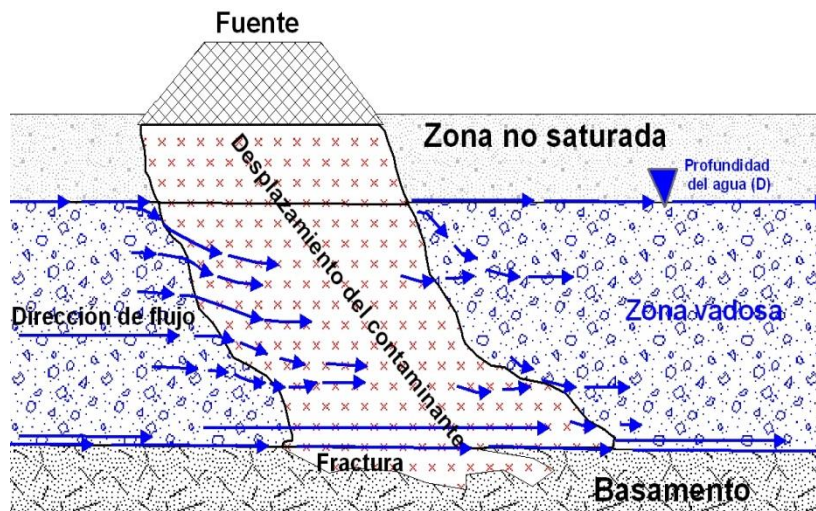


Figura 5 Desplazamiento del contaminante que es mas denso que el agua en el acuífero.

Estos casos están en función de:

- La tendencia a ser degradados o transformados.
- La concentración relativa del contaminante.
- La profundidad a que el contaminante es depositado bajo la superficie del suelo.
- El tiempo durante el cual se ha aplicado la carga contaminante.

Un ejemplo es el comportamiento de las sales en el agua subterránea, que por su movilidad y persistencia tiene mayores posibilidades de alcanzar el manto acuífero. Una de las causas de salinidad es el lixiviado y la disolución de las rocas que integran la formación geológica; Otra causa, son los efectos de irrigación y aplicación de fertilizantes en la agricultura, que contribuyen a la salinización del suelo y el agua subterránea.

2.8 Métodos para determinar la vulnerabilidad

Los métodos utilizados para la predicción de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, pueden ser clasificados en tres grandes grupos.

2.8.1 Métodos basados en procedimientos: utilizan modelos matemáticos para analizar y simular los procesos que gobiernan el transporte de contaminantes en la subsuperficie.

2.8.2 Métodos Estadísticos: utilizan grupos de variables que condicionan la vulnerabilidad de la contaminación de los acuíferos, proporcionando conclusiones según la asociación que presentan éstas áreas.

2.8.3 Métodos de Indexación y superposición: Combinan un conjunto de características o atributos físicos del suelo, zona no saturada y los acuíferos, a los cuales se asigna un valor numérico según su importancia en la evolución de la vulnerabilidad. Son los más usados por su mayor flexibilidad, en cuanto al conocimiento básico de la zona, aceptando ciertas estimaciones de contar con información insuficiente.

A continuación, una descripción general de los métodos de superposición que determinan la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, dentro de los cuales están: DRASTIC, GOD, AVI, SINTACS, DhT, EPIK, EKs.

Los métodos son análogos siendo la cantidad de variables la diferencia entre ellos, se busca determinar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero de la manera más objetiva posible, por lo que suelen utilizar rangos de clasificación definidos para cada una de las variables que se utilizan en cada método.

2.8.3.1 Método GOD

El método GOD (por sus siglas en inglés: Groundwater hydraulic confinement, Overlaying Strata, Depth to groundwater table. En el método se consideran dos componentes o factores básicos: 1) el grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada al ser alcanzado por un contaminante; 2) la capacidad de atenuación de los

estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero, por retención y reacción química con los contaminantes

2.8.3.2 Método SINTACS

Desarrollado por Civita et al. (1990) para adecuarlo a las diversificadas características hidrogeológicas de Italia y al requerimiento de un mapeo de mayor detalle. El acrónimo SINTACS comprende: **S** (soggiacenza – profundidad del agua); **I** (infiltrazione – infiltración); **N** (non saturo – sección subsaturada – zona no saturada); **T** (tipología de la cobertura – tipo de suelo); **A** (acquifero – características hidrogeológicas del acuífero); **C** (conducibilita – conductividad hidráulica); **S** (superficie topográfica – pendiente topográfica).

El método presenta una estructura compleja, tanto para la entrada de datos como para la salida, por lo que su operación se realiza mediante un programa preparado especialmente para el mismo. A las variables mencionadas, que influyen en la vulnerabilidad intrínseca, se les puede añadir la incidencia del agua superficial y el uso del suelo.

2.8.3.3 Método AVI

El AVI es uno de los métodos mas sencillos, fáciles y rápidos de cuantificara la vulnerabilidad, tan solo utiliza la conductividad hidráulica y el espesor de las capas de diferente material que se encuentra sobre el nivel del agua (Auge, 2001). Es un índice para cuantificar la vulnerabilidad de un acuífero por medio de la resistencia hidráulica **c** al flujo vertical del agua al pasar por los diferentes materiales sobre el acuífero. La resistencia hidráulica **c** se calcula por la expresión: $c = (b_i / K_i)$ para las capas 1, 2, 3, ..., i. Donde; **b_i**- Es el espesor de la capa sobre el acuífero; **K_i**- Es la conductividad hidráulica de cada capa y **c** es la resistencia hidráulica total (inverso de la conductividad hidráulica, tiene dimensiones de tiempo) indica el tiempo aproximado de flujo por unidad de gradiente de carga, que atraviesa el agua hacia abajo al pasar por varias capas de sedimentos, por encima del acuífero. A mayor resistencia hidráulica **c**, menor vulnerabilidad.

2.8.3.4 Método Epik

Es un método paramétrico desarrollado por Doerfligen y Zwahlen (1997) para acuíferos kársticos. El acrónimo significa: Epikarst (E), Protective cover (P), Infiltration conditions (I), Karst network development (K), que son caracteres trascendentes en flujo y el transporte a través de sistemas kársticos.

2.8.3.5 Método EKs

Considera que la vulnerabilidad es un concepto cualitativo, que en la generalidad se refiere al grado de protección o defensa natural de un acuífero frente a la contaminación. Por ello también se le conoce como protección o defensa natural. En relación a los acuíferos libres desarrolla una clasificación basada en la profundidad de la superficie freática (**E**) y en la permeabilidad vertical de la zona subsaturada (**Ks**), parámetros que también considera el método AVI. Ambas asignan índices que van de 1 (menos vulnerabilidad) a 5 (mayor vulnerabilidad).

2.8.3.6 Método DhT (Relación de potencial hidráulico)

La vulnerabilidad la controlan las propiedades físicas y geométricas del acuífero que conforman su techo (permeabilidad vertical, porosidad, espesor y continuidad) y también por las diferencias de potencial hidráulico. Esta diferencia, que bajo condiciones de no alteración generalmente es pequeña (algunos pocos metros), se magnifica en los ámbitos bajo explotación donde puede alcanzar decenas y aún centenas de metros. (Auge, 2001).

2.9 Método DRASTIC

El método DRASTIC fue desarrollado en los Estados Unidos de Norte América, con el objeto de evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Es un método de uso difundido, tanto para la calificación (evaluación cualitativa) como para el mapeo y se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo, además a cada variable se le asigna un peso o ponderación, de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad.

Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5, adoptando el mayor (5) para la profundidad de agua (D) y la litología de la zona vadosa (I) y el menor (1) para la topografía.

Este método es denominado así, por los siete parámetros que se toman en cuenta para la determinación de la vulnerabilidad.

D (depth to water): profundidad del agua.

R (net recharge): recarga neta.

A (aquifer): formación geológica que constituye el acuífero.

S (soil): cubierta edáfica bajo la superficie del terreno.

T (topography): pendiente del terreno.

I (impact of vadose zone): tipo de material geológico de la zona no saturada.

C (hydraulic conductivity): conductividad hidráulica del acuífero.

2.9.1 Sistema Numérico DRASTIC

El sistema numérico que se emplea en el Método DRASTIC, permite la identificación relativa de la vulnerabilidad del acuífero. Este sistema numérico consta de tres partes principales: Pesos, Escalas y Calificación. Haciendo uso de estos tres elementos evaluativos, se puede llevar a obtener el Valor Numérico DRASTIC (VND) y posteriormente el Índice DRASTIC (ID).

Peso: El peso es un valor numérico relativo que se le asigna a cada parámetro con relación a otro de acuerdo a la importancia que tiene en el proceso de mitigación de la contaminación de un acuífero. Se otorga el máximo peso a los de mayor incidencia y menor peso a los menos significativos. Estos pesos ya están establecidos por la metodología y no pueden ser modificados.

Escalas: Las escalas son los rangos en que se subdivide cada parámetro en base a las condiciones físico natural en que se presenta el parámetro en el medio y el impacto relativo que esta condición juega en la sensibilidad natural del acuífero a la contaminación. Estos rangos son los que redefinen el comportamiento areal de un parámetro.

Calificación: La calificación son los valores que se asigna a las subdivisiones por rangos que se realizan en cada parámetro, estos valores pretenden pesar la importancia del parámetro en la condición físico – natural en que se encuentra el medio.

El valor numérico DRASTIC (VND) en cada parámetro se obtiene multiplicando el peso por la calificación que se le asigne a cada área. Este proceso permite obtener un mapa de valor numérico DRASTIC para cada parámetro.

En términos matemáticos el índice DRASTIC se expresa así:

$$\text{Índice DRASTIC} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw$$

En donde, " r " corresponde a la Calificación, y " w " al Peso.

Esta ecuación permite obtener valores de vulnerabilidad que van de 23 a 230 según se muestra en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1 Valores de Vulnerabilidad

Rangos de variación del índice de vulnerabilidad intrínseca		
Grado de Vulnerabilidad	Valor DRASTIC	Calificación
Muy bajo	23 – 64	1
Bajo	64 – 105	2
Moderado	105 -146	3
Alto	146 – 187	4
Muy alto	187 – 230	5

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS

D R A S T I C

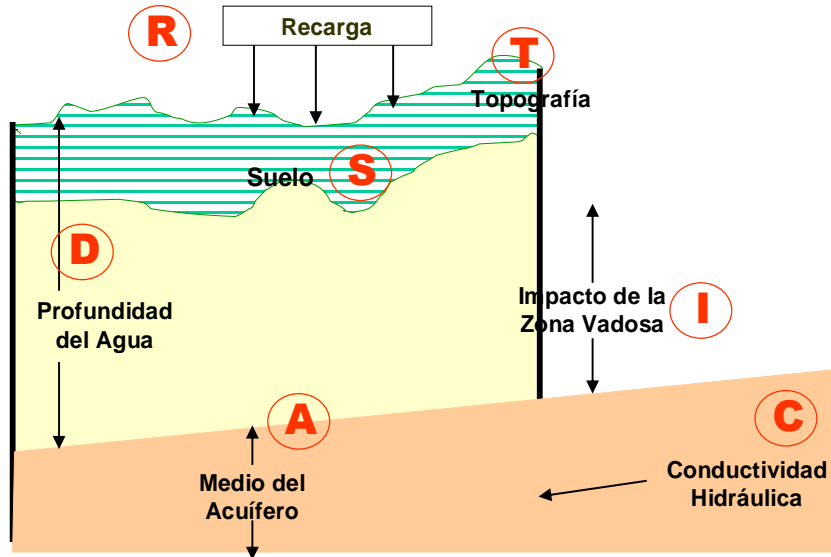


Figura N° 6: Ubicación espacial de los Parámetros.

A continuación, en el Cuadro N° 2 se muestra el peso asignados a cada parámetro de acuerdo a su importancia.

Cuadro N° 2 Peso Asignados

PESO ASIGNADO A CADA PARAMETRO DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA		
PARAMETRO		PESO
Profundidad del Agua	D	5
Recarga Neta	R	4
Medio del Acuífero	A	3
Medio del Suelo	S	2
Topografía	T	1
Impacto de la Zona Vadosa	I	5
Conductividad Hidráulica	C	3

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.9.2 Profundidad del agua subterránea (D)

Profundidad a la que se encuentra la superficie de agua, por debajo del suelo, a partir de la cual todos los espacios porosos están completamente llenos de agua. La importancia de este parámetro radica en que determina el espesor de material que un contaminante tiene que atravesar antes de alcanzar el acuífero y puede ayudar a determinar el tiempo durante el cual el contaminante va a estar en contacto con el medio que le rodea.

En el Cuadro N° 3 se pueden observar los rangos de profundidades y su respectiva calificación (Dr), por el Método Drastic.

Clasificación Dr:

D: corresponde al parámetro de la profundidad del agua y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Dw:

D: Corresponde al parámetro de la profundidad del agua y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N° 3 Profundidad del agua

PROFUNDIDAD DEL AGUA (D)		
Profundidad (m)		Calificación Dr
0	1.5	10
1.5	4.6	9
4.6	9.1	7
9.1	15.2	5
15.2	22.9	3
22.9	30.5	2
30.5	30.5	1

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.9.3 Recarga (R)

Se denomina recarga al proceso de incorporación de agua al acuífero procedente del exterior del mismo, igualmente se llama recarga al volumen de agua que penetra en el acuífero durante un intervalo de tiempo dado (Custodio, 1998). El origen de la misma puede ser muy diverso: recarga difusa originada por agua meteórica; concentrada a partir de cauce o lagos; retorno de regadíos, pérdida de los sistemas de distribución agrícola o urbana; acuífera vecina; artificial.

En el Cuadro N° 4 se pueden observar los rangos para la recarga y su respectiva calificación (Rr), por el Método Drastic.

Clasificación Rr:

R: corresponde al parámetro de la Recarga Neta y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Rw:

R: Corresponde al parámetro de la Recarga y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N° 4 Recarga

RECARGA (R)		
Recarga (mm)		Calificación Rr
0	50	1
50	103	3
103	178	6
178	254	8
254	254	9

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.9.4 Medio Acuífero (A)

Corresponde a aquella parte del subsuelo que se encuentra con los poros ocupados completamente de agua. El tipo de material constituyente ejerce un notable control sobre el camino que los contaminantes siguen para llegar al agua subterránea.

En el Cuadro N° 5 se pueden observar los Tipo de acuífero y sus respectivos Rangos de calificación (Ar), por el Método Drastic.

Clasificación Ar:

A: corresponde al parámetro del Medio Acuífero y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Aw:

A: Corresponde al parámetro del Medio Acuífero y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N° 5 Medio Acuífero

MEDIO ACUÍFERO (A)			
Tipo de acuífero	Rango de calificación Ar		Valor típico
Lutita masiva	1	3	2
Metamórfica/Ígnea	2	5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3	5	4
Till glacial	4	6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5	9	6
Arenisca masiva	4	9	6
Caliza masiva	4	9	6
Arena o grava	4	9	8
Basaltos	2	10	9
Caliza kárstica	9	10	10

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.9.5 Medio Suelo (S)

Capa de la corteza terrestre, formada por elementos de origen mineral y orgánico. Esto se debe a la alteración o meteorización de las rocas de la litosfera (denominada roca madre) y al aporte de los restos de materia orgánica de las plantas y de los animales. El suelo tiene una considerable influencia en la cantidad de agua de recarga que se puede infiltrar hacia el acuífero, por lo tanto, en la capacidad de un contaminante para moverse vertical y horizontalmente en la zona vadosa.

En el Cuadro N° 6 se puede observar el Tipo de suelo y su respectiva calificación (Sr), por el Método Drastic.

Clasificación Sr:

S: corresponde al parámetro del Medio del Suelo y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Sw:

S: Corresponde al parámetro del Medio del Suelo y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N° 6 Medio Suelo

MEDIO SUELO (S)	
Tipo de suelo	Calificación Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol – cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987

2.9.6 Topografía. (T)

Conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. Según sea la pendiente del terreno así será la probabilidad de que un contaminante permanezca en el sitio donde ha sido depositado o se aleje del lugar por efecto de la escorrentía superficial.

En el Cuadro N° 7 se puede observar los rangos de pendientes porcentuales y la calificación (Tr), por el Método Drastic.

Clasificación Tr:

T: corresponde al parámetro de Topografía y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Tw:

T: Corresponde al parámetro de Topografía y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N°7 Topografía

TOPOGRAFÍA (T)		
Pendiente (%)		Calificación Tr
0	2	10
2	6	9
6	12	5
12	18	3
> 18	>18	1

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.9.7 Impacto en la Zona Vadosa (I)

La zona vadosa es aquella que se encuentra por encima de la superficie del agua subterránea y por debajo del nivel del suelo. El tipo de zona vadosa determina las características que van a acondicionar la atenuación de los contaminantes en el espacio comprendido entre el suelo y el nivel freático.

En el Cuadro N° 8 se puede observar el Tipo de medio, rango de calificación (Ir), y su Valor típico (Ir), por el Método Drastic.

Clasificación Ir:

I: corresponde al parámetro Impacto de la Zona no Saturada y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Iw:

I: Corresponde al parámetro de Impacto en la zona vadosa y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N° 8 Impacto en la zona vadosa

IMPACTO DE LA ZONA VADOSA (I)			
Tipo de medio	Rango de calificación Ir		Valor típico Ir
Capa confinante	1	1	1
Cieno – arcilla	2	6	3
Lutita	2	5	3
Caliza	2	7	6
Arenisca	4	8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4	8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4	8	6
Metamórfica/Ígnea	2	8	4
Arena y grava	6	9	8
Basalto	2	10	9
Caliza kárstica	8	10	10

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.9.8 Conductividad Hidráulica (C)

La conductividad hidráulica es la capacidad que tiene el agua de circular o atravesar los estratos o capas de un acuífero en la unidad de tiempo, bajo un gradiente hidráulico determinado por las condiciones topográficas en las cuales se mueve, debido a la fuerza de gravedad.

En el Cuadro N° 9 se puede observar los rangos Conductividad Hidráulica y la calificación (Cr), por el Método Drastic.

Clasificación Cr:

C: corresponde al parámetro de la Conductividad Hidráulica y r: corresponde a la calificación o valoración interna del parámetro mencionado de acuerdo a la variabilidad de la propiedad.

Ponderación Cw:

C: Corresponde al parámetro de la Conductividad Hidráulica y w: corresponde a la ponderación del parámetro señalado.

Cuadro N° 9 Conductividad Hidráulica

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (C)				
Conductividad Hidráulica				Calificación Cr
(m/día)		(cm/s)		
0.04	4.08	4.6×10^{-5}	4.7×10^{-3}	1
4.08	12.22	4.7×10^{-3}	1.4×10^{-2}	2
12.22	28.55	1.4×10^{-2}	3.4×10^{-2}	3
28.52	40.75	3.4×10^{-2}	4.7×10^{-2}	6
40.75	81.49	4.7×10^{-2}	9.5×10^{-2}	8
81.49	81.49	$> 9.5 \times 10^{-2}$	$> 9.5 \times 10^{-2}$	10

Fuente: Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.

2.10 Geomorfología

Fisiográficamente la zona pertenece a la provincia geomorfológica de la Depresión Nicaragüense, ubicada en el centro ínter lacustre entre las dos inmensas masa de agua Cocibolca y Xolotlan por la parte norte entra en contacto con la provincia geomorfológica de Las Tierras Altas del Interior representadas por el sistema de la pre-cordillera.

Es una franja volcánica de edad Cuaternaria, casi paralela a las costas del Pacífico con rumbo noroeste sureste, la cual da inicio en punta Cosigüina hasta la frontera con Costa Rica e incluye los dos grandes lagos, el Xolotlan y Cocibolca.

Se caracteriza por formas de relieve planas o casi planas de 30 – 45 Km. de ancho, en su mayoría cubierta por rellenos de origen aluvial o piroclásticos. Limitada al suroeste por la Cadena volcánica de los Maribios en su sección septentrional, la meseta de Carazo y cordillera, en su sección meridional.

La topografía de la región esta caracterizada una extensa planicie en la que asoman colinas de mediana elevación de forma aisladas, se presentan escarpes profundos con orientación suroeste, los cuales reflejan principalmente la estructura geológica, que desempeña un papel importante en el control de la topografía.

Dentro del área no existen elevaciones de grandes proporciones, pero la mayor altura esta en el sitio entre La Ceibita y Las Conchitas con 249 metros de altura al este de la ciudad de Nindirí y a partir de este sitio inicia un descenso moderado y en algunas parte accidentado hasta llegar al cauce del río Tipitapa.

La sección del estrecho es una planicie que se extiende desde el norte, entre las costas de los lagos Xolotlan y por el sur del Cocibolca, abarca desde los municipio de Tipitapa, Nindirí, Tisma, Granada.

