



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS).

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SÉBACO
ANTE LA CONTAMINACIÓN Y SOBREPLOTACIÓN Y PROPUESTA DE UN PLAN DE
GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**

Ingeniera Roxana Martínez Izaguirre

Asesorado por el MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco

Guatemala, agosto de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL VALLE
DE SÉBACO ANTE LA CONTAMINACIÓN Y SOBREEXPLOTACIÓN Y
PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

INGENIERA, ROXANA MARTÍNEZ IZAGUIRRE

ASESORADO POR EL MSC. ING. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE) **EN RECURSO HIDRÁULICOS**
OPCIÓN GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

GUATEMALA, AGOSTO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR MSc. Ing. Pedro Cipreano Saravia Ciles
EXAMINADOR MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes
EXAMINADOR MSc. Ing. Juan José Sandoval

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SÉBACO ANTE LA CONTAMINACIÓN Y SOBREPLOTACIÓN Y PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 27 de junio, 2016.



Ing. Roxana Martínez Izaguirre

izaguirrez2003@hotmail.com

Carné No 20169016

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE
GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de
Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos
COORDINACIÓN
RECURSOS HIDRÁULICOS

Edificio ERIS,
Área de prefabricados,
CII
Ciudad Universitaria zona
12
Ciudad de Guatemala
01012
Guatemala, C.A.
Tel. (502) 2418 8000,

Guatemala, 07 de agosto de 2017

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de asesor de estudio y, a la vez, Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, del trabajo de Estudio Especial titulado:

Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero del valle de Sébaco ante la contaminación y sobreexplotación y propuesta de un plan de gestión del recurso hídrico

presentado por la estudiante,

Ingeniera Roxana Vanessa Martínez Izaguirre

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,
Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Elfego Orozco
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE
GUATEMALA



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de
Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos
COORDINACIÓN
RECURSOS HIDRÁULICOS

Edificio ERIS,
Área de prefabricados,
CII
Ciudad Universitaria zona
12
Ciudad de Guatemala
01012
Guatemala, C.A.
Tel. (502) 2418 8000,

Guatemala 07 de agosto de 2017

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes, MSc. Ing. Juan José Sandoval y MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos hidráulicos; MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Ruth Nohemí Cardona Mazariegos, Colegiada No. 12498, al trabajo de la estudiante Ing. Roxana Vanessa Martínez Izaguirre, titulado: **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SÉBACO ANTE LA CONTAMINACIÓN Y SOBREEXPLOTACIÓN Y PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los siete días del mes de agosto de 2017.

Imprimase

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la oportunidad de estudiar la maestría y alcanzar un logro profesional.

Mi madre

Rosa Izaguirre Gradíz, por su dedicación, amor, comprensión y paciencia.

Mi padre

Mario Martínez Espinosa, por su confianza e inspirarme hacer mejor cada día

Mis hermanos

Katia Martínez, Marian Martínez, Daniel Gradíz y Flor de María Jarquín, por su cariño, apoyo y amor hacia mí.

Mi mami

Yadira Trujillo, por tu dedicación cariño, buenos deseos y oraciones en el transcurso del proceso de mis estudios.

Mi amor

Por su cariño incondicional en el transcurso de mi estudio, por su comprensión, motivación y su gran afecto.

AGRADECIMIENTOS A:

Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD)

Por brindarme la oportunidad de estudiar la maestría y alcanzar un logro profesional.

Mi asesor

M.Sc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes, por su dedicación en mi formación y brindarme los conocimientos necesarios para culminar mis estudios.

Catedráticos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Por su dedicación, esmero y enseñanzas en el transcurso de la maestría, que serán muy útiles en mi desempeño profesional.

Personal de ERIS

A todo el personal que colabora en ERIS, por su amabilidad y cordialidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
GENERAL:.....	XVII
ESPECÍFICOS:.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
ANTECEDENTES.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Vulnerabilidad hidrogeológica.....	1
1.2. Método GOD.....	3
1.3. Método SINTACS.....	3
1.4. Método EPIK.....	4
1.5. Método Ekv.....	4
1.6. Método DhT´ (Relación de potenciales hidráulicos).....	5
1.7. Método índice de vulnerabilidad AVI.....	5
1.8. Método DRASTIC.....	6
1.9. Gestión integral del recurso hídrico, GIRH.....	7
1.10. Amenaza de contaminación hídrica.....	8
1.11. Definición de modelo.....	9
1.12. Sobreexplotación.....	9
1.13. Gobernanza del agua.....	9