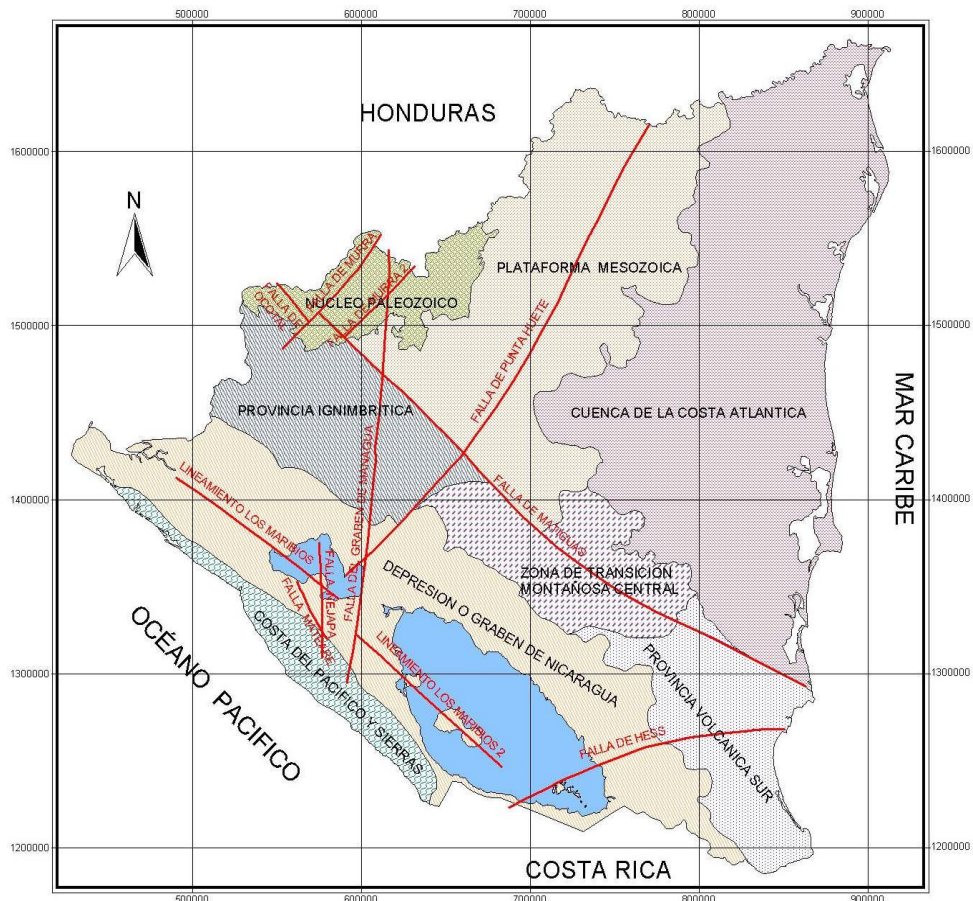


Fig. N° 7 - Provincias Estructurales de Nicaragua

2.11 Drenaje

La principal fuente de drenaje lo constituye el río Tipitapa, realiza la comunicación entre los dos lagos y es captador de afluentes tanto en la rívera norte como en el sur, tiene un ensanchamiento y acumulación hídrica voluptuosa en el sitio denominado Charco de Tisma cercano al pueblo del mismo nombre. Aquí permanece varios meses desbordado inundando áreas llanas del sector.

Hasta cierto tiempo del periodo seco, el cuerpo de agua esta en movimiento y es hasta el periodo de estiaje que disminuye el caudal quedando lagunetas aisladas en su trayecto, al mismo tiempo es parte de la vida de los habitantes quienes se dedican a la pesca artesanal.

Es de reconocer que especialmente no solo el río Tipitapa recorre el estrecho, también afloran diferentes manantiales exactamente de la formación geológica aluvial, los cuales tienen corta trayectoria y se ubican en la segunda parte sur y este del estrecho

Tipitapa-Malacatoya entre los cuales se mencionan los esteros siguientes: Caballo, La Loma, Chico Pipe, El Naranjo, Las Lajas, Jiquelite, Las Lagunitas y el de mayor trayectoria el San Juan el cual tiene su nacimiento cerca de la comunidad Las Banderas.

Por las características geomorfológicas del terreno plano y casi a nivel del espejo del lago Cocibolca, el sector circundante a la comunidad Paso de Panaloya a menudo ocurren inundaciones a causa de las incesantes lluvias, terrenos que aun después del periodo lluvioso permanece inundado, en algunas ocasiones se forman pequeñas lagunas aisladas, y en el periodo seco desaparecen por la evaporación y el mayor volumen se pierde por infiltración hacia el subsuelo.

2.12 Geología Local

El suelo que se encuentra entre el estrecho Tipitapa Malacatoya, esta conformado mayoritariamente por sedimentos lacustre y de procedencia volcánica, de periodos cuaternarios y un basamento piroclástico Pliopleistoceno, la litología, de acuerdo a la conformación de la historia local y condiciones atmosféricas, se describen de inferior a superior.

Se encuentran sedimentos aluviales, residuales, volcánicos del periodo Cuaternario y un basamento con definida estratificación piroclástica del grupo Tobáceo Las Sierras.

2.12.1 Cuaternario Aluvial (Qal)

Estos sedimentos ocupan el área circundante de la laguna de Tisma hasta las costas del gran lago de Nicaragua, se extiende hacia el noreste y sur del paso de Panaloya y disminuye su extensión a medida que se aproxima a la ciudad de Granada, se conserva en el sitio opuesto en áreas de las comarcas Malacatoya y San Ramón, su escasa elevación en relación con el espejo del lago, la convierte vulnerable a inundaciones en periodos de lluvia.

La composición litológica que conforma esta sedimentación, en sectores con cultivos, es generalmente arenosa color pardo claro a pardo oscuro, de granulometría gruesa en combinación con limo y poca arcilla; así como de la presencia en la matriz, de gravas subangulares a subredondeadas hasta de $\frac{1}{4}$ de pulgadas de diámetro. Las secciones costeras de la riva del lago, la granulometría de la arena es fina color gris y algo de

limo, predominando siempre el material de grano medio a fino. Por el sector de Palo Verde, La Montañita, Los Capulines, San Antonio, entre Palo Bonito Santa Rosa y San Pedro, (zona costera), la superficie del suelo es mas limo arcilloso que arenoso siempre dentro del rango aluvial.

En el área colindante a la laguna de Tisma, el suelo es areno limoso de granulometría media a fina color gris claro a blanquecino, presenta una planicie vulnerable a las inundaciones en periodos de lluvia.

Sobre los sedimentos de la formación Cuaternaria aluvial se encuentran asentados los siguientes sitios y caseríos: El Cascajal, El Bálsamo, La Gloria, La Providencia, San Nicolás, El Consuelo, El Amparo, La Cruz, La Quesera, Santa Rita, La Galera, Palo Verde, San José, de la Tapia, Tierra Colorada, Punta de Agua, Santa Julia, La Montaña, San Antonio, San Pablo, San Pedro, San Jerónimo, Santa Rosa y Palo Bonito y la comunidad rural de mayor densidad poblacional ubicada sobre estos suelos, es El Paso de Panaloya seguido de Los Capulines.

Es sabido, que varios de estos sitios son abandonados por los habitantes durante el periodo de intensas lluvias, dado que la superficie del terreno se encuentra casi al mismo nivel que el lago Cocibolca y es anegado para esta época.

2.12.2 Cuaternario Residual (Qr)

Ocupa la mayor extensión del área, se extiende desde el extremo este de la ciudad de Tipitapa hasta las inmediaciones de Las Banderas, por el norte se aproxima a la comunidad de San Benito y hacia el sur llega un poco mas de paso de Panaloya en dirección a ciudad de Granada, ocupando la totalidad de las áreas de plantaciones de caña del antiguo ingenio TIMAL.

La presencia de estos sedimentos se debe a los residuos que han dejado las constantes crecidas y/o inundaciones de parte de los dos cuerpos de agua en el área de la depresión nicaragüense, (Cocibolca y Xolotlan).

Su principal composición es limo arcilloso color pardo a café claro y suprayacen a Tobas consolidadas de la formación Las Sierras, es muy característica de expansión o contracción en relación al estado meteorológico del sector, en periodo constante de lluvias presenta un comportamiento uniforme, se satura y filtra agua de manera lenta

hacia el subsuelo, en cambio, sus partículas se contraen en ausencia de fluido, por lo tanto tiene una similitud desértica formando grietas.

2.12.3 Sedimentos Indiferenciados (Q)

El sitio que conforma esta formación geológica esta en el extremo suroeste de toda el área, es zona con relieve semi inclinado de nivel bajo, por su condición geomorfológica es vulnerable a inundaciones durante el invierno, se distribuye hacia la zona de mayor población desde el este despoblado de Cofradía hasta el sureste de Nindirí.

Las comunidades que se asientan en esta formación son: Guanacastillo, Los Altos de Masaya, las comarcas Barrio Los López, La Montañita, El Comején, Las Cortezas, los sitios La Pilas Orientales, El Encanto, El Carmen, Puerto Nuevo, La Ceibita, San José, San Juan hasta el norte de la comunidad Las Flores y caseríos aislados.

En estas áreas están sedimentados mantos arcillosos semiplásticos color pardo oscuro formando la capa vegetal, en su matriz inmediata contiene material fragmentado de pómez muy meteorizado y una intercalación de material Tobáceo arcillolítico en lentes delgados de pómez y limo pomáceo.

2.12.4 Sedimentos Volcánicos (Qv)

Ocupa la sección escarpada del estrecho entre la comunidad Zambrano, el sur de Tisma hasta el área rural este de Nindirí. Esta formación comprende una secuencia ínter estratificada y casi laminar de material piroclástico, las cuales tienen su origen, de las constantes erupciones de los volcanes ubicados en el complejo volcánico Masaya durante el periodo Pliopleistoceno entre la fase tardía de la época Terciaria y el inicio o temprano del Cuaternario.

Esta compuesta por una pseudo estratificación de sedimentos volcánicos, o delgadas capas de piroclastos altamente deleznable, la estratificación se puede observar en las cárcavas que drenan hacia el cauce del río Tipitapa, en taludes de hasta 3.0 metros de alto se conservan capas delgadas de arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez muy alterados en transición a suelo limoso color pardo claro, Toba arenosa gruesa, Toba limo pomácea blanquecina, arcilla negra plástica y Toba arenosa gruesa granular

2.12.5 Formación Las Sierra (TQps)

La formación geológica Las Sierras, se encuentra aflorando de manera dispersa por varios sitios a lo interno y fuera del área de estudio: forma parte de las costas del lago Xolotlan al noroeste de las granjas avícolas, en sectores aislados de cultivo de sorgo antes caña de azúcar, es base del plan en el cauce del río Tipitapa, al sureste de la laguna de Tisma y muy meteorizado en las riveras del río casi en su desembocadura en el Cocibolca, así como en la base del puente cerca de los termales, todos estos afloramientos no son extensos, los mismos pueden alcanzar lo máximo 1 km² de territorio.

Es miembro superior una Toba blanquecina compacta de grano fino con intercalaciones arenosas de granulometría media a fina y en ocasiones se observa material escoriáceo, así también está constituido por capas gruesas de Tobas de color claro en partes rosadas, hacia el tope presentan intercalaciones con capas de lapilli arena fina, limo pomáceo y escorias negras.

Es una Toba de origen volcánica piroclástica, muy común la presencia en éstas, de ceniza lapilli, fragmentos de arena volcánica y escoria volcánica negra así como granos redondeados.

Se presentan al mismo tiempo en bloques separados por diaclasamiento como el afloramiento Tobáceo que se encuentra en la base del puente río Tipitapa en el área de los baños termales, es un material de mayor consolidación, Toba lapilli de grano medio; en su interior el color tiene un comportamiento crema a blanquecino, en la matriz se observan granos de arena media a gruesa y escorias volcánicas con finas vesículas y con tono negro a morado, semiconsolidados y muy dispersas.

Toba limo arcillosa del grupo Las Sierras en la rivera sur del río Tipitapa muy próximo a la desembocadura del lago cocibolca, este afloramiento tiene una longitud de aproximadamente 50 m, se encuentra diaclasada y en bloques desprendidos hasta de medio metro de diámetro, su estado es de fuerte meteorización fácil de desprender o diseminar por efectos de lixiviación.

2.13 Fallas y Fracturas

Las características geomorfológicas de la Subcuenca, comprende una topografía de moderada a muy plana, esta extensión de terreno se encuentra cubierta por diferentes capas de sedimentos provenientes de la desintegración de rocas madres ubicadas en las serranías próximas al valle por el sector norte y noroeste.

El comportamiento plano de esta región, pertenece a diferentes etapas de la formación geológica sedimentaria del Cuaternario y por lo tanto fracturas y/o fallas en el subsuelo no son perceptibles a simple vista, toda roca que tenga un alto grado de solides o densidad, por efectos de movimientos telúricos, en alguna sección, se rompe de manera alineada y en la mayoría de los casos con ángulo de buzamiento.

En el 90% del área, no se ubican estructuras o alineamientos que demuestren un cambio en la naturaleza de las rocas sedimentarias, pero en el afloramiento Tobáceo de la formación geológica de Las Sierras, en especial el que se ubica debajo del puente viejo metálico sobre el río Tipitapa, se observa una fractura expuesta y diaclasada en la superficie mostrada, que puede alcanzar el grado de falla con rumbo 140° y buzamiento de 65° hacia el noreste.

Esta falla puede alcanzar varios kilómetros de extensión, se presume que por medio de ésta se encuentran en movimiento los gases con altas temperaturas que provienen del complejo volcánico Volcán Masaya y afecta el manto acuífero produciéndose agua caliente por efectos de termalismo.

Lo anterior se puede comprobar por medio del baño sauna natural que sirve de turismo en el sitio denominado baños termales de Tipitapa y en el área aflora agua también con altas temperaturas que la convierten en imposible uso domestico y animales, la misma situación presentan algunos pozos perforados en el cuadrante afectado por esta falla.

2.14 Medio Hidrogeológico

La zona comprende una vasta extensión territorial con potencias variables del subsuelo por donde es transmitido el flujo subterráneo.

De acuerdo a datos de pozos perforados, la litología en la zona arroja evidencias de la presencia de potentes fuentes de agua subterránea, tanto en cantidad como de variada calidad. De hecho el acuífero fue explotado eficientemente durante hubo actividad de

riego de cultivo de caña de azúcar hace mas de veinte años. Aun así las condiciones de almacenamiento del vital líquido permanecen sanas y en reposo, dado a la inactividad agropecuaria a excepción de algunas áreas que aun persisten en el riego, pero ahora para el cultivo de arroz.

Los pozos perforados que fueron empleados para riego producían más de 1,000 galones por minuto, lo mismo que los pozos para el abastecimiento de agua potable a todas las comunidades del sector han alcanzado volúmenes idénticos a los de riego, con la diferencia que el régimen de explotación es mayor, por ejemplo los que abastecen a la población de Tipitapa y sus alrededores, que de acuerdo a la demanda, no pueden estar inactivos algún tiempo excepto por averías.

Entre los sedimentos cuaternarios el agua subterránea puede encontrarse en variada velocidad y capacidad de movimiento, de acuerdo a la deposición de espesores de sedimentación y grado de compactación entre los estratos subsuperficiales.

En el área es común encontrar estratos arenosos, limo arenoso y arcillo limo arenoso, escasamente por el sector del Paso de Panaloya, se encuentran algunos estratos arenoso con gravas subangulares hasta de 3.0 cm. de diámetro.

Los materiales volcánicos de la formación geológica del Cuaternario compuesta por una ínter estratificación de arenas con granulometría media a fina y combinadas con arenas escoriáceas negras, presentan un alto grado de permeabilidad y fácil penetración o traspaso de agua al subsuelo.

**CAPITULO 3 DISEÑO
METODOLOGICO**

3.1 Recopilar y evaluar información Hidrogeológica existente sobre los diferentes parámetros hidrogeológicos de la zona de estudio

Para la recopilación de la información se efectuaron dos etapas: la primera de tipo básico o preliminar y la segunda etapa de investigación de campo.

Etapas preliminar

Esta etapa consistió en la recopilación, clasificación y análisis de diferentes fuentes de información existente sobre el área de estudio, se organizó y estructuró para la generación de los mapas hidrogeológicos de la zona de estudio. Para la información recopilada se contó como fuente primaria con la base de datos de cartografía digital del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), y además con información relacionada a Geología, Climatología, Suelo, Topografía, Hojas topográficas, Pruebas de bombeo, Balances Hídricos.

Etapas de Investigación de campo

La etapa de campo correspondió a un reconocimiento general in situ del área de estudio para la validación y verificación de la información obtenida en la etapa anterior.

En esta etapa se realizó un levantamiento de objetos hidrogeológicos (medición del NEA de pozos perforados y pozos excavados), además de su ubicación geográfica, cubriendo toda la extensión de la subcuenca, para obtener una distribución espacial heterogénea.

3.2 Elaboración de mapas de los diferentes parámetros hidrogeológicos de la Subcuenca Laguna de Tisma

3.2.1 Profundidad del agua (D)

Para la determinación del nivel del agua subterránea se utilizó la información (NEA), de pozos medidos in situ (pozos perforados y pozos excavados), durante la obtención del NEA se utilizó una sonda de medición de profundidad de agua subterránea. Este equipo utilizado tiene una longitud de sondeo de 200 m, propia para las características de las profundidades de la subcuenca. La sonda tiene entre sus cualidades de emitir sonido al hacer contacto con el agua al igual que el sensor de luz.

Usualmente dentro del equipamiento debe de contarse con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y el mosaico de mapas topográficos, si el área se encuentra asentada en dichos mapas.

La información obtenida (NEA), durante el inventario, tanto de pozos perforados y excavados, se inserto en Arc Gis como una hoja electrónica en forma de tabla de Excel, la cual fue convertida a un archivo de formato shapes de Arc Gis.

Una vez obtenido los datos en formato shape se procedió a interpolar los niveles estáticos de agua correspondiente al inventario; para ello se utilizo la herramienta Geo Estadística y en especial el método IDW (peso ponderado por el inverso de la distancia), este método implementa la suposición de que aquellos puntos que están cerca el uno con el otro se parecen mas que aquellos que están menos juntos.

Para predecir un valor en cualquier lugar ilimitado, IDW usa los valores medidos rodeando el lugar de predicción. Los valores medidos más cercanos para el lugar de predicción tendrán mas influencia en el valor previsto, cada punto tiene influencia que disminuye con la distancia.

Concluida la interpolación, se generaron áreas consolidadas de los diferentes rangos de profundidades, estas áreas se calificaron de acuerdo al cuadro N^o 2, capítulo 2, de la metodología DRASTIC posteriormente se multiplicaron con el peso ponderado, en este caso la profundidad de agua, cuadro n^o 1, capítulo 2.

3.2.2 Recarga (R)

La recarga se puede determinar con métodos convencionales de balance hídrico en la relación suelo-planta-agua y en general mediante campañas de pruebas de infiltración a los diferentes tipos de suelos presente en la subcuenca.

La estimación de la recarga se elaboro en base a estudios previos de unidades geológicas del área de estudio, la precipitación media anual y un coeficiente de infiltración para cada unidad geológica.

Las pruebas se realizaron por el método de doble cilindro infiltrómetros, se utilizan tres juegos de cilindros, estos se ubican en forma triangular a una equidistancia de aproximadamente 10 m y asentados a una profundidad de 15 cm, con relleno de agua de 45 cm. Seguidamente se realiza el proceso de medición de la infiltración del agua en

el tiempo, similar a la de una prueba de bombeo los primeros 10 minutos se realizan minuto a minuto a cada cilindro en sentido horario.

El paralelaje de la lectura de descenso (infiltración) del agua es vital. El promedio de por lo menos dos cilindros deben de ser idénticos para validar la recarga y la identificación del tipo de suelo.

En el centro formado por los juegos de cilindros se realiza una calicata en dirección de drenaje o pendiente del terreno brevemente se realiza un levantamiento o descripción del suelo con la cartilla de campo, con el apoyo de la cartilla se determina para cada perfil, profundidad y porcentaje de raíces, porosidad, % de arcilla, limo, arena, dureza (densidad) con agua y sin agua porcentaje de arena y grava, etc.

Luego se procedió a calificar las zonas de recarga de acuerdo a los indicados por DRASTIC, cuadro N°3 seguido de su producto por el peso ponderado, cuadro N° 1, capítulo 2; método DRASTIC.

3.2.3 Medio Acuífero (A)

Este se define como la zona saturada el agua que ocupa el espacio de los poros o fracturas. Se encuentra por debajo de la zona vadosa o no saturada. Por lo general mientras mayor sea la permeabilidad primaria (poros de la roca) y mayor permeabilidad secundaria (grado de fracturamiento), mayor será el potencial de contaminación del acuífero.

Como base se tomó la descripción litológica de los pozos perforados y se elaboraron dos perfiles hidrogeológicos (uno transversal y otro longitudinal), estos con el fin de identificar las diferentes capas que poseen los pozos en el eje Z, posteriormente se digitalizaron estos perfiles y se delimitaron las áreas correspondientes a cada tipo de material, estos valores fueron calificados de acuerdo al cuadro n° 4, multiplicándose por el factor de ponderación, cuadro N° 1. También se estudió la geología superficial para obtener un mejor análisis del comportamiento del material geológico en la superficie y el subterráneo en el área de estudio; luego se realizó su debida comparación con la metodología DRASTIC. Cabe destacar que se contó bajo la asesoría de un geólogo del INETER.

3.2.4 Medio Suelo (S)

La información de suelos en parte será proveniente de la Dirección de Ordenamiento Territorial del INETER, la cual resulta apropiada para los fines de este estudio, debido a que describen características del tipo y uso del suelo, tales como textura, profundidad radicular, pendiente, series de suelos, foto mapas, entre otros datos técnicos.

También se analizaron las pruebas de infiltración mencionadas en el parámetro de recarga. Se ubicaron los puntos donde fueron realizadas dichas pruebas y se plotearon en la subcuenca; posteriormente se realizó un análisis de similitud entre texturas encontradas en el área de estudio y las propuestas por la metodología DRASTIC, después se delimitaron áreas consolidadas con texturas diferentes y se digitalizaron estas zonas con la herramienta editor de Arc Gis. Las áreas consolidadas se calificaron de acuerdo al cuadro N° 5, luego se multiplicó con los valores de ponderación (cuadro N° 1, capítulo 2).

3.2.5 Topografía (T)

Para la generación del mapa de pendiente primeramente se elaboró un Modelo Digital de Elevaciones (DEM), con ayuda del software Arc Gis 9.3, tomando como base el DEM de Nicaragua de 90mts, el que fue suministrado de la base de datos del INETER.