1.14.	Saneamiento ambiental.....	10
2.	CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA	11
2.1.	Localización del área de estudio	11
2.2.	Geomorfología	11
2.3.	Climatología	15
2.4.	Geología.....	18
2.4.1.	Geología histórica y estructural	18
2.4.1.1.	Unidad superior	18
2.4.1.2.	Unidad intermedia	20
2.4.1.3.	Unidad inferior	20
2.5.	Suelo	21
2.5.1.	Clasificación taxonómica	21
2.6.	Uso potencial de la tierra.....	24
2.7.	Uso de la tierra	24
2.8.	Aguas superficiales	27
2.9.	Hidrogeología	27
2.9.1.	Medio hidrogeológico	27
2.10.	Descripción de la litológica del acuífero	28
2.11.	Variabilidad de los niveles de agua en el acuífero	31
2.12.	Condiciones de recarga	33
2.13.	Volumen de la recarga	33
2.14.	Condiciones de descarga.....	34
2.14.1.	Descarga natural	34
2.14.2.	Descarga por pozos de bombeo	35
2.15.	Sobreexplotación	36
2.15.1.	Consecuencias de la sobreexplotación	37
2.15.2.	Explotación racional de las aguas subterráneas	38

3.	CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.....	41
3.1.	Agua y saneamiento.....	42
3.2.	Recolección de residuos sólidos	43
3.2.1.	Problemas del sector.....	43
3.3.	Aspectos agroquímicos	44
3.4.	Impactos en la salud.....	47
3.5.	Demanda de agua	48
3.5.1.	Demanda	48
3.5.2.	Agua potable.....	48
3.5.3.	Uso agrícola.....	49
3.5.4.	Uso pecuario.....	52
3.6.	Conclusiones de los aspectos socioeconómicos.....	55
4.	METODOLOGÍA.....	59
4.1.	Método DRASTIC.....	59
4.2.	Profundidad del agua (D).....	61
4.3.	Recarga neta (R)	62
4.4.	Medio del acuífero (A)	63
4.5.	Medio del suelo (S).....	65
4.6.	Topografía (T).....	66
4.7.	Impacto de la zona vadosa (I)	67
4.8.	Conductividad hidráulica (C).....	68
4.9.	Propuesta de un plan de gestión	69
5.	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	71
5.1.	Profundidad del agua (D).....	71
5.2.	Recarga neta (R)	74
5.3.	Medio del acuífero (A)	77
5.4.	Medio del suelo (S).....	80

5.5.	Topografía (T)	81
5.6.	Impacto de la zona vadosa (I)	84
5.7.	Conductividad hidráulica (C)	84
5.8.	Vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Sébaco	87
6.	PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SÉBACO	90
6.1.	Propósitos del plan.....	92
6.2.	Principios de la gestión hídrica.....	92
6.3.	Análisis FODA.....	94
6.4.	Análisis de problema	95
6.5.	Soluciones identificadas para la problemática diagnosticada en el acuífero	97
6.6.	Estrategias del plan.....	101
6.7.	Líneas estratégicas de acción.....	102
6.7.1.	Líneas estratégicas del recurso hídrico.....	102
6.7.2.	Gestión de la demanda del recurso hídrico subterráneo.	103
6.7.3.	Generación de condiciones para la participación y gestión social.....	103
6.7.4.	Generación de instrumentos y herramientas para el fortalecimiento institucional.....	104
6.7.5.	Plan estratégico.....	104
	CONCLUSIONES.....	109
	RECOMENDACIONES	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
	ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización	12
2.	Mapa de provincia geo estructurales	13
3.	Relieve del área de estudio.....	14
4.	Mapa de precipitación media anual	16
5.	Precipitación media anual (mm), estación Raúl González	17
6.	Temperatura media anual (°C), estación Raúl González.....	17
7.	Geología de valle de Sébaco	19
8.	Taxonómica de suelo	23
9.	Uso potencial de la tierra	25
10.	Uso de la tierra.....	26
11.	Perfil hidrogeológico transversal	29
12.	Perfil hidrogeológico longitudinal	30
13.	Mapa dela variabilidad de los niveles en el acuífero.....	32
14.	Vertedero de Sébaco.....	44
15.	Proyección de la demanda 2016 - 2030	49
16.	Demanda	54
17.	Metodología profundidad del agua.....	61
18.	Metodología de la recarga neta	63
19.	Metodología del medio del acuífero	64
20.	Metodología del medio del suelo	65
21.	Metodología de la topografía	66
22.	Metodología de impacto de la zona vadosa.....	67
23.	Metodología de la conductividad hidráulica	68
24.	Mapa de profundidad (D)	73