Después el DEM, se cambió a un archivo raster debido a que las unidades de medidas del DEM son en msnm, esto se hizo con la herramienta de análisis espacial Slope del ArcGis, la cual nos da la imagen raster en unidades de medidas en porcentaje, posteriormente se normalizaron los rangos de pendiente con diferentes escalas de elevación, buscando rangos donde mejor se aprecie la topografía del terreno para una mejor visualización del terreno. De acuerdo a los valores propuestos por la metodología se clasificaron (cuadro N° 6), luego se multiplicó con su peso ponderado (cuadro).

3.2.6 Impacto de la zona vadosa (I)

El análisis de la zona vadosa, se realizó al igual que el parámetro del medio del acuífero, se realizó con apoyo del mapa geológico del área de estudio. Con la información de la hidráulica de pozos se obtuvo la información del diseño de los pozos y sus respectivas descripciones litológicas elaboradas en el momento de su perforación; de esta manera se logró una mejor interpretación y la ubicación espacial

de los materiales litológicos para este parámetro, igual que el parámetro acuífero se contó con asesoramiento de un geólogo, seguido de su calificación y su ponderación.

En la ubicación espacial de este parámetro se determinó que el nivel freático del acuífero sería el límite inferior y como límite superior la superficie del terreno.

3.2.7 Conductividad hidráulica (C)

Para la determinación de la conductividad hidráulica, se analizaron los pozos perforados con sus respectivas pruebas de bombeo realizadas. Los parámetros analizados de las pruebas de bombeo fueron la transmisividad y el ancho del acuífero (espesor saturado). La conductividad se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$K = T / b$$

Donde.

K: Conductividad Hidráulica m/día.

T: Transmisividad m²/día.

b: Ancho del acuífero (espesor del acuífero) m.

Con esta información se obtuvo una base para observar las diferentes conductividades hidráulicas de la subcuenca, posteriormente se generó una interpolación de los puntos para generar áreas de conductividades con diferentes rangos. Esta interpolación se realizó con la herramienta Geo estadística, la cual es que parte del software Arcgis 9.3.

Después de obtener los datos se procedió a calificar de acuerdo a la metodología DRASTIC (cuadro N^o 8) y su ponderación respectiva cuadro N^o 1, capítulo 2.

3.3 Elaboración del mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Subcuenca Laguna de Tisma

Después de la elaboración de los mapas temáticos de cada uno de los parámetros, ya calificados y con su respectiva ponderación, se procedió a la elaboración del mapa de vulnerabilidad hidrogeológica, para ello se realizó la suma ponderada de cada uno de los parámetros DRASTIC, empleando la siguiente ecuación Índice DRASTIC = $DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw$,

En donde, " r " corresponde a la Calificación, y " w " al Peso. Reemplazando los valores correspondiente de ponderación en cada parámetro la ecuación se transforma en la siguiente: Índice DRASTIC= $(5Dr) + (4Rr) + (3Ar) + (2Sr) + (1Tr) + (5Ir) + (3Cr)$, esta ecuación permite obtener valores de vulnerabilidad de acuerdo al cuadro N° 1, Capítulo 2, valores que van de 23 a 230.

La ecuación se ejecutó con la herramienta Raster Calculator, del Arc gis 9.3. Esta herramienta permite la creación de operaciones aritméticas de una o más variables basadas en un criterio específico.

Finalizada la operación con la Raster calculator, se conformaron zonas de vulnerabilidad hidrogeológica, zonas compuestas por tres rangos o categorías como lo son: Alta, Moderada y Baja vulnerabilidad. Los valores para cada rango están en dependencia de los índices DRASTIC calculados.

DESCRIPCION ESQUEMATICA DEL METODO DRASTIC

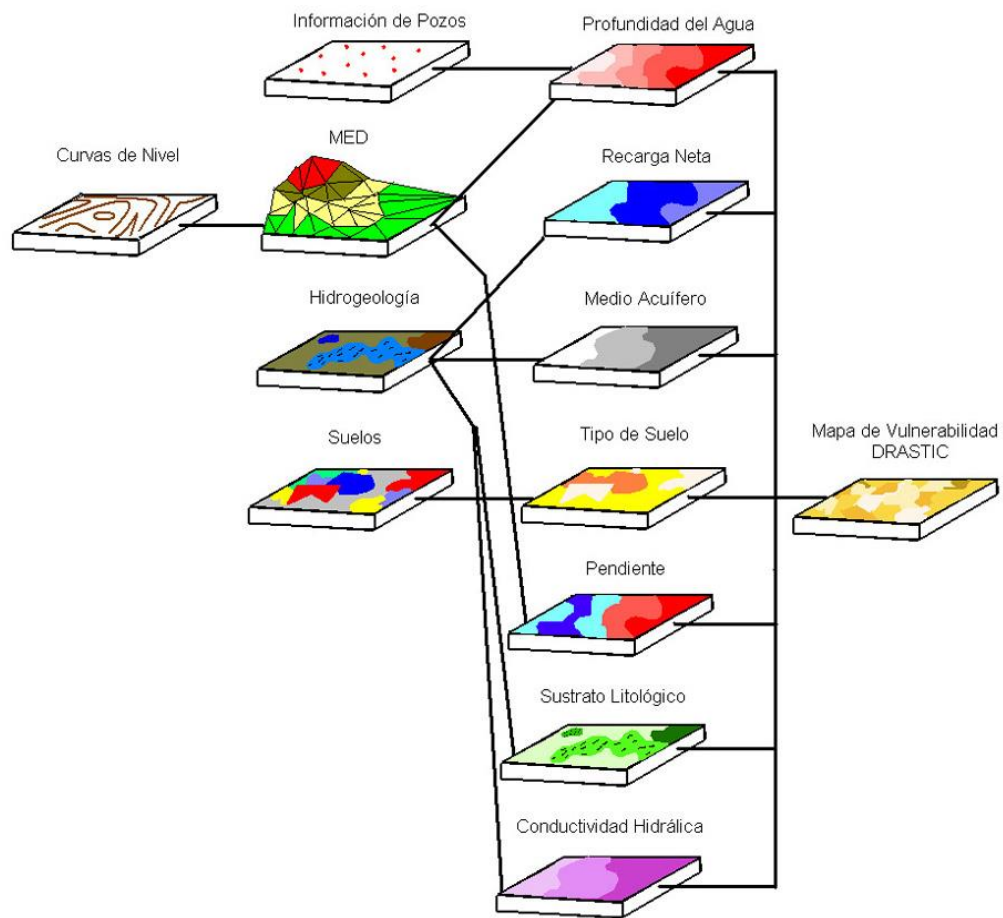


Figura N° 8 Descripción Esquemática del Método Drástico.

CAPITULO 4
RESULTADOS OBTENIDOS

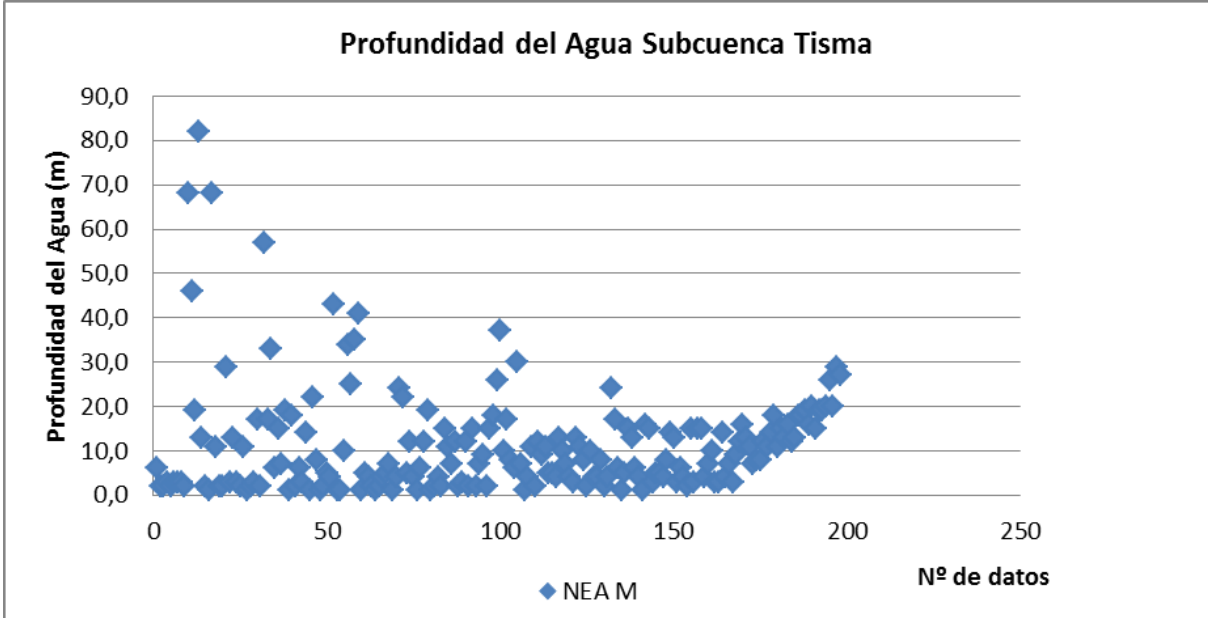
4.1 Características de los parámetros hidrogeológicos de la Subcuenca Laguna de Tisma

4.1.1 Profundidad del Agua

La profundidad del agua en el proceso de atenuación de un contaminante es importante porque determina el espesor del suelo y subsuelo que el contaminante debe de atravesar hasta llegar al acuífero. Dicho de otra manera esto implica que las posibilidades de degradación del contaminante aumentan con la profundidad del agua ya que significa más contacto con las formaciones geológicas en dependencia del medio.

Para la Subcuenca Laguna de Tisma se obtuvieron cuatro diferentes rangos de profundidades. En el grafico N° 1 se puede apreciar la distribución de profundidades de la subcuenca, (ver tabla de pozos en Anexo A). La tendencia demuestra que la mayoría de profundidades se encuentran por debajo de los 10 m, teniendo como valores mínimos 1 m, el resto de profundidades se ubican por encima de este valor hasta alcanzar el de máxima profundidad equivalente a 82 m.

Grafico N° 1



Área con profundidad D1 esta área se encuentra conformada por las menores profundidades de agua, varían de 1 a 7 m de profundidad, cubre el 43.4% de la subcuenca bordeando la Laguna de Tisma y aproximadamente 30 km del río Tipitapa, se extiende hacia el sur; hacia Granada y las costas del Lago Cocibolca, hacia el noroeste hasta llegar a los poblados de San Martín, San Juan, Hato Grande y San Jerónimo. Desde el punto de vista de profundidad, esta área es de menor atenuación por la poca profundidad. De acuerdo a la metodología DRASTIC, se le asignó una calificación de 9, y multiplicándose con su respectivo peso de 5 dando como resultado dio un valor numérico DRASTIC de 45.

Área con profundidad D2 las profundidades oscilan entre 7 y 16 m, ocupa el 28.3% del territorio de la subcuenca, se encuentra seccionada en dos partes, divididas por el río Tipitapa en las cercanías de los poblados Noel Morales, La Bocana y El Líbano. La primera sección se encuentra en la parte Noreste del área de estudio, abarcando los poblados de San Isidro, San Nicolás, Finlandia, La Calamidad, El Coyoil y Santa Rosa. La segunda sección se encuentra en la parte noroeste de la subcuenca, tiene una forma alargada. En esta sección se encuentran los poblados de El Bálsamo, Santa Cristina, La Piedra, el Palenque y las cabeceras municipales de Tipitapa y Tisma respectivamente. A esta área se le asignó una clasificación DRASTIC de 7 obteniendo un VND de 35.

Área con profundidad D3 al igual que la anterior esta área se divide en dos secciones una comprendida en la parte norte de la subcuenca y la otra forma un pequeño estrecho alargado en dirección suroeste de la subcuenca. En la primera sección se encuentran ubicados los poblados de Colonia los Laureles, Victoria de Julio y el Triunfo. En la segunda sección ubicada en el sureste se asientan los poblados de Zambrano. Santa Cruz, San Alejandro e Hilario Sánchez. En ambas secciones las profundidades de agua oscilan entre los 17 y 28 m, representa el 15.7% del área de estudio, se le asignó una calificación DRASTIC de 5 obteniendo un VND de 25.

Área con profundidad D4 en esta área la profundidad de agua se encuentra a más de 30 m, se puede considerar como el área de menos riesgo de contaminación, se localiza en la parte suroeste de la subcuenca, comprende los poblados La Ceibita, Pilas Orientales, Pilas Occidentales, Guanacastillo, San Ramón y el Cielo. Representa el

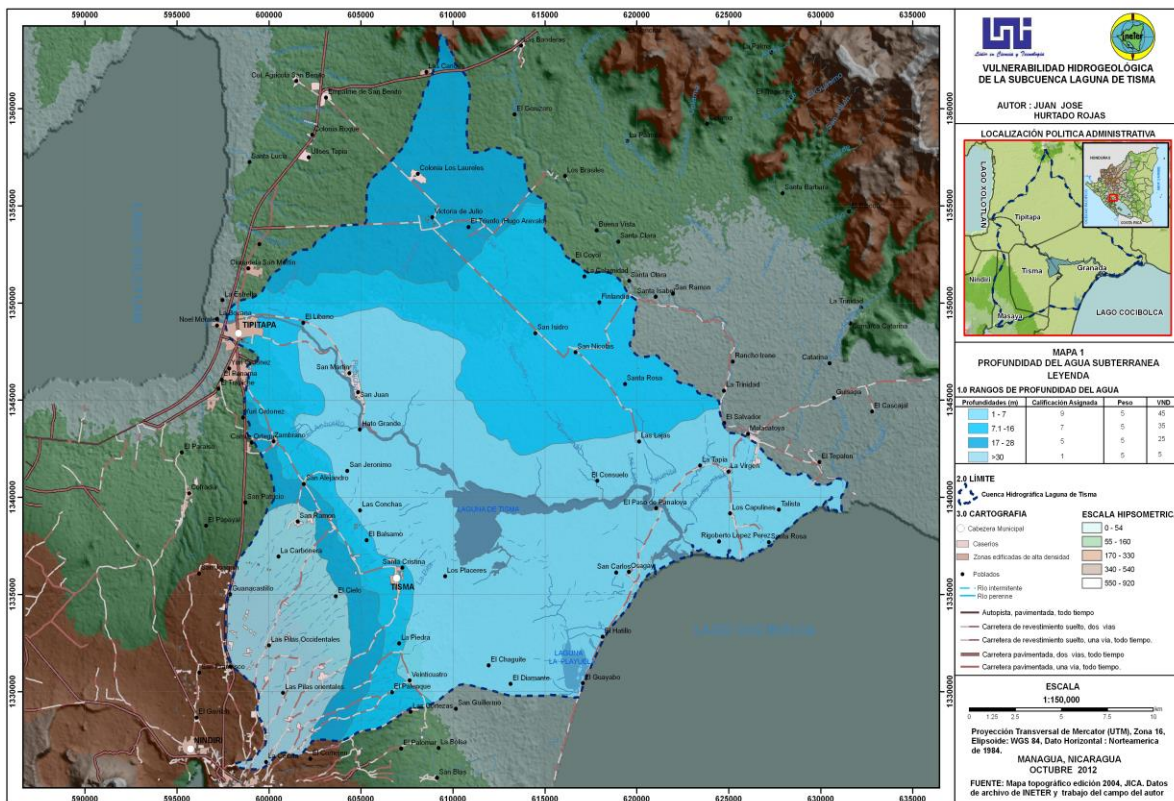
9.8% del área de estudio, se le asignó una calificación DRASTIC de 1, obteniendo un VND de 5.

De la metodología DRASTIC, para el análisis de la profundidad se obtuvo el mapa N° 1 Profundidad de agua. De la clasificación que se tabula por rango, se ha obtenido para la Subcuenca Laguna de Tisma los siguientes resultados, que se muestran en el cuadro N° 10.

Cuadro N° 10 Resultados de la Profundidad del Agua

Resultados del Análisis de la Profundidad del Agua (m)					
Código	Rango m		Clasificación Dr	Peso	VND
D1	1	7	9	5	45
D2	7	16	7	5	35
D3	17	28	5	5	25
D4	>30		1	5	5

Mapa N° 1 Profundidad del Agua



4.1.2 Recarga

Los resultados de la recarga se obtuvieron mediante información suministrada por convenios entre la UNI e INETER. Bajo los auspicios de los mismos se recopilaron datos de estudios anteriores realizados en dicha institución.

El método para estimar la recarga directa, es el desarrollado por Schosinsky (1999), que consiste en la realización de un balance hídrico de suelos, utilizando un programa de hoja electrónica modificado y probado para las condiciones de Centroamérica.

Se definieron cuatro zonas de recarga directa por agrupación de suelos, según el material litológico, formación geológica, texturas similares y características específicas como lo son: pendiente, orden de suelo, uso y cobertura vegetal.

4.1.2.1 Zona de Recarga 1 (ZR1)

Tiene una extensión de 110.34 km², es seccionada en dos partes por el río Tipitapa. En la parte norte se extiende desde el cerro La Luz extendiéndose a las proximidades de los terrenos de la Colonia Los Laureles llegando al borde del río por la finca los mangos donde se separa de la otra zona de recarga. En la parte sur del área se extiende hacia la zona urbana del Municipio de Tipitapa, Zambrano, La Comarca Guanacastillo hasta limitar con el Cerro El Coyotepe en la cercanía del Municipio de Masaya. En el área predominan los suelos francos arcillosos, arcillosos, dicho suelos pertenecen al orden Molisoles.

Los suelos se han desarrollado a partir de una toba de origen volcánica piroclástica, muy común la presencia en estas de ceniza lapilli, fragmentos de arena volcánica y escoria volcánica negra así como granos de pisolitos redondeados, prevalecen las pendientes entre 0-30% de inclinación aunque en su mayoría son tierras planas a ligeramente inclinadas..

El uso del suelo en el área está dividido en áreas urbanas (3.72%), árboles dispersos (3.87%), bosque caducifolios (1.17%), monte bajo (1.31%), pasto tropical (31.8%), plantación, huerto y viveros (8.65%), tierra cultivada 53.66%, tierras con cultivo de arroz (5.13%), aguas superficiales (0.49%) lo que demuestra el uso de una agricultura intensiva, afectando la parte boscosa que impacta en la recarga hídrica de la misma.

En esta ZR1 se realizaron seis pruebas de infiltración para obtener la capacidad de infiltración de los suelos (f_c). Los valores del f_c (capacidad de infiltración) varían de 106.5 mm/día a 211.86 mm/día. Ver cuadro N° 11: Resultado de Balances Hídricos.

Los valores de infiltración expresados en porcentajes, varían de acuerdo a la textura de los suelos y la permeabilidad de la zona; fluctúa entre el 87.42% al 95.40% que corresponde a 854.91mm y 932.87mm, y la retención es del 12% de la precipitación media según Schosinsky.

Los valores de recarga se expresan en porcentajes con respecto a la precipitación neta promedio anual. Para la zona de recarga ZR1, los valores son de 4.93% a 8.35%, que corresponde a 42.11 mm/añual y 77.89 mm/añual de recarga, respectivamente.

4.1.2.2 Zona de Recarga 2 (ZR2)

Tiene una extensión de 311.20 km², es la mayor zona de recarga, se extiende a ambos lados del Río Tipitapa. En su parte norte se encuentran las ciudades de Los Laureles, el Triunfo; San Juan de la Plywood así como las fincas Finlandia, San Nicolás las cuales cubren grandes extensiones de terreno con arrozales cultivo característico de la zona. En la parte noreste limita con la ciudad y el río Malacatoya. En la parte sur del área se observan las ciudades de Zambrano, El Bálsamo; Hato Grande, el terreno se observa poco inclinado, ya que sus pendientes varían de 0-4%. (INETER, 1971).

En el área de recarga predominan los suelos franco arcillosos, arcillosos, y arcillo arenoso dicho suelos provienen de sedimentos debido a los residuos que han dejado las constantes crecidas y/o inundaciones de parte de los dos cuerpos de agua en el área de la depresión nicaragüense.

Prevalecen pendientes de 0-8% de inclinación, Catastro, 1971. Los mismos se caracterizan por presentar la Formación Geológica de cuaternario residual y su principal composición es limo arcilloso color pardo a café claro que suprayacen a tobas consolidadas de la formación Las Sierras, es muy característica de expansión o contracción en relación al estado meteorológico del sector, en periodo constante de lluvias presenta un comportamiento uniforme, se satura y filtra agua de manera lenta hacia el subsuelo, en cambio en periodos secos, sus partículas se contraen a la ausencia de fluido, por lo tanto tiene una similitud desértica formando grietas.

El uso del suelo en el área se define en: Áreas urbanas (0.87%), árboles dispersos (7.25%), Bosque caducifolios (2.94%), Monte bajo (5.57%), Pasto tropical (44.69%), Plantación, huerto y viveros (0.93%), Tierra cultivada 13.89%, Tierras con cultivo de arroz (23.15%), aguas superficiales (0.72%) el área se define para uso ganadero intensivo.

Se realizaron ocho pruebas de infiltración para obtener la capacidad de infiltración de los suelos (f_c). Los valores del f_c varían de 82.27 mm/día a 382.52 mm/día.

La precipitación que se infiltra varía de acuerdo a la textura de los suelos y la permeabilidad de la zona, la profundidad de las raíces que fluctúa de 84.9% a 96.6% de 830.5mm y 945.1mm, respectivamente. El valor de retención es de 12% de la precipitación media, según Schosinsky.

Los valores de recarga están dados en porcentajes promedio respecto a la precipitación promedio anual. Para la zona de recarga ZR2, los valores de recarga están entre el 3.44% y 8.35%, que corresponde a 28.55 mm/añual y 78.93 mm/añual de recarga, respectivamente.

4.1.2.3 Zona de Recarga 3 (ZR3)

Esta zona tiene un área de 136.38 km², es atravesada por el río Tipitapa lo que permite la formación de 2 áreas a ambos lados de la ribera del río. En la parte noreste se encuentran muchas áreas dedicadas al cultivo de arroz, como las zonas de las Lajas, El Consuelo, Los placeres, además hay zonas pantanosas a la orilla del río. Hay varios caminos que atraviesan la zona pero que en invierno se deterioran y se forman muchos pegaderos debido a la textura de los suelos. Tanto la parte sur como norte se comunican por un Barcaza de transporte acuático en la zona del paso Panaloya lo que permite la movilización de las personas así como los productos agrícolas producidos en la zona.

En el área sur se encuentra la Laguna de Tisma y la Laguna la Playuela las que son importantes de fuentes aguas superficiales, que se comunican con una área de zonas pantanosas las cuales en invierno se prolongan hasta el Lago Cocibolca, condiciones poco aptas para el cultivo y el pastoreo, disminuyen la posibilidad de sobrevivir en la zona, por lo que hay muy pocos habitantes.

En esta zona predominan los suelos, arcillosos, y arcillo arenoso. Estos suelos en las áreas de cultivos son generalmente arenosos, color pardo claro a pardo oscuro, con granulometría gruesa en combinación con limo y poca arcilla, así como de la presencia en la matriz, de gravas subangulares a subredondeadas hasta de $\frac{1}{4}$ de pulgadas de diámetro, donde prevalecen pendientes de 0- 8% de inclinación, (INETER, 1971).

En esta zona el uso del suelo se divide en Áreas urbanas (0.32%), árboles dispersos (3.52%), bosque caducifolios (9.19%), monte bajo (19.96%), pasto tropical (17.64%), plantación, huerto y viveros 0.30%, tierra cultivada 5.70%, Tierras con cultivo de arroz (10.21%), zonas inundadas por temporada de invierno (21.47%), Aguas superficiales (11.70%). En la zona existe un uso intensivo de cultivo de arroz como monocultivo. En invierno hay áreas muy extensa de tierras pantanosas las cuales son poco habitables debido a que la superficie del terreno se encuentra casi al mismo nivel que el lago Cocibolca y es anegado para esta época y no representa mucho explotación agrícola y por tanto su potencial económico es muy reducido; mientras el uso forestal es muy poco por la poca presencia de árboles de uso forestal y de la deforestación de la zona.

Se hicieron tres pruebas de infiltración para obtener la capacidad de infiltración de los suelos (f_c). Los valores del f_c varían de 81.25 mm/día a 267.12 mm/día.

La infiltración del agua fluctúa entre el 84.69% y 97.7% que corresponde a 827.7mm y 955.7mm de la precipitación. Los valores de retención son de 12% de la precipitación media, según Schosinsky.

Los valores de recarga se expresan como porcentajes promedio respecto a la precipitación promedio anual. Para la zona de recarga ZR3 los valores de recarga están entre el 2.80% y 7.75%, que corresponde a 23.15 mm/añual y 74.04 mm/añual de recarga, respectivamente.

4.1.2.4 Zona de Recarga 4 (ZR4)

Esta zona tiene un área de 40.29 km² con varias comarcas como la Montañita, La Piedra, Las Cortezas, San Ramón, Santa Cruz, El Palenque, se caracteriza por presentar pendientes de entre 0-15%.

En la zona predominan los suelos de textura franco arcillosos y arcilloso estos se expanden durante la estación lluviosa y se contraen en verano presentando grietas anchas durante la mayor parte de la estación lluviosa; son muy profundos a moderadamente profundos. El drenaje interno es imperfecto a pobremente drenado, la pendiente es plana a moderadamente inclinada entre 0-15% de inclinación, (Catastro, 1971).

Esta zona de recarga esta sobre la Formación Geológica Cuaternario volcánico, formación que comprende una secuencia interestratificada y casi laminar de material piroclástico, las cuales tienen su origen en las constantes erupciones de los volcanes ubicados en el complejo volcánico Masaya durante el periodo Pliopleistoceno entre la fase tardía de la época Terciaria, lo que comprende arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez muy alterados en transición a suelo limoso color pardo claro.

El uso del suelo en el área se define en Áreas urbanas (1.71%), Bosque caducifolios (3.36%), Monte bajo (9.26%), Pasto tropical (15.04%), Plantación, huerto y viveros (6.69%), Tierra cultivada (63.92%), Aguas superficiales (0.01%) esta área se caracteriza por tener una agricultura intensiva, afectando las zonas de utilidad forestal.

Se realizaron dos pruebas de infiltración para obtener la capacidad de infiltración. Los valores de f_c (Capacidad de infiltración) varían de 420 mm/día a 450 mm/día. La precipitación que se infiltra se expresan en porcentajes, que fluctúa entre el 98.50% y 98.80% que corresponde a 962.83 mm y 966.55 mm. Los valores de retención son 12% de la precipitación media según, Schosinsky.

Los valores de recarga se expresan como porcentajes promedio respecto a la precipitación promedio anual. Para la zona de recarga ZR4, los valores de recarga están entre el 8.57% y 9.05%, que corresponde a 82.47 mm/añal y 87.45 mm/añal de recarga respectivamente.

En el cuadro N° 11 se presenta un resumen de los datos de las diferentes Zonas de Recarga.

Cuadro N° 11 resumen de los datos de las diferentes Zonas de Recarga.

Zona Recarga	Criterios Principales Utilizados						Infiltración Prom. (%)	Recarga Prom. Anual		
	Textura	ETP (mm/A)	P (mm/A)	Pi (mm/A)	F _c Prom. (mm/A)	Formacion Litologica		Descripcion Geologico	(mm)	Valor Promedio (%)
ZRD 1	Franco arcillos	1572,99	1130,113	932,870	211,86	TQps:Terciario-Cuaternario	miembro superior una toba blanquecina compacta de grano fino	95,40	77,89	8,35
	Arcilloso	1572,99	1130,113	854,918	106,50			87,42	42,11	4,93
ZRD 2	Franco arcillos	1572,99	1130,113	945,102	230,80	Qr:Cuaternario residual	Deposito residual, limo arcilloso color pardo a café claro y suprayacen a tobas consolidadas	96,68	78,93	8,35
	Arcilloso	1572,99	1130,113	830,590	82,27			84,95	28,55	3,44
	Arcillo arenoso	1572,99	1130,113	944,093	382,532			96,50	77,66	8,23
ZRD 3	Arcilloso	1572,99	1130,113	827,776	81,250	Qal:Cuaternario aluvial	Deposito aluvial y lacustre combinación con limo y poca arcilla	84,69	23,15	2,80
	Arcillo arenoso	1572,99	1130,113	955,720	267,127			97,70	74,04	7,75
ZRD 4	Franco arcillos	1572,99	1130,113	966,554	450,000	Qv:Cuaternario volcanico	arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez	98,80	87,45	9,05
	Arcilloso	1572,99	1130,113	962,839	420,000			98,50	82,47	8,57

En el cuadro N° 12 se muestra la recarga media anual de la Subcuenca Laguna de Tisma, resultado por zona.

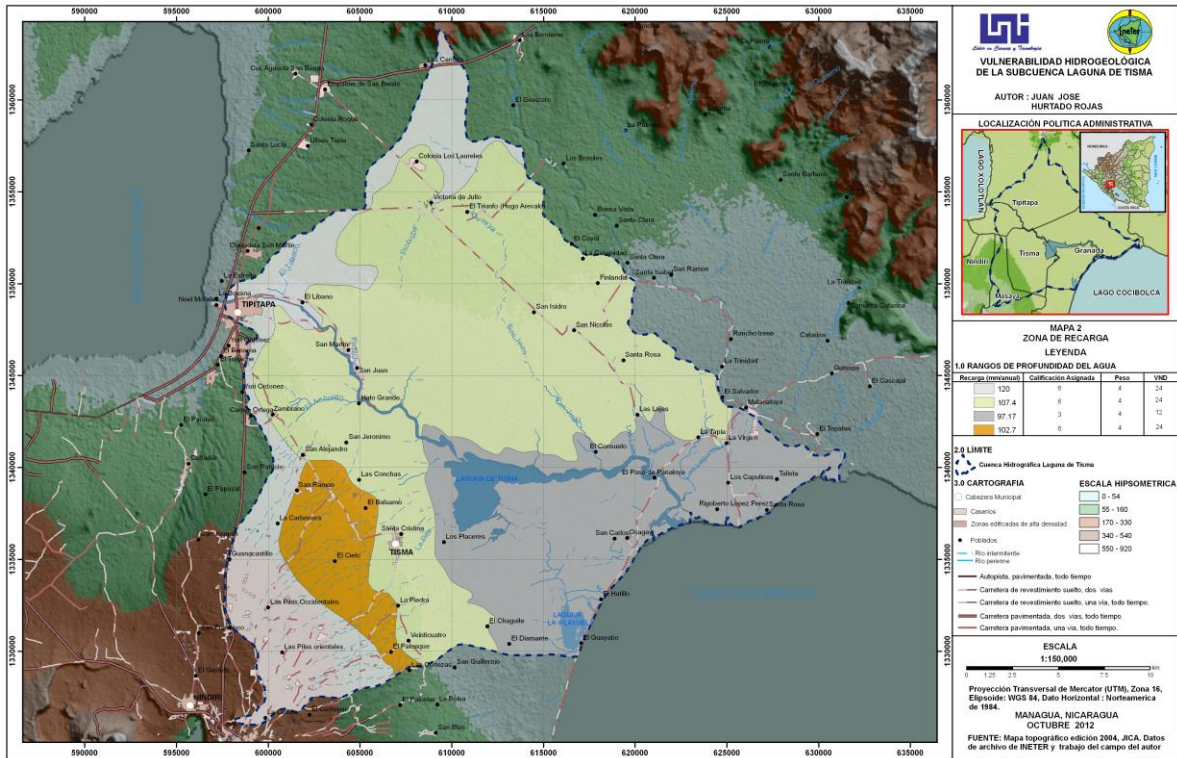
Cuadro N° 12 recarga media anual

Zona Recarga	Textura	Area Recarga (km ²)	Recarga (Rp) (mm)	Recarga Anual (mmca)
ZRD1	Franco arcilloso Arcilloso	110,343	60,00	6,620,580
ZRD2	Franco arcilloso Arcilloso Arcillo arenoso	311,129	61,91	19,261,996,39
ZRD3	Arcilloso Arcillo arenoso	138,907	48,59	6,749,491,13
ZRD4	Franco arcilloso Arcilloso	40,295	84,96	3,423,463,2
TOTAL		600,674		36,055,530,72

Fuente: INETER.

La Mapa N° 2, contiene el comportamiento y valores de la recarga en la Subcuenca Tisma.

Mapa N° 2 Recarga



De la Metodología Drastic para el análisis de la recarga se obtuvo el Mapa N° 2 Recarga, de acuerdo a la Metodología Drastic.

En el cuadro N° 13. Se presentan los valores numéricos drásticos, para las diferentes zonas de recarga.

Cuadro N° 13 Resultados de la Recarga

Zona de Recarga	Escala de Recarga mm	Clasificación Rr	Peso	VND
ZRD1	120	6	4	24
ZRD2	107.04	6	4	24
ZRD3	97.17	3	4	12
ZRD4	169.92	6	4	24

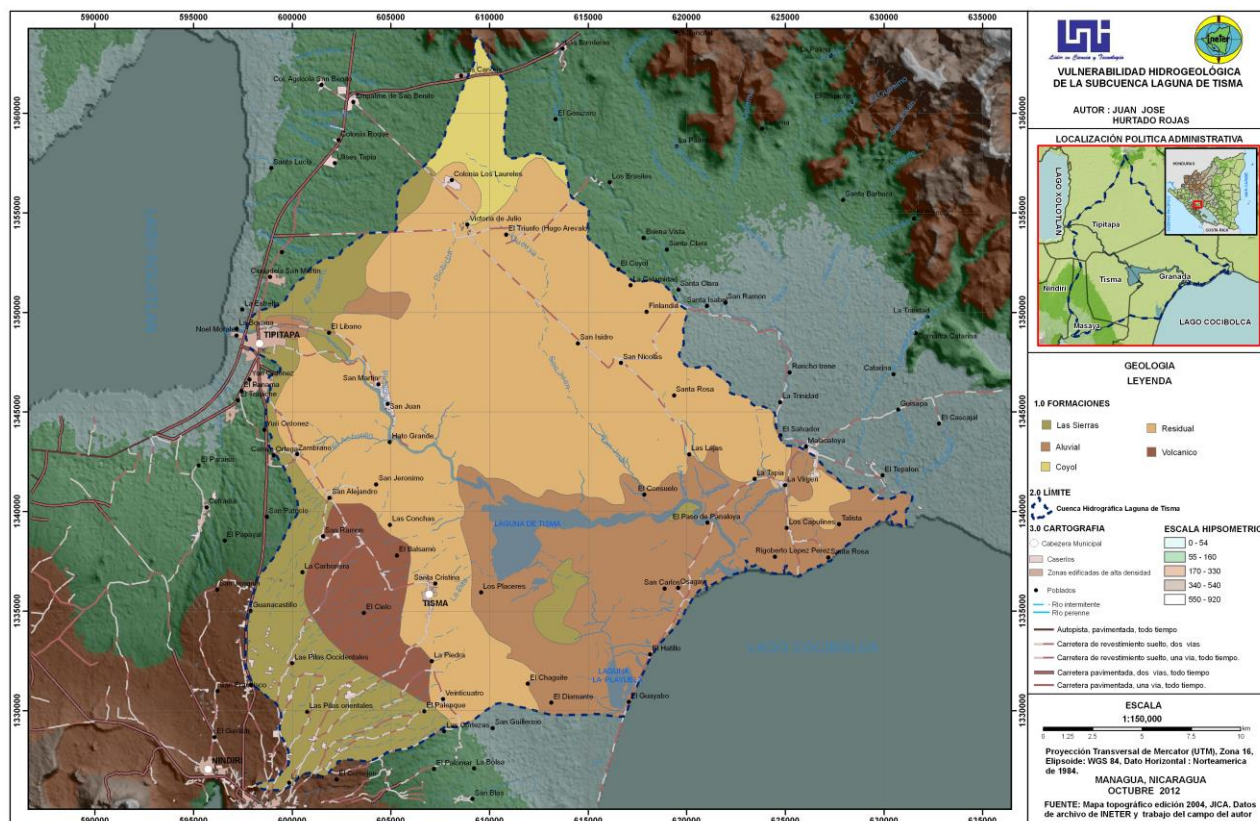
De acuerdo a los resultados según el cuadro N° 13, se tienen dos clasificaciones drásticas, la máxima clasificación alcanzada tiene un módulo de 6. Los lugares que están regidos por este valor son todos aquellos que se encuentran en el área de estudio de la subcuenca, a excepción de los siguientes poblados: Los Placeres, El Consuelo, El Paso de Panaloya, Los Capulines, San Carlos los cuales presentan la mínima clasificación alcanzada con un módulo de 3.

4.1.3 Medio del Acuífero

Su importancia radica por el grado de influencia en la atenuación de un contaminante a través de los procesos de absorción, dispersión y dilución. Dicha influencia se mide por el recorrido de la pluma de contaminación, el cual es determinado por el sistema de flujo o por el nivel de interconexión entre poros o fracturas del medio saturado.

Las fracturas y poros del medio saturado del acuífero son el resultado de la actividad geológica. Por tal motivo se presenta la Figura N° 9 Geología, la cual presenta las diferentes formaciones actuales presente en la subcuenca.

Figura N° 9 Geología



En el cuadro N° 14 presenta los resultados de la evaluación del medio del acuífero mediante la Figura N° 9 presentada anteriormente.

Los números que se presentan en cuadro N° 14 corresponden al valor típico que le asigna al tipo de acuífero el Método DRASTIC, cabe destacar que la valoración de cada formación geológica se contó bajo la asesoría de un Geólogo. Ver cuadro N° 5 del capítulo.

Cuadro N° 14 Valor Típico de Acuífero.

N°	Resultado del Análisis del medio Acuífero (A) por formación Geológica	TQps	Tpc	Qr	Qal	Qv
1	Tipo de acuífero					
2	Metamórfica/ Ígnea			4		3
3	Metamórfica/Ígnea meteorizada					
4	Secuencia de areniscas, caliza y lutitas	9				
5	Arenisca Masiva					
6	Caliza masiva					
7	Arena o Grava	8			8	
8	Basaltos		2			

Se le ha asignado a la formación el valor típico de la metodología DRASTIC al tipo de formación o material que se encuentran en el área de estudio, el cual determina su tipo. Los materiales se encuentran en el rango de areniscas, calizas hasta las arenas, gravas. El predominio de estos materiales generaliza un tipo de acuífero libre que se puede catalogar como permeable a muy permeable.

Se contó con los perfiles litológicos de pozos perforados encontrados en el área, para conocer la deposición y espesores de los estratos subterráneos, se pueden ver en Anexo A (CUADROS). De los resultados obtenidos en el cuadro N° 14 y el análisis de los perfiles litológicos, se obtuvo el Mapa N° 3 Medio del Acuífero.

A continuación en el cuadro N° 15, se presentan los resultados del análisis de medio Acuífero.

Cuadro N° 15 Resultados del análisis de medio Acuífero.

Código	Comparación de Escalas litológicas		Clasificación Ar	Peso	VND
	DRASTIC	Área de Estudio			
A1	Secuencia de Areniscas, calizas y Lutitas.	Arena, Grava -Escoria, Pómez.	9	3	27
A2	Arena o Grava.	Arena, con existencia de grava- Arcilla y Limo.	8	3	24
A3	Basalto.	Rocas volcánicas. Lavas basáltica andesitas.	2	3	6

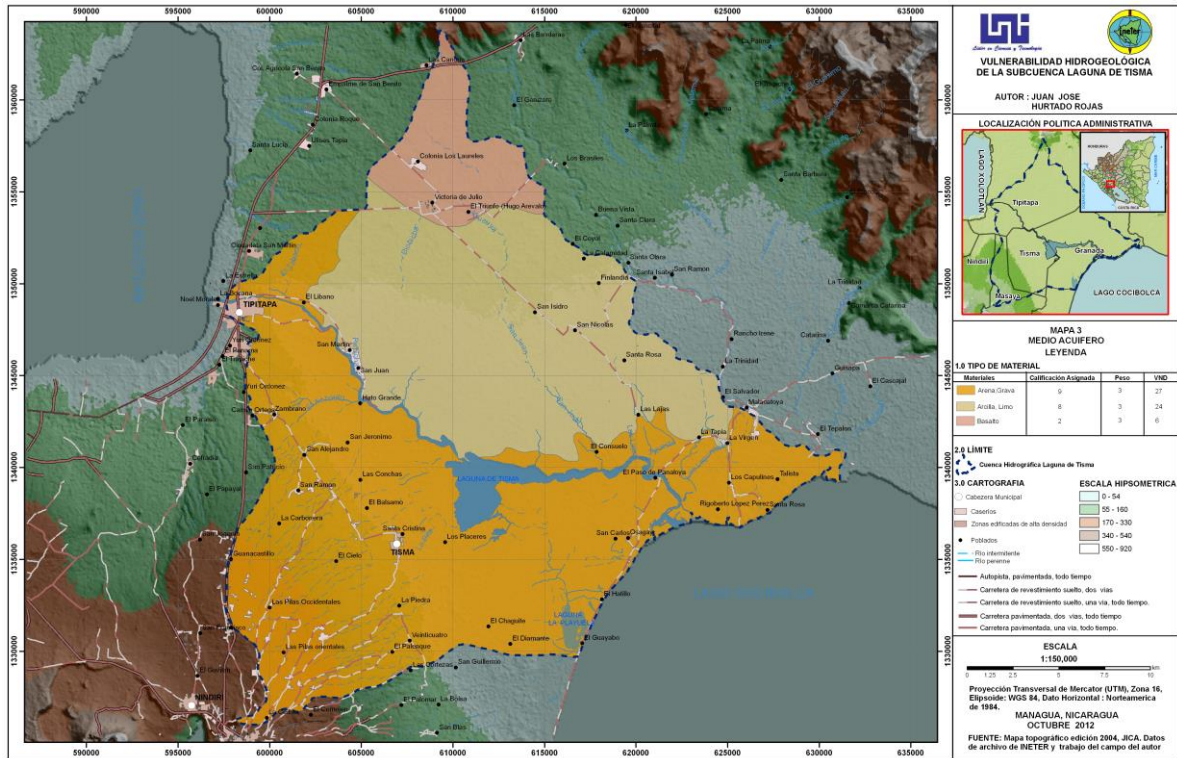
Medio Acuífero A1 el máximo VND es de 27, cubre la mayor extensión de la subcuenca desde el cerro Coyotepe atravesando los poblados de: Las Pilas Orientales, Occidental, La Carbonera, El Balsamo, la parte sur de la Laguna de Tisma y las Cabeceras municipales de Tipitapa y Tisma. Presenta materiales tales como arena, grava, escoria y pómez, característicos de la formación Las Sierras, los cuales poseen permeabilidades altas.

Medio Acuífero A2 el segundo rango obtenido posee un módulo de 24, se caracteriza por la presencia de las formaciones Cuaternario Aluvial y Residual, con materiales predominante tales como: Arcilla, Limo, Arena y la poca existencia de Grava materiales que presentan características hidrogeológicas de alta y baja permeabilidad.

Los lugares que se encuentran regidos por este valor se ubican en la parte norte de la Laguna de Tisma y sobre la ribera del río Tipitapa en la margen derecha tales como son: La Calamidad, San Isidro; Santa Rosa, San Nicolas.

Medio Acuífero A3 el mínimo valor obtenido posee un módulo de 6; posee la peculiaridad de estar compuesto por materiales basálticos, rocas volcánicas andesísticas, materiales de baja a nula transmisibilidad, pueden poseer permeabilidad secundaria por medio de fracturamientos. Se ubica espacialmente sobre la parte norte de la subcuenca; comprende los poblados de: Victoria de Julio, El Triunfo y La Colonia Agrícola Los Laureles.

Mapa N° 3 Medio Acuifero.



4.1.4 Medio Suelo

El suelo lo conforma la parte superior de la zona vadosa y la característica más importante de éste parámetro está definida por textura. La existencia de suelos con textura fina, como los suelos residuales, reduce la permeabilidad relativa, lo cual también limita la migración de los contaminantes; por el contrario suelos de textura gruesa, como en los suelos transportados coluviales, son más susceptibles a la filtración y absorción de los contaminantes.

Se realizó un análisis comparativo entre las características de los suelos propuestos por el método DRASTIC y las condiciones específicas del área de estudio a fin de hacer una clasificación más adaptada a los suelos del área.

Se obtuvieron tres áreas las cuales se describen a continuación.

Medio Suelo S1 consiste en suelos Franco Arcillosos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, con un subsuelo de color rojizo oscuro y que está sobre un estrato endurecido continuo pero fragmentado. Los suelos se han desarrollado de ceniza volcánica que descansa sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada o arena y escoria cementada. Se encuentran en planicies ligeramente onduladas a fuertemente onduladas.

El suelo es bien adaptado para ajonjolí, sorgo, maíz y algodón; moderadamente apto para la mayoría de los cultivos de surco y pobremente adaptado para bananos, frijoles rojos y frijoles blancos, bananos y caña de azúcar. El escurrimiento superficial es lento y las practicas simples son generalmente adecuadas para la conservación de los suelos, cuando se siembran cultivos anuales.

Esta área posee un VND de 12, como la máxima valoración obtenida, los poblados que se asientan bajo esta área son: las cabeceras municipales de Tipitapa, Tisma y los poblados tales como Guanacastillo, El Bálsamo, El Palenque, Zambrano. Representa el 37.37% total del área de estudio con 231 km².

Los suelos generalmente tienen permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible a moderadamente alta, con una zona radicular profunda a moderadamente superficial. El contenido de materia orgánica es alto en los primeros horizontes y moderado en el subsuelo. Los suelos se encuentran en las zonas de vida transicional entre bosque Tropical y Subtropical Húmedo. La vegetación natural era de bosques moderadamente densos, pero en la actualidad casi todos los bosques han sido talados y están siendo usados para cultivos y pastos.

Medio Suelo S2 comprende el área de mayor extensión en toda la subcuenca, abarca 300 km², equivalente al 48.5%. Consiste en suelos Arcillosos profundos y moderadamente profundos, bien drenados que se han desarrollado en parte de ceniza volcánica y en parte de la toba básica subyacente.

Se encuentra en planicies con pendientes casi planas. Están asociados con Vertisoles que se encuentran en depresiones, tienen permeabilidad moderadamente lenta, capacidad de humedad disponible moderadamente alta y zona radicular moderadamente profunda. El contenido de materia orgánica es alto en la superficie y moderado en el subsuelo. Los suelos están en zonas de vida de Bosques Subtropical Seco, aunque la mayoría han sido talados para uso de cultivos y pastos.

El suelo es bien apto para sorgo, caña de azúcar y hortalizas con riego. Es moderadamente bien apto para ajonjolí, maíz, algodón, yuca y pobremente adaptado para cacao, maní, tabaco, bananos y plátanos.

El suelo tiene escurrimiento superficial lento y el peligro de erosión es muy leve donde la superficie está muy protegida por vegetación. Las prácticas de conservación para cultivos anuales de surco son una o más de las siguientes: incorporación de residuos vegetales al suelo, fertilización, mínimas labores de labranza, cultivo en contorno en un sistema de terraza.

En esta área se obtuvo un VND equivalente a 10. Los poblados asentados en este tipo de suelo son: La Carbonera, San Juan, Hato grande, El Consuelo, San Nicolás, Santa Rosa, Colonia Los Laureles, La Virgen.

Medio Suelo S3 consiste en suelos Arcilloso Limos moderadamente profundos, algo pobremente drenados, de color gris muy oscuro que se derivan de aluviales viejos o depósitos lacustres mezclados con ceniza volcánica. Comúnmente contienen sales y en algunos lugares algo de álcali. Se encuentran en parte sur de la Laguna de Tisma, llegando hasta las costas del Lago Cocibolca cubriendo los poblados de Los Placeres, El Hatillo, El Guayabo, El Bueycito; forma un área de 69km² lo que representa el 11.1% del área.

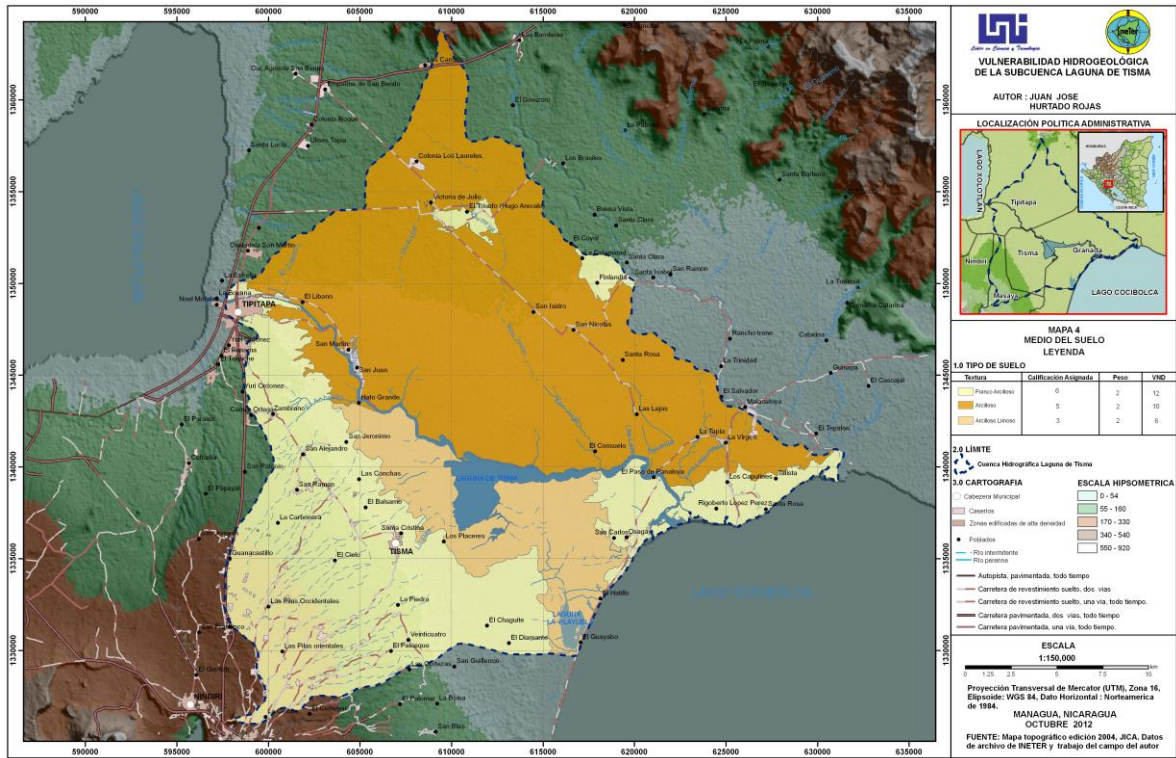
Los suelos tienen permeabilidad moderada y una zona radicular moderadamente profunda. Tienen capacidad de humedad disponible moderadamente alta en los horizontes superficiales y moderados en el subsuelo. Estos suelos tienen una tabla de agua alta durante gran parte del año. Poseen alto contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales y moderados a poco en el subsuelo.

El suelo es mejor adaptado para arroz, caña de azúcar y pastos. Con drenaje adecuado para bajar la tabla de agua estacional, el suelo puede ser ocupado para otros cultivos como hortalizas. Esta clasificación obtuvo el mínimo VND, con un módulo de 6. Con respecto a la Metodología DRASTIC para el análisis del medio del suelo se obtuvo el Mapa N° 4 Medio Suelo. A continuación en el cuadro N° 16, se muestra los resultados obtenidos.

Cuadro N° 16 Resultados del Análisis del medio Suelo

Resultados del Análisis del medio Suelo(S)				
Áreas	Texturas	Clasificación Sr	Peso	VND
S1	Franco Arcilloso	6	2	12
S2	Arcilloso	5	2	10
S3	Arcilloso Limoso	3	2	6

Mapa N° 4 Medio Suelo



4.1.5 Topografía

El análisis de la topografía se realizó con el propósito de establecer los rangos de pendientes del área y asignar valores de acuerdo a las escalas DRASTIC. Los valores más altos corresponden a las zonas más planas y los valores más bajos a las zonas con mayor inclinación. Este criterio se fundamenta de acuerdo a que en áreas planas el agua permanece más tiempo en la superficie del suelo y por lo tanto tiene mayor posibilidad de infiltrarse con contaminantes incorporados.

Los resultados del rango de pendientes fueron determinadas mediante Arcmap con la herramienta Arc Toolbox (Spatyal – Analyst – Tools / Surface / Slope). El modelo de elevación digital (DEM), es un modelo de elevación del terreno sondeado por un trasbordador, el cual ha facilitado la clasificación de la pendiente para la utilización del Método DRASTIC. Mapa N° 5 Topografía.

Se obtuvieron tres rangos de pendientes, los cuales se describen a continuación.

Topografía T1 este rango de pendiente oscila entre los 0 y 2%, es la de mayor presencia en la subcuenca, es un área consolidada cubriendo aproximadamente el 74% de la misma, dentro de esta área se ubican principalmente las cabeceras municipales de Tipitapa y Tisma. Este tipo de pendiente favorece la infiltración, debido a la permanencia de agua en el área, causada por la casi horizontalidad del terreno. Se le asignó una calificación de 10, por el peso ponderado correspondiente de 1, se generó un VND de 10, como la máxima clasificación alcanzada.

Topografía T2 se encuentra comprendida por pequeñas áreas; ubicándose en la parte Este y Norte de la Subcuenca; las pendientes oscilan entre 2 y 4% y ligeramente ondulado ha inclinado. Se le asignó una clasificación de 9 que multiplicado por el peso del parámetro se obtuvo un VND de 9.

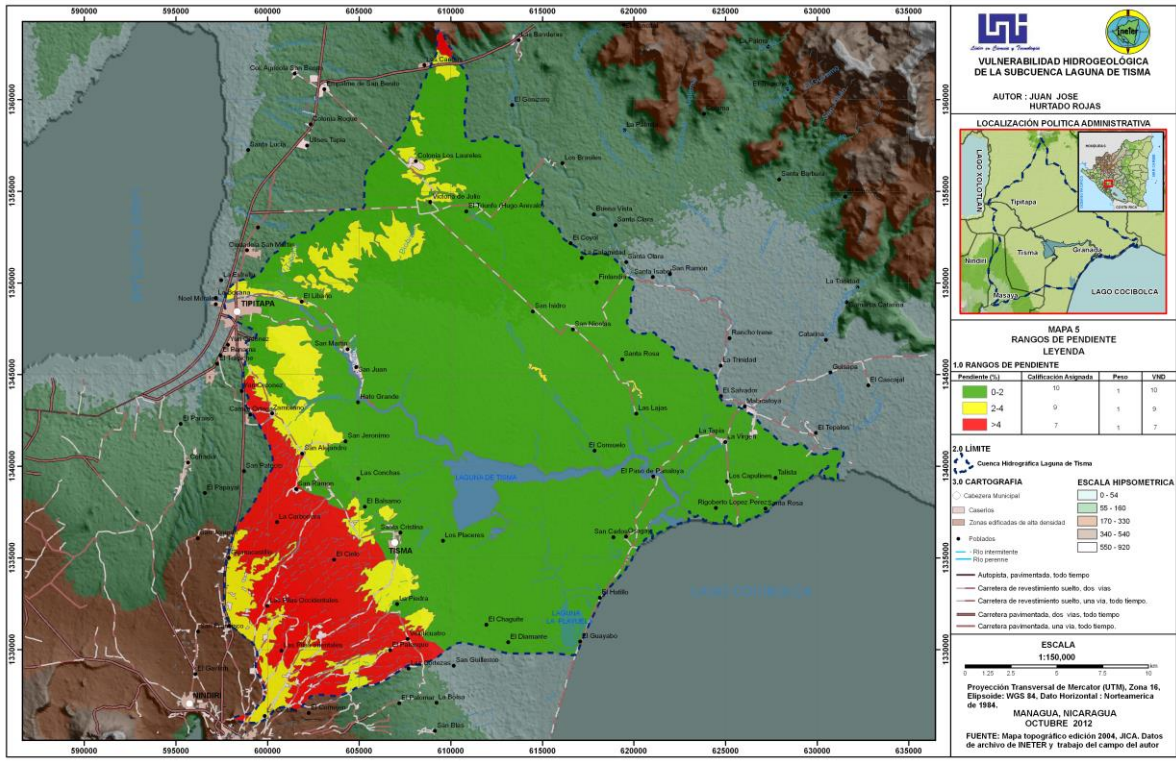
Topografía T3 estas áreas tienen mayor predominio en la parte suroeste de la subcuenca; presenta pendientes mayores a 4% (moderada ondulada a inclinada). De acuerdo a la clasificación DRASTIC se le asignó un valor de 7, obteniendo un VND de 7 respectivamente.

En el cuadro N° 17 se presenta el resultado del parámetro Topografía obtenido.

Cuadro N° 17 Resultado del parámetro Topografía

Resultado del Análisis de Topografía (T)				
Código	Pendiente %	Clasificación Tr	Peso	VND
T1	0 - 2	10	1	10
T2	2 - 4	9	1	9
T3	> 4	7	1	7

Mapa N° 5 Topografía



4.1.6 Zona vadosa o zona no saturada

La importancia de la zona vadosa en la estimación de la vulnerabilidad natural depende de las características del espesor, composición litológica, propiedades químicas de las rocas, las cuales determinan las condiciones de atenuación del material que se encuentra por debajo del horizonte del suelo y por encima de la capa freática. La biodegradación, neutralización, filtración mecánica, reacción química, volatilización y la dispersión son fenómenos que pueden ocurrir y contribuyen al proceso de atenuación dentro de la zona vadosa.

Para obtener los resultados de la zona vadosa y utilizarlos en la clasificación del Método DRASTIC, primero se logró conseguir en INETER 45 pozos con perfiles litológicos. De la evaluación espacial de los mismos se determinaron dos perfiles, uno longitudinal y otro transversal, presentando una alineación adecuada. Ver perfiles en Anexos C (Figuras). Igualmente en Anexos A: Cuadros. (Se presentan los pozos perforados con información litológica).

El resultado del análisis de los pozos llevó a clasificar dos conjuntos de pozos que determinaron los dos perfiles. El perfil número 1, como nombre Tipita-El Líbano-Laguna de Tisma-Lago Cocibolca y el perfil número dos con el nombre de Malacatoya.

Del análisis de este parámetro se obtuvieron como resultado 3 zonas representadas, las cuales se presentan a continuación.

Zona Vadosa I1 tiene una extensión de 123 km², representando el 19.9% del área total, es seccionada en dos partes por el río Tipitapa. En la parte norte se extiende a las proximidades de los terrenos de la Bocana, La Estrella y el Líbano. En la parte sur del área se extiende hacia la zona urbana del Municipio de Tipitapa, Zambrano, La Comarca Guanacastillo hasta limitar con el Cerro El Coyotepe en la cercanía del Municipio de Masaya. Presenta materiales tales como Arena, Grava y Escoria con Pómez, materiales característicos de la formación Las Sierras, los cuales poseen alta permeabilidad, se asignó un VND de 45.

Zona Vadosa I2 se caracteriza por sedimentos cuaternarios residual constituidos por Arcilla. Limo y Arena, cubre la mayor extensión de la subcuenca, representa el 70.5% equivalente a 436 km², cubre la cabecera municipal de Tisma, se extiende desde las

costas del lago Cocibolca, bordea la Laguna de Tisma, atravesando el río Tipitapa, hasta llegar a los poblados de Victoria de Julio y El Triunfo, en la parte norte de la subcuenca, este tipo de materiales se caracteriza por presentar características hidrogeológicas de baja a alta permeabilidad. Se obtuvo un VND de 40.

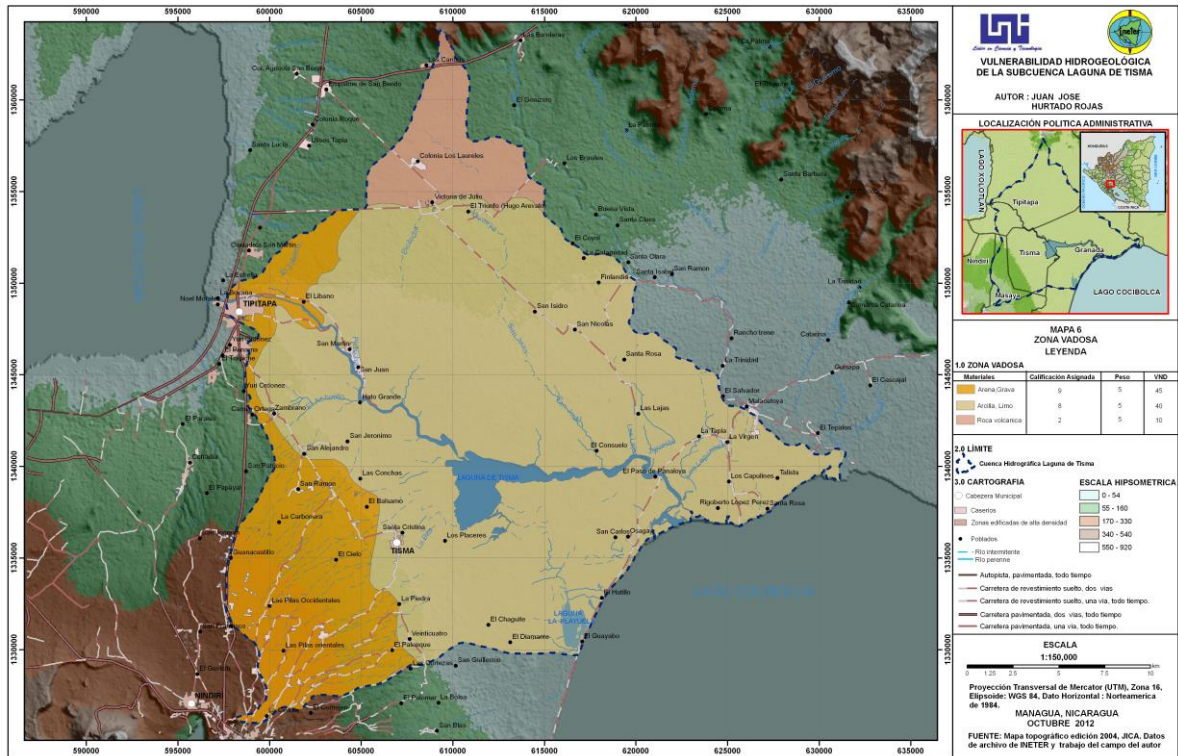
Zona Vadosa I3 esta zona se caracteriza por estar compuesta por materiales basálticos, rocas volcánicas, materiales que presentan de baja a nula permeabilidad, pero pueden poseer permeabilidad secundaria por fracturamientos, se obtuvo el mínimo VND con un módulo de 10. Ocupa el 6.8% del área, es decir 42 km², sobre esta área se asientan los poblados de: Victoria de Julio, El Triunfo y La Colonia Agrícola Los Laureles, ubicados en la parte norte de la subcuenca.

A continuación en el cuadro N° 18, se muestran los resultados obtenidos para el parámetro del medio de la Zona vadosa o zona no saturada. Se observa Mapa Zona vadosa y la distribución espacial de las áreas descritas.

Cuadro N° 18 Resultados Zona vadosa

Código	Comparación de Escalas litológicas		Clasificación Ar	Peso	VND
	DRASTIC	Área de Estudio			
I1	Cieno - Arcilla	Arena Grava – Escoria , Pómez	9	5	45
I2	Arena o Grava	Arcilla, Limo, Arena	8	5	40
I3	Basalto.	Rocas volcánicas. Lavas basáltica andesitas.	2	5	10

Mapa N° 6 Zona Vadosa



4.1.7 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la capacidad que tiene el agua de circular o atravesar los estratos o capas de un acuífero por la unidad de tiempo, bajo un gradiente hidráulico determinado por las condiciones topográficas en las cuales se mueve, debido a la fuerza de gravedad.

De esta manera la velocidad a la que fluye el agua subterránea también controla la velocidad del movimiento de un contaminante una vez que alcance el manto acuífero. Si esto lograrse ocurrir sucedería 3, formas de combinaciones, de acuerdo a velocidad y densidad del agua y el contaminante. Para la obtención de este parámetro se contó con la información hidráulica de pozos perforados en la zona, ver tabla de pozos con información hidráulica Anexos A.

Como resultado se obtuvieron cuatro áreas, las cuales se describen a continuación.

Conductividad Hidráulica C1 es la menor área obtenida, representa apenas el 1.3% del total de la subcuenca se encuentra en el extremo noreste de la subcuenca; aquí se ubican las mayores conductividades presentes en el área de estudio, presenta rangos mayores de 29 m/d. Se obtuvo un VND de 18 el mayor de todas las áreas. Sobre esta área se asientan los poblados La Calamidad, Finlandia.

Conductividad Hidráulica C2 los rangos de esta área se ubican entre los 14 y 28 m/d; se extiende desde las costas del Lago Cocibolca en la desembocadura del río Tipitapa, atravesando los poblados de El Paso de Panaloya, Los Capulines, San Carlos, El Consuelo. Esta cubre la parte sur de la Laguna de Tisma, alargándose hacia el norte y este de la subcuenca. Hacia el norte atraviesa los poblados de San Nicolás hasta llegar al Triunfo y Victoria de Julio; hacia el este traspasa los poblados de El Consuelo, Las Lajas hasta el límite de la subcuenca. Esta área representa unos 195km², aproximadamente el 31.5%, se le asignó un VND de 9.

Conductividad Hidráulica C3 representa la mayor área con 54%; está seccionada por el río Tipitapa en dos partes, la primera parte se extiende desde el cerro El Coyotepe hasta extremidades noroeste de la Laguna de Tisma, atravesando la cabecera

municipal del mismo nombre y la rivera del río Tipitapa. La segunda sección se encuentra ubicada desde la parte norte del río Tipitapa hasta el poblado de la colonia Los Laureles. Los rangos de conductividades presentes en esta área oscilan entre los 4.5 y 13 m/d; el VND es de 6.

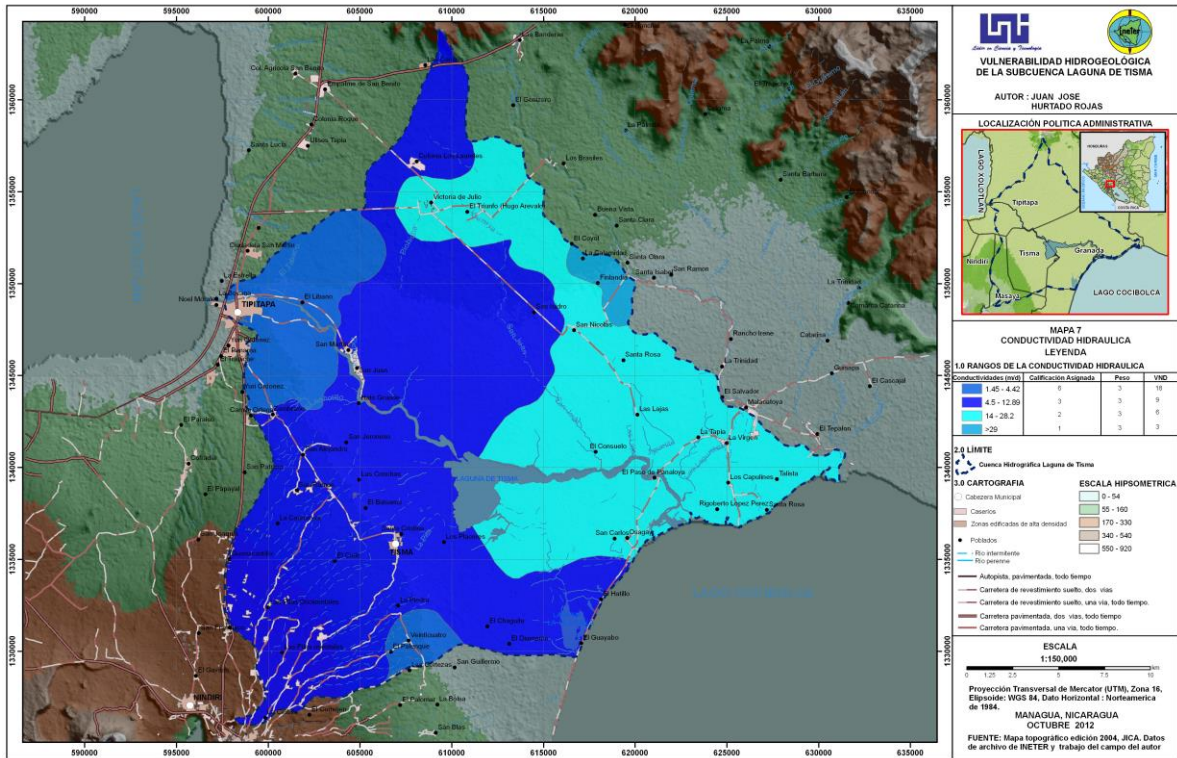
Conductividad Hidráulica C4 comprende dos secciones, la primera se desde las costas del Lago Xolotlán; hasta las cercanía del poblado de San Martín, a su vez la divide el río Tipitapa. Cubre la mayor parte del casco urbano del municipio de Tipitapa. La segunda sección se encuentra en el extremo sur de la Subcuenca y en ella se encuentran asentado los poblados: El Palenque, Veinticuatro y las Cortezas. Los rangos de conductividades son los menores de toda la subcuenca, 1.45 a 4.5 m/d, con VND de 3.

Con respecto a la Metodología, se generó el Mapa de Conductividad Hidráulica. En el cuadro N^o19 se presenta el resumen obtenido en el parámetro conductividad hidráulica.

Cuadro N^o 19 Resultados de la Conductividad Hidráulica

Resultados de la Conductividad Hidráulica				
Conductividad Hidráulica		Clasificación Cr	Peso	VND
Código	m/d			
C1	>29	6	3	18
C2	14 - 28	3	3	9
C3	4,5 - 13	2	3	6
C4	1,45 - 4,5	1	3	3

Mapa N° 7 Conductividad Hidráulica



4.2 Vulnerabilidad Hidrogeológica

Como resultado de la suma ponderada de los parámetros DRASTIC, se obtuvo el Mapa Vulnerabilidad hidrogeológica de la subcuenca Laguna de Tisma El cuadro N° 20 presenta los resultados de la Vulnerabilidad en la subcuenca.

Cuadro N° 20 Resultados de la Vulnerabilidad

Rangos de Variación del Índice de Vulnerabilidad Intrínseca		
Grado de vulnerabilidad	Valor DRASTIC	Valoración
Bajo	84 - 110	2
Moderado	110 - 130	3
Alto	130 - 150	4

En el cuadro N° 20, se muestra los tres rangos de vulnerabilidad obtenida en la subcuenca, como son: Baja vulnerabilidad con índices que van de 84-110, Moderada vulnerabilidad entre los 110-130 y Alta vulnerabilidad oscila con valores de 130-150 respectivamente. No se observaron resultados para el Grado de Vulnerabilidad muy bajo y muy alto.

4.2.1 Descripción de la Baja vulnerabilidad

Se encuentra seccionada en dos partes ubicadas en los extremos de la subcuenca; la primer sección se ubica en la parte norte, asentándose los poblados de Colonia Los Laureles, El Triunfo y Victoria de Julio; la segunda sección de ubica en la parte suroeste en está sección se ubican los poblados: Las Pilas Orientales y Occidentales, La Ceibita, San Ramón, Guanacastillo y El Cielo.

Estas dos secciones comprenden el 18.6% del área total de estudio y se caracteriza por presentar las mayores profundidades de agua, con respecto a las otras áreas. Esta area ostenta materiales de permeabilidad secundaria, (fracturamientos) en la parte norte y materiales permeables a semipermeables en la otra sección.

4.2.2 Descripción de la Moderada Vulnerabilidad

El área de moderada vulnerabilidad se encuentra asentada en las formaciones Aluvial (Qal) y Residual (Qr). Cubre la mayor extensión de la subcuenca; fraccionada en dos partes, una constituida en forma de franja al oeste y la otra se difunde desde la Laguna de Tisma; hasta llegar a las costas del Lago Cocibolca, continua hacia el norte y este de la subcuenca.

Los poblados que se ubican en esta área son los siguientes: Los Placeres, El Diamante, El Hatillo, Paso de Panaloya, La Tapia, La Virgen, Santa Rosa, San Nicolás, Finlandia, La Calamidad, San Isidro, Zambrano, Camilo Ortega, San Ramón y la cabecera municipal Tisma.

Se caracteriza de moderada vulnerabilidad por presentar pendientes planas a ligeramente ondulada e inclinada, los niveles de profundidad de agua oscilan entre los 7 y 17m; el material geológico constituyente se describe como permeable a semi permeable.

4.2.3 Descripción de Alta Vulnerabilidad

El área de Alta Vulnerabilidad se encuentra dividida por el río Tipitapa y se extiende desde el municipio del mismo nombre hacia el sur atravesando los poblados de El Líbano, San Martín, San Juan, Las Conchas, Hato Grande, San Jerónimo, El Bálsamo.

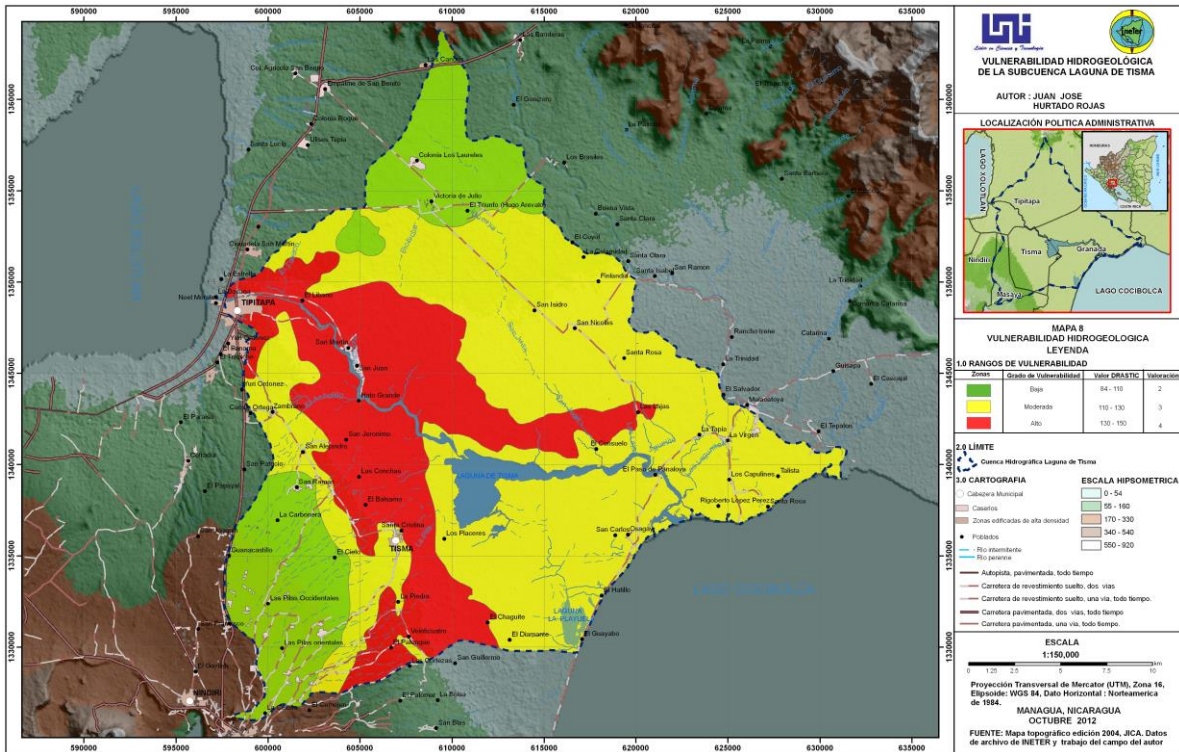
Esta área tiene pendientes de 0 a 2%, permitiendo así una alta infiltración en lo general, presenta las menores profundidades de agua. Estas someras profundidades nos indican que al depositarse un contaminante sobre el suelo o subsuelo este podría llegar al agua subterránea en un corto plazo.

4.3 Uso del mapa de vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad Hidrogeológica es un instrumento auxiliar para orientar adecuadamente las decisiones relacionadas con la protección de las aguas subterráneas de la subcuenca. La vulnerabilidad no es el único criterio para la toma de decisión, pero es un parámetro importante en la administración adecuada de este recurso. Este conocimiento asociado con el peligro potencial de las fuentes de contaminación, puede permitir establecer estrategias de protección más adecuada acorde a la realidad. Sin embargo es importante señalar que en ausencia de una evaluación de la carga contaminante y el valor relativo del agua, la vulnerabilidad hidrogeológica es un instrumento muy a considerar aspectos:

- a) Priorizar áreas donde la protección del agua subterránea es de vital importancia.
- b) Identificar áreas donde los plaguicidas representen una mayor amenaza para el agua subterránea.
- c) Priorizar áreas con fines de monitoreos.
- d) Como instrumento de estudio para determinar si una obra está en un área vulnerable a los contaminantes.

Mapa N° 8 Vulnerabilidad Hidrogeológica



**CAPITULO 5
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones.

1. La subcuenca Laguna de Tisma según el aspecto político administrativo se encuentra asentada entre los departamentos de Managua, Masaya y Granada, lo cual le confiere un carácter interdepartamental.
2. La actividad principal en la zona es la agricultura, basada principalmente en la siembra de arroz y en pequeñas extensiones granos básicos y hortalizas.
3. La información en la base de datos de la Dirección de Hidrogeología del INETER ha sido de gran importancia; para la elaboración del presente estudio, debido a que en estos registros se describen la mayoría características hidrogeológicas necesarias para desarrollar este tipo de estudio.
4. Con la información recopilada, analizada y posteriormente procesada se elaboraron los mapas temáticos de cada uno de los parámetros hidrogeológicos que utiliza la metodología DRASTIC, los cuales son:

Profundidad de Agua

Recarga neta

Medio Acuífero

Tipo de suelo

Impacto en la zona vadosa

Pendiente

Conductividad hidráulica.

5. La profundidad del agua subterránea en el área de estudio es variable en relación al espacio; se definieron cuatro rangos de profundidades, los cuales oscilan de 1-7m, 7-16, 17-28 y mayores a este último, respectivamente.
6. Se obtuvieron cuatro zonas de recarga: Zona 1 con valores de 120 mm/añual, Zona 2 con 107.4 mm/añual, Zona con 3 97.17mm/añual y Zona 4 con 102.7 mm/añual.

7. Las formaciones principales que han formado los estratos del medio acuífero son las Sierras, Residual y Coyol, en donde se encuentran los siguientes materiales: rocas volcánicas, lavas basálticas -andesíticas, arena, escoria, pómez, arcilla y limo.

8. En el área de estudio se encontraron tres grandes clasificaciones de suelos como lo son: suelos Franco Arcillosos, suelos superficiales a profundos, bien drenado; suelos Arcillosos con mayor predominio en el área desarrollados en parte de ceniza volcánica y en parte de toba; suelos Arcillosos Limosos, suelos de permeabilidad moderada, con capacidad de humedad moderada.

9. La topografía se considera casi plana en toda el área, a excepciones en algunas áreas que se puede caracterizar un relieve de ondulado ha inclinado.

10. La zona vadosa se cuantificó en base a las formaciones existentes. Para obtener estos resultados se seleccionaron pozos con litologías que describen los materiales presentes en la zona vadosa. La zona vadosa se encuentra formada por materiales como lo son la arena, grava, escoria, arcilla y limo con mayor presencia.

11. Se encontraron cuatro clasificaciones de conductividades, entre los rangos de baja, media a alta conductividad; encontrándose como baja conductividad rangos de 1.45-4.5 m/d, rangos de media valores como: 4.5-13 m/d, 14-28 m/d y valores considerados como máxima conductividad mayores a los 28 m/d.

12. La suma paramétrica de los mapas temáticos generados determino finalmente tres niveles de vulnerabilidad: Baja, Moderada y Alta.

Baja Vulnerabilidad caracterizada por presentar las mayores profundidades de agua y por presentar materiales de permeables a semipermeables. Se encuentra seccionada en dos partes ubicadas en los extremos de la subcuenca, la primer sección se ubica en la parte norte, asentándose los poblados de Colonia Los Laureles, El Triunfo y Victoria de Julio, la segunda sección se ubica en la parte suroeste en esta sección se ubican los poblados como lo son: Las Pilas Orientales y Occidentales, La Ceibita, San Ramón, Guanacastillo y El Cielo.

Moderada Vulnerabilidad, presenta profundidades de aguas medianas, no tan profundas y tampoco someras; cubre la mayor extensión del área, es el área de mayor cuidado para evitar que esta se convierta en alta vulnerabilidad.

Alta Vulnerabilidad, presenta las mayores aguas someras, caracterizada por una pendiente casi plana, se ubica desde la cabecera municipal de Tipitapa, recorre el río del mismo nombre hasta llegar a los poblados de El Chagüite y el Palenque en el extremo sur de la subcuenca.

13. El mapa espacial de vulnerabilidad de la subcuenca Laguna de Tisma, es un instrumento auxiliar para orientar adecuadamente las decisiones relacionadas a la protección de las aguas subterráneas de la subcuenca.

14. La metodología DRASTIC es una herramienta cada vez más usada para realizar mapas de vulnerabilidad de aguas subterráneas y es confiable gracias a las variables relacionadas a considerar. Es así como los resultados obtenidos con este estudio se convierten en una base para la gestión ambiental, así como una importante herramienta para el ordenamiento territorial.

5.2 Recomendaciones.

1. Como aporte principal de este estudio se recomienda el uso del mapa de zonas de vulnerabilidad hidrogeológica de la subcuenca Tisma, para cualquier construcción de empresas o industrias; sobre todo en aquellas áreas, que por sus características propias del medio, son de mayor vulnerabilidad a la contaminación antropogénica.
2. Efectuar un monitoreo constante de los niveles de agua en los pozos excavados y perforados, así mismo monitorear los caudales de bombeo, con el objetivo de cuantificar los volúmenes de extracciones.
3. Elaborar programas de seguimiento y control que incluya las diferentes disciplinas de la geociencias para monitorear la calidad del agua subterránea y superficial.
4. Las autoridades responsables del manejo del recurso subterráneo, deben llevar a cabo un estricto control de todas las posibles fuentes contaminantes, para evitar episodios de contaminación que puedan afectar la calidad del agua en el futuro.
5. Que las alcaldías municipales definan la planificación territorial del recurso hídrico, debido a la presión demográfica y a la urbanización desordenada.
6. Para optimizar el uso de los recursos hídricos se recomienda una planificación con enfoque de manejo integrado del área de estudio, sobre todo en la agricultura.
7. Implementar un programa de reforestación (en general), en toda el área de la subcuenca, en especial en las zonas que han sido afectadas por diferentes causas naturales y zonas altas para evitar la disminución de las recargas hídricas.
8. Mejorar las zonas de recarga de la subcuenca a través de un ordenamiento y reforestación de las áreas afectadas, en la orilla y margen del río, así como en las zonas altas del área de estudio; para prevenir la erosión y sedimentación.

9. Para la conservación y protección de la subcuenca deben implementarse medidas de recuperación del recurso forestal y suelo, con técnicas apropiadas para la siembra de cultivos y sistemas de riego.

10. Establecer coordinación con autoridades gubernamentales y locales para realizar educación ambiental en escuelas y colegios, con el objetivo de crear conciencia ambiental sobre el manejo del recurso hídrico en la subcuenca.

11. Realizar la clausura de pozos excavados que no tienen utilidad hídrica, mediante previo tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. **Auge, M. 2004.** Vulnerabilidad de Acuíferos conceptos y métodos.
2. **Agüero, J. 2000.** Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica.
3. **Altamirano, Espinoza. M. 2005.** Distribución de la Contaminación Natural por Arsénico en las Aguas Subterráneas de la subcuenca del valle de Sebaco Nicaragua.
4. **Altamirano, C. 2007.** Estudio de la microcuenca y diseño de Plan de Acción Participativo para potenciar la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad de Colonia Roque, municipio de Tipitapa. Departamento de Managua.
5. **Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G.1987.** DRASTIC: A Standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeology setting. S e, EPA.
6. **Arias, M. 2011.** Estudio Hidrogeológico regional de la Cuenca del Río Frío. Costa Rica.
7. **Buitrago, N. 2005.** Evaluación del potencial hídrico del entorno de la ciudad de Boaco.
8. **Civita, MV; De Maio, M. 1999.** Mapping Groundwater vulnerability in areas impacted by flash flood disasters.
9. **Corrales, D. 2005.** Estudio hidrogeológico del funcionamiento del Acuífero de Estelí.
10. **Custodio, E; Llamas, M. 1996.** Hidrología Subterránea. Tomo I y II.
11. **Choza, A. 2003.** Prevención y control de la contaminación de las aguas subterráneas en Centro América
12. **Dávila, A; López, O; Castillo, M. 2012.** Estudio de vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero de Nandaime, usando el método DRASTIC.
13. **Edgar, E. Jonson, Ing. Hidráulica de Pozos.** Saint Paul, Minnesota 55102.
14. **EPA (Environmental Protection Agency), 1992.** National water quality inventory. Washington, DC. USA.
15. **Espinoza, C; Ramírez, J. 2004.** Evaluación de vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación, aplicación a la zona norte de Santiago, Chile.
16. **FAO – Aquastat 2003.** Informe del estado de los recursos hídricos en Nicaragua.

17. **Faustino, J. 1987.** Variables determinantes en la identificación de áreas críticas en tierras de laderas. Usos sostenidos en tierras de laderas. Quito, Ecuador.
18. **Foster, S; Hirata, R. 1988.** Determinación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. CEPIS / PAHO – WHO, Technical Report.
19. **Franco Plata, R. 2000.** La cartografía de vulnerabilidad como una herramienta para la delimitación de zonas de protección del recurso agua. México.
20. **Gaviño, M; Sarandón, R. 2001.** Estudio regional de Riesgos Hidrogeológicos del noroeste Argentino.
21. **Gijón, G; Pacheco, J; Euán, I; Pérez, R. 2009.** Análisis espacial de la vulnerabilidad y riesgo del agua subterránea a la contaminación en el estado de Yucatán, México.
22. **González, R. 2004.** Estudio sobre la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público, ríos viejo y grande de Matagalpa en el valle de Sebaco, Matagalpa.
23. **Guatemala Herrera, J.2007.** Caracterización de la estela de contaminación del basurero La Joya en Granada, Nicaragua.
24. **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).** Dirección de Recursos Hídricos Departamento de hidrogeología, consultas a base de datos y SIG de hidrogeología.
25. **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Managua, Nicaragua, 2008.** Estudio de Potenciales y Calidad de los Acuíferos del Norte de León y Chinandega.
26. **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (INETER – COSUDE). 2004.** Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidroquímica de la Región Central de Nicaragua. Dirección General de Recursos Hídricos, Dirección de Hidrogeología.
27. **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Ministerio Agropecuario y Forestal. (INETER-MAGFOR). 2001.** Estudios hidrológicos e hidrogeológicos en la Región del Pacífico de Nicaragua. Región Chinandega –León – Nagarote.
28. **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Organismo Internacional de Energía Atómica. (INETER-OIEA). 2010.** Caracterización Hidrogeológica e Isotópica del Acuífero Tipitapa Malacatoya, Zona Estrecho InterLagos.

29. **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Catastro e Inventario de Recursos Naturales, 1971.** Geología y Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua.
30. **Leader Team, 2003.** La Reserva de Agua Subterránea en el mundo continúa cayendo. Naturaleza Holanda.
31. **López Blanco, E. 2005.** Estudio de la contaminación por hidrocarburos volátiles (BTEX) en un sitio de derrame de gasolina, colonia Unidad de Propósito, Managua, Nicaragua.
32. **Luna, A. 1991.** Estudio hidrogeológico del área de Santa Carlota (Chinandega) para el desarrollo y explotación de las aguas subterráneas con fines de riego.
33. **Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Real Universidad Politécnica de Estocolmo (KTH). Octubre 2000.** Proyecto Uso Sostenible de los Recursos Hídricos (SUWAR Nicaragua).
34. **Obando Soriano F. 2005.** Situación del recurso hídrico de la subcuenca del río Aguas Caliente, Nicaragua.
35. **Ongley, E.D. 1997.** Lucha contra la contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos.
36. **Otero Carvajal, S. 2011.** Proceso de elaboración de Guías para Planes de Manejo de Cuencas en Nicaragua.
37. **Peña Solano, E. 2005.** Disponibilidad y aprovechamiento sostenible del acuífero de Nandaime, Nicaragua
38. **Puente Palazuelo A. 2008.** Evaluación de la Vulnerabilidad Acuífera en la Ciénega de Michoacán México.
39. Plan Ambiental Municipal de Tisma 2010 – 2024.
40. **Programa de la ONU para el medio ambiente, (PNUMA). 2004.** Diferencia de consumo de agua entre el primer y tercer mundo.
41. **Ramos A. 2012.** Estudio de vulnerabilidad Hidrogeológica de la cuenca el Sauce, usando el método DRASTIC.
42. **Revista Ambientum, 2002.** Uso de las Aguas Subterráneas.
43. **Salvatierra, T. 2003.** Plan de gestión y desarrollo integral en la subcuenca Las Playitas, Moyúa y Tecomapa, de la cuenca del Río Grande de Matagalpa, Ciudad Darío.
44. **Silvac, M. 2002.** Capital hídrico y usos del agua en Nicaragua.

45. **Shosinky G. Losilla, M. 1999.** Modelo analítico para determinar la infiltración con Base en la lluvia mensual. Revista geológica de América Central.
46. **Vargas Zúñiga, J. 2004.** Evaluación de residuos de plaguicidas en agua y determinación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, en la subcuenca del Río Poás, Costa Rica.
47. **Vergara Flórez, V. 2009.** Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Morroa a contaminación por plaguicidas aplicando la metodología DRASTIC. Colombia.
48. **Watler Reyes, J.2008.** Análisis de vulnerabilidad a la contaminación del recurso hídrico en la subcuenca del río Siquirres, Costa Rica.

ANEXOS

**ANEXOS A:
CUADROS**

Cuadro No 21 POZOS PERFORADOS Y POZOS EXCAVADOS

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
1	PP	Hda Los Tololos	608989	1329790	Armando Lacayo (Pan)	62	152	6
2	PE	El Chagüite el Diamante	613207	1330359	Roberto Sánchez	45	3	2
3	PE	El chagüite la plazuela	612099	1330711	Roberto Sánchez	45	5	2
4	PE	Fca Virginia	611538	1331376	Denis Corrales	49	6	3
5	PE	El chagüite la plazuela	612032	1331432	Roberto Sánchez	48	4	2
6	PE	Hda san José	609167	1332004	Alejandro Arguello	50	6	3
7	PE	El mojón	611731	1333004	Los Alemanes (Samul)	46	6	3
8	PP	Hda San Pancho	608688	1333029	Ángela Hucedo	53	0	3
9	PE	Rancho San pedro	618370	1333149	Bayardo Miranda	46	5	2
10	PP	Fca san roque	602422	1334088	Maria de la Ceuz Duarte Suárez	131	-	68
11	PE	Fca el cielo	603485	1334766	Marvin Mairena	114	46	46
12	PE	Las Perlas	605642	1334800	Francisco Alemán Díaz	76	21	19
13	PE	Fca la pitahaya santa Maria	600891	1334913	Filadelfo Perez	151	83	82
14	PE	Fca san Antonio, tisma	606149	1335220	Mario González	75	21	13
15	PE	Camino Real	619750	1335405	Virginia Meneses	46	3	2
16	PE	El Placer Fca casa de zinc	610011	1335540	Álvaro Garay	47	3	1
17	PE	Fca la reforma santa Maria	601319	1335626	José, Alfaro	143	72	68
18	PE	El Panamá, tisma	606208	1335875	Clodomiro Garay	64	13	11
19	PE	Barrio Osagay	619657	1335902	Noel Zúñiga Rivas	46	3	2
20	PE	Fca Los Placeres	609571	1335930	Luís Miranda	45	4	2
21	PP	El Acetuno	604330	1336032	Cooperativa Invasa, Diego Vargas	95	-	29
22	PE	Fca Rancho La Pasadita	609267	1336095	Cesar Castillo	45	4	3
23	PE	Tisma, zona norte	605330	1336121	Glenda González	75	16	13
24	PE	Hda Osagay	618970	1336181	Agusto Vargas	48	7	3
25	PE	Camino Real	620137	1336261	Berhta Rosa Ruiz	45	3	2

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
26	PE	Tisma, zona norte	605638	1336268	Carmenza Días	71	13	11
27	PE	Monte redondo	616646	1336494	Carlos Arturo	49	6	1
28	PE	Fca Santa Maria	609624	1336567	Elvis Garay	45	6	2
29	PE	Hda Asogay	618831	1336607	Agusto Vargas	44	6	3
30	PP	Anilib frente a el El bosque	604205	1336623	Anilib los libios	85	-	17
31	PE	Camino Real	620187	1336666	Félix Mejía Alvarado	44	4	2
32	PP	La Nicalit	601904	1336667	Leonor Gómez	128	-	57
33	PE	El Riíto	604603	1336752	Francisco Lacayo	79	19	17
34	PP	Anilib frente a El bosque	603318	1336817	Anilib los libios	101	-	33
35	PP	Felesa Dolores	605461	1336871	Felesa	67	85	6
36	PE	Felesa, Dolores	605035	1336897	Felesa	75	18	15
37	PE	Fca del italiano	605818	1336912	Marcos Albertino	63	11	7
38	PE	El Riíto	604484	1337107	Luís Jarquin	85	21	19
39	PE	Hda la Ceibita	617262	1337271	Eduardo Urbina	41	6	1
40	PP	Anilib frente a El bosque	603916	1337293	Anilib los libios	84	-	18
41	PE	Fca el Manzano	609310	1337536	Daysi Mejia Laguna	47	5	2
42	PP	Anilib El bálsamo	604712	1337648	Anilib los libios	70	-	6
43	PE	Fca las pelusas	606698	1337716	Rommel Varilla Martínez	55	5	3
44	PP	Santa Cruz	603983	1337985	catastro	81	-	14
45	PP	Anilib El bálsamo	606626	1338026	Anilib los libios	43	-	1
46	PE	El papalote Santa cruz	603469	1338239	Esperanza Torres	82	24	22
47	PP	Anilib, El bálsamo	604211	1338301	Anilib los libios	73	-	8
48	PP	Anilib El bálsamo	606090	1338392	Anilib los libios	52	-	1
49	PE	La Cruz	618022	1338499	Dionisio Cuadra	42	5	2
50	PE	Fca la Camelia	626583	1338595	Ignacio Rodríguez	51	6	5

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
51	PP	Nueva Vida	625859	1338614	Pozo comunal	50	27	4
52	PE	Caserío San Ramón	601237	1338634	Lesther Rizo	113	45	43
53	PE	El bálsamo	606686	1338718	Carlos Delgado	49	4	1
54	PE	Fca el Amparo	618773	1338718	Guillermo Aguilar Loasiga	46	3	1
55	PE	La concha	604273	1338869	Silvio Perez Martínez	70	12	10
56	PE	San Ramón	602297	1338938	Juana Mairena Martínez	104	36	34
57	PE	Caserío San Ramón	602945	1339049	Guillermo Gitan	92	18	25
58	PE	San Ramón	602480	1339102	Rosa Moncada Mendoza	95	36	35
59	PE	Caserío San Ramón	601634	1339191	Ángela Mendoza	115	43	41
60	PE	El Paso de Panaloya	620250	1339210	Graciela Morales	45	2	1
61	PE	Hda las conchas	604988	1339262	Roger Miranda	56	8	5
62	PE	Las conchas	605327	1339275	Pablo José Sotelo Galiano	55	5	4
63	PE	Bella vista	621250	1339382	Elsa Reyes	42	3	2
64	PP	El Bálsamo	606227	1339403	Carlos Delgado Cabrera	50	0	1
65	PE	Las conchas	605851	1339581	Silvio Perez Martínez	51	4	2
66	PE	Las conchas	604922	1339673	Manuel Latino	55	5	4
67	PE	Entrada a san Pedro	625078	1339720	Máximo Mallorquín	44	7	5
68	PE	Sta Cruz	603959	1339763	Marcial Tenorio	60	9	7
69	PE	Caserío el Paso de panaloya	621511	1339768	Vilma Juaro	47	4	1
70	PE	Las conchas	604463	1339796	Gregorio Fariñas	56	5	4
71	PE	Fca santa Maria	602411	1339895	Manuel Santamaría	91	31	24
72	PP	El plantel,Hidroposos	602397	1339974	Carlos Estrada	92	85	22
73	PE	Fca el ojo de agua	604151	1340044	Leonor Mercado	57	10	5
74	PE	Fca la tierra prometida	602950	1340111	Oscar Téllez	74	14	12
75	PE	Las conchas	604627	1340183	Domingo Mejía	53	5	4

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
75	PE	Las conchas	604627	1340183	Domingo Mejía	53	5	4
76	PE	El Paso de Panaloya	621780	1340263	Hugo Morales	46	3	1
77	PE	Contiguo a la fca tierra prometida	603508	1340380	Cesar Moncada	72	8	6
78	PE	La piragua Fca. los ranchos	602533	1340646	Eduardo Castillo	73	16	12
79	PE	Hda san Alejandro	601804	1340719	Nicolás Bolaños	83	24	19
80	PE	El Consuelo	617888	1340851	Cristo Ferbenyate	44	7	1
81	PE	Hda el cascajal	608728	1340856	Los Guatemaltecos	47	4	2
82	PE	Hda el cascajal	607739	1340918	Los Guatemaltecos	49	6	4
83	PE	Corrales de potrero grande	617414	1340974	Manolo Porras	40	7	2
84	PE	Hda san Jerónimo	602017	1341030	Roberto Abaunza	79	17	15
85	PP	Hda La Fátima	624037	1341060	Jaquelin Paladino	46	0	11
86	PE	Fca la quesera	603464	1341140	Roberto Abaunza	64	8	7
87	PE	Fca el Rejogo	602227	1341148	Freddy Brain	76	14	12
88	PE	Fca la calavera	604387	1341313	Yimi Bolaños	53	4	2
89	PE	Hda el cascajal	606369	1341447	Los Guatemaltecos	50	6	3
90	PE	Fca Bonanza	602339	1341598	Noel Ortiz	55	13	12
91	PE	Hda el cascajal	608011	1341767	Los Guatemaltecos	48	5	2
92	PE	Hda Agropecuaria santa Lucia	601271	1341819	Marta Lucia Castillo	78	19	15
93	PE	Hda el cascajal	606900	1341886	Los Guatemaltecos	50	7	2
94	PP	Hda Bonanza	602527	1342074	Noel Ortiz	64	-	7
95	PP	Fca San Luis	621180	1342084	Narciso	47	-	9

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
96	PE	Hda Hato grande	604778	1342281	Ricardo Coronel Kauz	53	3	2
97	PE	Zambrano cerca de la única iglesia evangélica	600634	1342674	Francisco Garay	77	17	15
98	PE	Zambrano	600312	1342717	Joaquín Murillo	82	18	18
99	PE	Camino a Zambrano san Luis	599523	1342747	Celestino Martínez Ramírez	98	28	26
100	PP	San Luis , la vuelta	599304	1342821	Cesar Yali	104	0	37
101	PE	Camino al Brujo	600746	1342883	Maritza Carballo	75	12	10
102	PP	Zambrano costado norte a la iglesia	600415	1342894	Enacal	83	-	17
103	PE	Fca el carmen	601085	1342935	Carmen Córdoba	70	9	8
104	PE	Fca el Brujo	601254	1343100	Cornelio Reyna	64	9	6
105	PE	Hda Rancho Verde	599937	1343133	Felipe Bravo	87	33	30
106	PP	Sta Susana	620148	1343251	Cristo Ferbenyate	52	-	7
107	PP	Hda Hato Grande	603088	1343326	José, Coronel Kauz	52	-	1
108	PE	camino al Brujo sector de Zambrano	601718	1343483	Irma Torres	58	6	4
109	PE	Zambrano	600093	1343503	Domitila Espinosa	81	14	11
110	PE	Hda hato grande	603606	1343590	Manuel Coronel Kauz	39	3	2
111	PE	Fca El Socorro	599976	1343840	Xiomara Bermúdez	79	13	12
112	PE	Fca san Adrian	599882	1343931	Julio Mejía	71	11	9
113	PP	Mientras tanto	620303	1343982	catastro	50	-	11
114	PP	San José	601226	1343996	Marvin Murillo	59	82	5
115	PP	Hda san Juan	605140	1344265	Anibal Mejía	49	-	5
116	PE	Hda san José	601442	1344300	Marvin Murillo	60	9	4
117	PE	Fca san Luís	599724	1344339	Hnos. Tenorio Castillo	68	13	13
118	PP	Hda San Nicolás	616933	1344440	Manolo Porro	53	-	10
119	PE	Fca la tigre	601489	1344570	Francisco Murillo	66	9	7

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
120	PE	Fca la tigrá	600738	1344571	Francisco Murillo	62	7	4
121	PE	Fca Jamaica	603230	1344623	Gustavo Arguello	48	5	3
122	PP	Hda Palo Verde	602431	1344809	Francisco Flores	56	0	13
123	PE	Barrio los Gómez	601550	1344817	Francisco Gómez	61	12	11
124	PP	Hda San Nicolás	616950	1344891	Manolo Porro	56	-	8
125	PP	Hda Jamaica	604316	1345403	Andrés Arguello Lacayo	49	0	2
126	PE	Fca San Leonardo	613177	1345496	Denis Quezada Picado	55	15	10
127	PP	Fca el Río	604475	1345863	Martín Benard	52	-	4
128	PP	Fca el Río	604505	1345923	Martín Benard	52	-	4
129	PE	San Andrés	601241	1345994	Francisco Flores	64	12	8
130	PP	La Carbonera barrio German Pomarez	604785	1346332	Comunal	46	-	2
131	PE	San Martín	603573	1346415	Francisco Flores	42	5	4
132	PP	Hda San Nicolás	617814	1346456	Manolo Porro	57	-	24
133	PP	Sistema penitenciario la modelo	599204	1346643	Ministerio de Gobernación	81	-	17
134	PE	La Quinta	603560	1346683	Roger Miranda	47	7	6
135	PP	Camino a la Playwood, Hda Pasquier	603980	1346700	Jurguen Wassman	46	-	1
136	PP	Hda Pasquier	603731	1346978	Jurguen Wassman	50	-	5
137	PP	Hda la Chiripa	617650	1347027	Hnos. León Delgadillo	51	-	15
138	PP	Fca San Leonardo	612939	1347366	Denis Quezada Picado	60	-	13
139	PE	El quemado	603350	1347567	Mariano Vega	49	8	6
140	PP	Pasquier	603799	1347617	Enacal	56	-	4
141	PP	El Timal	607342	1347624	Timal	50	-	1
142	PP	Hda la Hinca	618199	1347640	Amin Hanon	64	-	16
143	PP	Hda la Hinca	617694	1347656	Manolo Porro o Amin Hanon	65	-	15

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
144	PE	Pasquier	603671	1347719	Bernardino Reyes	45	6	3
145	PP	El timal cuadrante 82	610226	1347722	Margarita Pozo comunal	54	-	5
146	PE	Hda el Líbano, los mangos	602989	1347793	Olga Zarruk	49	8	5
147	PE	San Bernabé	608556	1347880	Eduwina Torres Largaespada	54	15	4
148	PE	Sta Marta el (Hatillo)	601239	1347926	Xiomara Bermúdez	57	9	8
149	PP	Urbanización Jardines de Tipitapa	599715	1347934	Sociedad	67	-	14
150	PE	El Hatillo	600205	1347972	José Domingo Bolaños	65	16	13
151	PE	Fca el Turismo	603476	1348021	Edgar Solórzano	50	8	3
152	PE	Hda El Líbano	603090	1348045	Olga Zarruk	49	13	6
153	PE	Fca la preciosa	602602	1348079	Lazoro Urbina	47	5	4
154	PP	Cuadrante 87 (Timal)	606498	1348107	Timal	48	-	2
155	PE	El Inmenso	599465	1348185	Miguel Sotelo Sequeira	59	18	15
156	PP	El Timal	603710	1348218	Pedro Solórzano	47	-	3
157	PE	Hda san Isidro	614561	1348223	Alfonso González	60	24	15
158	PE	El papayal	614553	1348364	Pozo comunal	59	18	15
159	PP	El Timal	608036	1348372	Héctor Perez	54	-	4
160	PP	El timal cuadrante 76	609476	1348419	Juan Fajardo Montiel	57	-	7
161	PP	El timal cuadrante 81	610921	1348469	José Cruz Oliva	57	-	10
162	PE	El Timal cuadrante 88	604989	1348602	El estado	48	9	3
163	PP	Cuadrante 92 (el timal)	605738	1348825	Timal	53	-	3
164	PE	San Adrian	599921	1348847	Ciro Marengo	57	16	14
165	PP	El Timal (el Líbano)	602976	1348923	Eli Zogaih	56	-	4
166	PE	Fca Yucasa	601919	1348958	Víctor García	50	16	7
167	PP	El Timal	604408	1348966	Timal	56	-	3
168	PP	El Timal	608733	1349116	Timal	60	-	9
169	PP	El timal cuadrante 72	610173	1349167	Juan Carlos Rivera	61	-	12
170	PP	El timal cuadrante 73	611625	1349226	Pedro Ordeñana	63	-	16

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
171	PP	Hda la División	599887	1349533	francisco Guadamuz	60	-	13
172	PP	Loma de Esquipula, entrada a la playwood	598342	1349546	Danilo Perez	62	-	11
173	PP	El Timal	606455	1349561	Timal	56	-	7
174	PP	Cuadrante 97 (Timal)	605104	1349708	Reynerio	63	-	8
175	PP	Cuadrante 96 , El Timal	606541	1349755	Timal	59	-	8
176	PP	Cuadrante 95 (Timal)	607981	1349813	Eduardo Vanegas	61	-	12
177	PP	Pollera estrella tipitapa	598232	1349838	José, Dolores Castillo	64	-	11
178	PP	El timal cuadrante 67	609423	1349855	Denis Gamez	63	-	14
179	PP	El timal cuadrante 68	610868	1349908	Pozo comunal	65	-	18
180	PE	Fca la f,	603229	1350008	Jorge Ramírez Aviles	62	13	11
181	PP	Cuadrante 106 (Timal)	602924	1350354	Timal	63	-	15
182	PP	El Timal , costado suroeste del barrio cristo rey	601492	1350388	Timal	65	-	13
183	PE	Fca el Desperdicio	603794	1350398	Domingo Angulo	59	20	16
184	PP	Cuadrante 105 (Timal)	604358	1350406	Eli Rugama	67	-	12
185	PP	Timal (cuadrante 103)	607219	1350481	Timal	65	-	13
186	PP	El timal cuadrante 62	610103	1350624	Zamora Centeno	68	-	18
187	PE	Las pampas	600420	1351011	Horacio Tablada Solís	67	24	18
188	PP	Barrio cristo Rey, el timal	602126	1351048	Comunal	73	-	19
189	PP	Cuadrante 111 (Timal)	605051	1351153	Timal	64	-	16
190	PP	Bejucal Ciudadela	600222	1351159	Mario Castillo	70	-	20

Nº	TIPO	LOCALIZACION	E	N	PROPIETARIO	Elevación Msnm	PROF (m)	NEA (m)
191	PP	Cuadrante 110 (El Timal)	606491	1351197	Calero	65	-	15
192	PP	Cuadrante 109 (Timal)	607941	1351251	Timal	69	-	19
193	PP	Cuadrante 117 (Timal)	607047	1351673	Timal	70	-	19
194	PP	Cuadrante 118 (Timal)	605748	1351887	Ricardo Coronel Kauz	76	-	20
195	PP	Cuadrante 116 (Timal)	608626	1351999	Timal	74	-	26
196	PE	El Talolate	608033	1352529	El estado	71	24	20
197	PP	Cuadrante 126 (Timal)	603521	1352532	Félix Espinosa	79	-	29
198	PP	Cuadrante 125 (Timal)	605548	1352575	Timal	80	-	27

NOTA:

N0: Número de Pozo

NEA (m): Nivel Estático del Agua (m)

PE: Pozo Excavado

PP: Pozo Perforado

E, N: Coordenadas, Este y Norte

Elevación msnm: Elevación sobre el nivel del mar

Prof. (m): Profundidad total del pozo (m)

Cuadro N° 22 Pozos con datos hidráulicos.

Nº Pozo	LOCALIZACION	PROF(m)	NEA(m)	Tb(hr)	Q(m3/hr)	s(m)	q(m3/hr.m)	T(m2/d)	K(m/d)
1	Hda santa fe	91.44	18.74	5	34	-	-	105.56	1.45
2	Tipitapa -Enacal	61.00	5.10	24	15	5.24	2.94	100	1.79
3	PROGRAMA ALIMENTARIO NICARAGUENSE	152.4	7.92	8	250	35.4	7.05	264.44	1.83
4	HACIENDA EL PORVENIR, SECTOR E LOS MALACOS	152.4	2.44	8	250	31.2	7.99	299.74	2.00
5	SECTOR LOS MALACOS/PAN	152.4	6.10	5	250	28.7	8.72	326.83	2.23
6	EL PAPALOTE/ TIMAL	121.92	21.14	24	240	20.2	11.89	445.77	4.42
7	Tipitapa Enacal	64.01	12.50	14	43	9.15	4.72	233.48	4.53
8	LA LOMA/ TIMAL	112.78	20.10	24	250	22.2	11.24	421.54	4.55
9	HACIENDA GUISAPA	60.96	8.23	-	144	22	6.58	246.70	4.68
10	Hda la nieve o (Expasa)	62.48	3.05	24	227	26.8	-	285.64	4.81
11	EL PASO DE MALACATOYA/ INAA	32.61	8.40	24	20	5.73	3.53	132.26	5.46
12	HACIENDA MIENTRAS TANTO	60.96	5.79	8	136	15.2	8.94	335.31	6.08
13	EL HATILLO ,LAGO DE NICARAGUA/INAA	152.4	1.52	48	549	22.3	24.63	923.46	6.12
14	LOTE Nº 76, EL TIGRE, TIMAL	91.44	9.14	24	114	6.35	17.87	670.28	8.14
15	LAS PLAYUELAS	60.96	0.65	0	136	10.1	13.55	507.96	8.42
16	EL JICARAL LOTE 80/ TIMAL	91.44	19.10	24	159	9.68	16.43	615.96	8.52
17	LOTE Nº 73 SAN FRANCISCO/ TIMAL	91.44	18.29	6	114	6.22	18.25	684.28	9.35
18	EL LANZAS/ TIMAL	91.44	16.52	22	250	13.1	19.07	715.10	9.54
19	LA TEE/ TIMAL	111.25	13.86	24	250	9.66	25.88	970.50	9.96
20	EL MADROÑAL/ TIMAL	91.44	13.91	72	250	12	20.78	779.30	10.05

Nº Pozo	LOCALIZACION	PROF(m)	NEA(m)	Tb(hr)	Q(m3/hr)	s(m)	q(m3/hr.m)	T(m2/d)	K(m/d)
21	LA CRUZ / TIMAL	100.58	17.64	24	239	9.9	24.14	905.30	10.91
22	SAN ISIDRO A / TIMAL	121.92	18.52	24	250	7.81	32.01	1200.38	11.61
23	EL LLANO/ TIMAL	91.44	19.39	24	183	8.07	22.68	850.37	11.80
24	HACIENDA EL CARMEN	73.15	7.01	1.5	230	11	20.94	785.28	11.87
25	LA ESCUADRA / TIMAL	91.44	16.15	24	250	10.4	23.97	898.85	11.94
26	LA HINCA, MALACATOYA	68.58	8.23	-	290	14	20.75	778.17	12.89
27	HACIENDA LA TRINIDAD-MALACATOYA	85.34	10.01	6	220	7.37	29.88	1120.52	14.87
28	SANTA MARTA FINLANDIA	64.01	15.24	-	262	12.5	20.89	783.49	16.07
29	HACIENDA EL COYOL	79.25	16.76	8	227	7.72	29.40	1102.66	17.65
30	HACIENDA EL COYOL	85.34	18.28	9	227	7.16	31.70	1188.90	17.73
31	AGRICOLA SAN ANA	73.15	14.93	-	309	10.8	28.72	1076.91	18.50
32	HACIENDA SAN NICOLAS	76.2	3.71	-	93	2.47	37.65	1411.94	19.48
33	SAN NICOLAS	91.44	9.65	-	145	-	-	1600	19.56
34	HACIENDA EL SALVADOR	60.96	10.56	8	252	9.14	27.58	1034.33	20.52
35	SECTOR INDUSTRIAL TIPITAPA	60.96	32.31	4	17	0.79	21.56	808.39	28.21
36	HACIENDA SANTA ELENA	60.96	7.70	51	174	4.06	42.78	1604.37	30.12
37	EL COMPADRE /TIMAL	91.44	18.90	20	250	4.07	61.43	2303.44	31.75
38	EL CAMPECHE, LOTE NO 75/TIMAL	91.44	18.90	24	250	4.06	61.50	2306.34	31.79
39	LA VIRGEN ,HACIENDA SAN PEDRO	45.72	6.71	-	114	3.39	33.51	1256.64	32.21
40	SANTA MARTA FINLANDIA	57.91	10.06	8	145	3.04	47.80	1792.35	37.45
41	HACIENDA FINLANDIA	60.96	12.19	-	298	4.3	69.30	2598.84	53.29

NOTA: N⁰= Numero de pozo. Tb: Tiempo de bombeo. T: Transmisividad (m²/d). K: Conductividad Hidráulica (m/d).

POZOS DEL PERFIL 1

*TIPITAPA - EL LIBANO -
LAGUNA DE TISMA - LAGO
COCIBOLCA*

CUADRANTE Y NUMERO		PERFORADORA / FECHA		COORDENADA NAD27		TIPO:	N°	Z(msnm)
Tipitapa 2952 -I		Riego de Nic. / 08/09/66		E 598350	N 1349300	PP	5	62
N°	Z(pie)	Z(m)	Z(msnm)	DESCRIPCION LITOLOGICA				
1	0	0,0	62,0	Superficie				
2	7	2,1	59,9	Tierra				
3	8	2,4	59,6	Talpetate				
4	30	9,1	52,9	Cantera				
5	36	11,0	51,0	NEA Piedra Cascajosa con filtraciones				
6	50	15,2	46,8	Piedra Cascajosa con filtraciones				
7	80	24,4	37,6	Arena Negra Gruesa				
8	110	33,5	28,5	Arena Negra Gruesa				
9	130	39,6	22,4	Arena Negra fina				

TIPITAPA 29521				E 605738	N 1348825	PP	66	53
N°	Z(pie)	Z(m)	Z(msnm)	DESCRIPCION LITOLOGICA				
1	0	0,0	53,0	Superficie				
2	5	1,5	51,5	TIERRA VEGETAL. TEXTURA AECILLOSA COLOR NEGRA				
3	11	3,4	49,6	NEA LIMOS SEMICONSOLIDADOS, GRIS. AP: 6.2'xh				
4	21	6,4	46,6	LIMOS SEMICONSOLIDADOS, GRIS. AP: 6.2'xh				
5	48	14,6	38,4	ARENAS CON LIMOS, COLOR GRIS. ARENAS GRUESAS ANGULARES (CANTERA). AP				
6	55	16,8	36,2	LIMOS SEMICONSOLIDADOS, CAFÉ. AP: 5.1'xh				
7	58	17,7	35,3	GRAVAS CON ARENAS MULTICOLOR. GRAVAS DE 1/16" a 1/2" SUBANGULARES. ARE				
8	60	18,3	34,7	LIMOS SEMICOMPACTADOS GRIS. AP: 60'xh				

9	67	20,4	32,6	LIMOS ARCILLOSOS CAFÉ CLARO. AP: 9.6'xh
10	71	21,6	31,4	ARENAS MULTICOLOR. ARENAS FINAS A MEDIA CON ALGUNAS ARENAS GRUESAS
11	75	22,9	30,1	LIMOS ARCILLOSOS, COLOR GRIS. AP: 17'xh
12	78	23,8	29,2	GRAVAS CON ARENAS MULTICOLOR. GRAVAS DE 1/16" a 1/4", ANGULARES. ARENAS
13	101	30,8	22,2	ESCORIA DE ORIGEN VOLCANICO NEGRA. AP: 12'xh
14	109	33,2	19,8	LIMOS SEMICOMPACTADOS GRIS OSCURO . AP: 3.8'xh
15	111	33,8	19,2	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA, COLOR GRIS CLARO. AP: 10'xh
16	115	35,1	17,9	LIMOS COMPACTADOS COLOR CAFÉ. AP: 4.8'xh
17	117	35,7	17,3	ARENAS COLOR CAFÉ. ARENAS MEDIAS A GRUESAS ANGULARES. AP: 12'xh
18	121	36,9	16,1	LIMOS ARCILLOSOS CAFÉ CLARO. AP: 14.1'xh
19	124	37,8	15,2	ARENAS Y GRAVAS MULTICOLOR. ARENAS GRUESAS A MUY GRUESAS SUBANGUL
20	129	39,3	13,7	LIMOLITA COLOR GRIS. AP: 7.5'xh

21	131	39,9	13,1	ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA COLOR CAFÉ CLARO. AP: 7.5%h
22	133	40,5	12,5	LIMOS SEMICOMPACTADOS CAFÉ. AP: 8%h
23	135	41,1	11,9	GRAVAS MULTICOLOR. GRAVAS DE DE 1/16" a 1/4" SUBREDONDEADAS. AP: 17.1%h
24	137	41,8	11,2	LIMOS COLOR CAFÉ ROJIZO. AP: 8%h
25	139	42,4	10,6	ARENAS COLOR NEGRO. ARENAS MEDIAS A GRUESAS ANGULARES. AP: 9.2%h
26	143	43,6	9,4	LIMOS COLOR CAFÉ. AP: 6.2%h
27	161	49,1	3,9	LIMOS CON ARENAS COLOR GRIS. ARENAS GRUESAS A MEDIAS SUBANGULARES
28	171	52,1	0,9	LIMOLITA COLOR GRIS. AP: 0.43%h
29	175	53,3	-0,3	LIMOS SEMICOMPACTADOS COLOR CAFÉ. AP: 7.3%h
30	177	53,9	-0,9	LIMOS ARCILLOSOS, COLOR GRIS CLARO. AP: 15%h
30	185	56,4	-3,4	LIMOLITA COLOR GRIS . AP: 0.43%h
31	191	58,2	-5,2	ARCILLA DE POCA PLASTICIDAD E INESTABLE COLOR CAFÉ CLARO. AP: 7.5%h
32	194	59,1	-6,1	LIMOS COLOR CAFÉ CLARO. AP: 7.5%h

CUADRANTE Y NUMERO		PERFORADORA / FECHA		COORDENADA NAD27		TIPO:	N°	Z(msnm)
TIPITAPA 2952 I		Mc. GREGOR		E 600222	N 1351159	PP	60	70
N°	Z(pie)	Z(m)	Z(msnm)	DESCRIPCION LITOLÓGICA				
1	0	0,0	70,0	Superficie				
2	5	1,5	68,5	TIERRA VEGETAL ARCILLOSA, COLOR NEGRO				
3	20	6,1	63,9	ARENA COMPACTADA, COLOR CAFÉ				
4	40	12,2	57,8	ARENA MEDIA CON POMEZ, COLOR GRIS				
5	55	16,8	53,2	ARENA COMPACTADA, COLOR GRIS				
6	60	18,3	51,7	LOMO ARENOSO, COLOR CAFÉ				
7	67	20,4	49,6	NEA ARENA COMPACTADA				
8	100	30,5	39,5	ARENA COMPACTADA				
9	110	33,5	36,5	ARENA GRUESA Y GRAVILLA MULTICOLOR				
10	115	35,1	34,9	ARENA MEDIA REDONDEADAS, COLOR GRIS				

11	150	45,7	24,3	ARENA GRUESA Y GRAVILLA
12	155	47,2	22,8	ARENA MEDIA A FINA ALGO DE ARCILLA
13	185	56,4	13,6	ARENA COMPACTADA
14	225	68,6	1,4	ARENA MEDIA CON POMEZ, COLOR GRIS
15	260	79,2	-9,2	ARCILA PLASTICA , COLOR CAFÉ
16	300	91,4	-21,4	ARCILLA COMPACTADA

POZOS DEL PERFIL 2

MALACATOYA

MALACATOYA 3052 III				E 624900	N 1340050	PP	31	34
N°	Z(pie)	Z(m)	Z(msnm)	DESCRIPCION LITOLÓGICA				
1	0	0,0	34,0	Superficie				
2	7	2,1	31,9	Tierra vegetal franco arcillosa, café				
3	20	6,1	27,9	Arcilla plastica inestable, café				
4	23	7,0	27,0	NEA Conglomerado de bolones, gravas y gravillas, multicolor				
5	55	16,8	17,2	Conglomerado de bolones, gravas y gravillas, multicolor				
6	92	27,9	6,1	Arenas medias con gravillas, poca arcilla gris				
7	110	33,5	0,5	Arcillas plasticas compacta e inestable, gris				
8	180	54,9	-20,9	Arenas medias redondeadas con gravillas, gris				
9	200	61,0	-27,0	Arcillas plasticas compactas				
10	220	67,1	-33,1	Arenas medias con gravillas gris				
11	240	73,2	-39,2	arcillas arenosa semicompactas				

MALACATOYA 3052 III				E 626150	N 1342150	PP	2	38
N°	Z(ple)	Z(m)	Z(msnm)	DESCRIPCION LITOLOGICA				
1	0	0,0	38,0	Superficie				
2	9	2,7	35,3	Barro negro				
3	20	6,1	31,9	Barro café				
4	27	8,2	29,8	NEA Arenas con bolones				
5	35	10,7	27,3	Arenas con bolones				
6	48	14,6	23,4	Piedra cantera				
7	55	16,8	21,2	Arena gruesa con barro				
8	58	17,7	20,3	Arena gruesa				
9	62	18,9	19,1	Barro				
10	75	22,9	15,1	Cantera				

11	77	23,5	14,5	Barro				
12	83	25,3	12,7	Roca Caliza				
13	89	27,1	10,9	Cantera				
14	94	28,7	9,4	Barro				
15	97	29,6	8,4	Cantera				
16	100	30,5	7,5	Barro con cascajo				
17	103	31,4	6,6	Cantera				
18	107	32,6	5,4	Roca Negra				

MALACATOYA 3052 III				E 625636	N 1336888	PP	1	31
N°	Z(pie)	Z(m)	Z(msnm)	DESCRIPCION LITOLÓGICA				
1	0	0,0	31,0	Superficie				
2	2	0,6	30,4	Tierra vegetal color café				
3	4	1,2	29,8	Arcilla plastica color café				
4	12	3,7	27,3	Limo café color café				
5	14	4,3	26,7	NEA Arena gruesa y media color gris				
6	39	11,9	19,1	Arena gruesa y media color gris				
7	44	13,5	17,6	grava color variado				
8	57	17,4	13,6	Arcilla plastica color café				

9	71	21,6	9,4	Arena gruesa con gravacolor variado
10	77	23,5	7,5	arcilla con arena media color café
11	82	25,0	6,0	Gravas color gris
12	94	28,7	2,4	Arcillas color café
13	112	34,1	-3,1	arenas con limos y con un poco de pomez , color café
14	123	37,5	-6,5	arcilla color café
15	137	41,8	-10,8	arena fina y media con un poco mde pomez , color gris
16	157	47,9	-16,9	arcilla inestable, color café
17	159	48,5	-17,5	Grava color gris
18	205	62,5	-31,5	limo arenoso con arcilla, color gris
19	223	68,0	-37,0	arena con gravas y con un poco de pomez y color variado
20	240	73,2	-42,2	Limo con arena y un poco de grava ,color café

**ANEXOS B
FIGURAS**

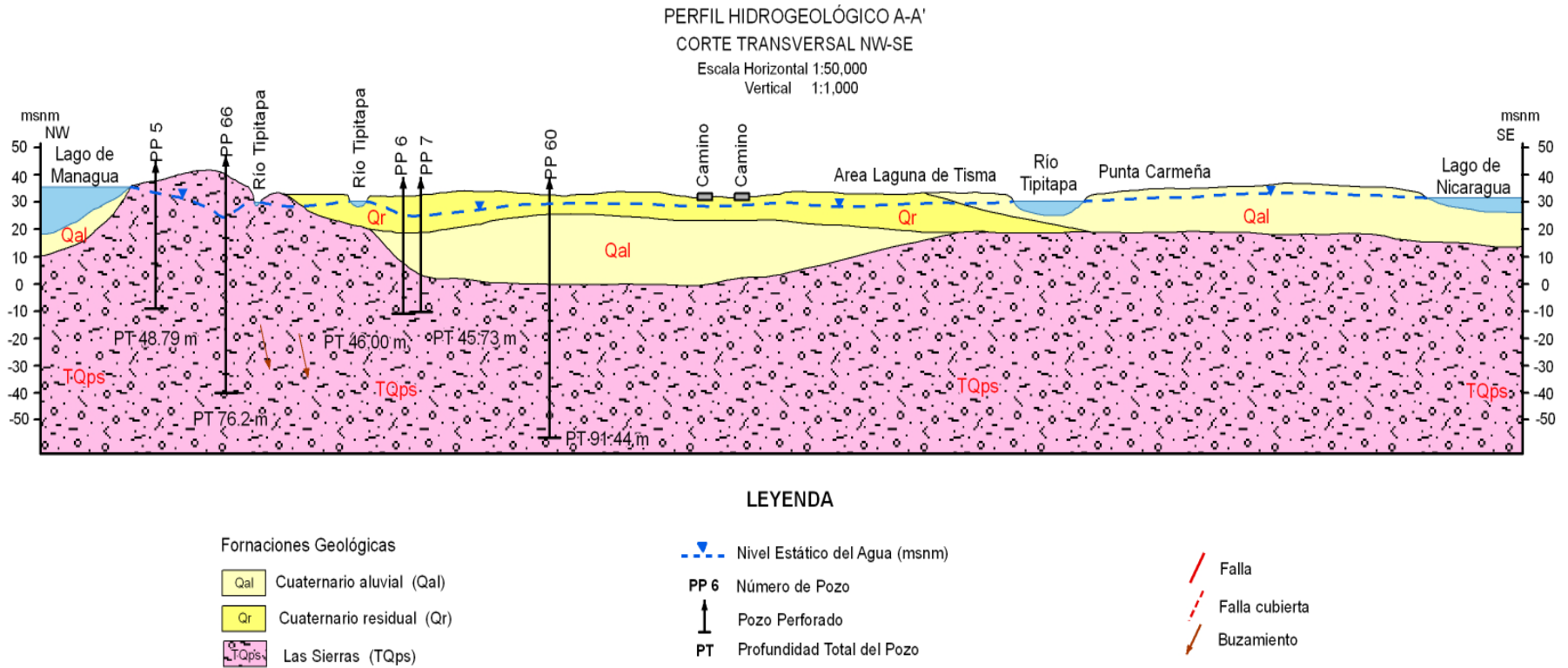
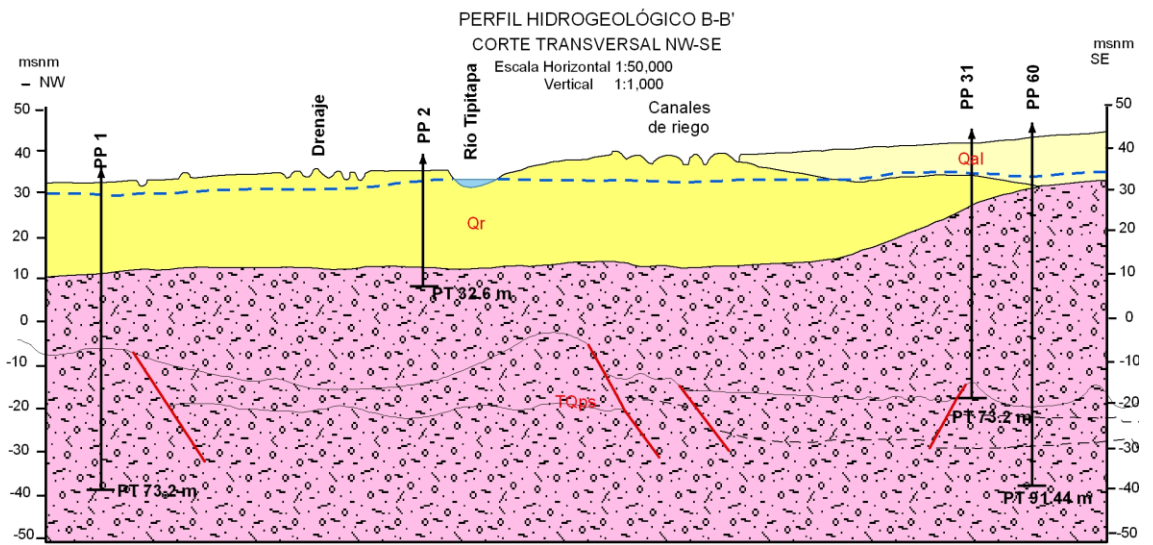


Figura N° 10 Perfil Hidrogeológico número 1.



LEYENDA

Fornaciones Geológicas

- Qal Cuaternario aluvial (Qal)
- Qr Cuaternario residual (Qr)
- Las Sierras (TQps)

- Nivel Estático del Agua (msnm)
- PP 6** Número de Pozo
- Pozo Perforado
- PT** Profundidad Total del Pozo

- Falla
- Falla cubierta
- Buzamiento

Figura N° 11 Perfil Hidrogeológico N° 2.