25.	Mapa de la recarga (R).....	76
26.	Medio del acuífero (A)	79
27.	Medio del suelo (S).....	82
28.	Topografía (T).....	83
29.	Impacto de la zona vadosa (i).....	85
30.	Conductividad hidráulica.....	86
31.	Mapa de vulnerabilidad.....	88
32.	Zona de recarga del acuífero deforestada y envases de agroquímicos. ..	91
33.	Árbol de problemas del acuífero del valle de Sébaco.....	96
34.	Árbol de objetivos	100
35.	Principales ejes temáticos y problemas identificados	101

TABLAS

I	Comparación de niveles freáticos 2002 -2017 msnm	37
II.	Sistema de tratamiento	43
III.	Estimación de la población y demanda.....	49
IV.	Consumo de agua (m ³ /ha/año) en el cultivo de arroz.....	51
V.	Demanda de agua para riego.....	52
VI.	Consumo de agua del sector pecuario	53
VII.	Consumo de la demanda.....	54
VIII.	Parámetros DRASTIC	60
IX.	Profundidad (Dr).....	61
X.	Clasificación variable (Rr).....	63
XI.	Litología del acuífero (Ar)	64
XII.	Medio del suelo (Sr).	65
XIII.	Clasificación variable (Tr).	66
XIV.	Impacto de la zona vadosa (Ir).....	67
XV.	Clasificación de la conductividad (Cr)	68
XVI.	Clasificación de la profundidad del agua.....	72
XVII.	Recarga en el acuífero	75
XVIII.	Clasificación de la recarga	75
XIX.	Litología del acuífero	78
XX.	Medio del acuífero.....	78
XXI.	Porcentaje del orden de suelo en el área.....	80
XXII.	Clasificación del tipo de suelo en el área de estudio.....	81
XXIII.	Clasificación de la variable topográfica	81
XXIV.	Clasificación del impacto de la zona vadosa	84
XXV.	Clasificación de la conductividad hidráulica.....	85

XXVI. Apreciación cualitativa de la vulnerabilidad 87

XXVII. Análisis FODA 94

XXVIII. Plan estratégico..... 104

RESUMEN

El estudio se realizó en el acuífero del valle de Sébaco, ubicado entre las cuencas del río San Juan y río Grande de Matagalpa, con el objetivo de analizar la vulnerabilidad ante la contaminación y sobreexplotación del recurso hídrico, que presenta el acuífero antes mencionado, esto debido a los distintos usos que se le da al agua, así como las actividades desarrolladas en el área.

Los objetivos desarrollados en el estudio son: caracterizar, en función de la información disponible, los factores hidrogeológicos en la contaminación del acuífero y sobreexplotación, evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero utilizando el método DRASTIC y la elaboración de la propuesta de gestión de los recursos hídricos enfocado en el agua subterránea del acuífero para el uso sostenible del mismo. De acuerdo a los objetivos, se planteó una propuesta de plan de gestión de los recursos hídricos del acuífero.

La metodología utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad se basó en el método DRASTIC, el cual depende de siete factores relevantes descritos a continuación: profundidad del agua subterránea (D), recarga neta (R), litología del acuífero (A), tipo de suelo (S), topografía (T), impacto de zona vadosa (I), conductividad hidráulica (C).

Con base a los análisis de la información recopilada se obtuvieron los siguientes resultados: en general el acuífero del valle de Sébaco presenta una vulnerabilidad ante la contaminación moderada. De acuerdo a la caracterización la recarga del acuífero es del orden de los 70 mm equivalente a 18 millones de metros cúbicos por año ($Mm^3/año$), también el acuífero presenta un alto grado de

degradación en cuanto a sus recursos naturales se refiere; además de la elaboración mediante los problemas encontrados en el acuífero de la propuesta de un plan de gestión de recursos hídricos en el área; el cual consiste principalmente en establecer propuestas, lineamientos y acciones para resolver la problemática diagnosticada en el acuífero, donde se propone diversas estrategias enfocadas a la protección y conservación del mismo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la problemática existente, relacionada con la contaminación del acuífero en el valle de Sébaco y sobreexplotación del mismo, se ha decidido realizar esta investigación, con la finalidad de establecer los parámetros necesarios para evaluar la vulnerabilidad del acuífero ante la contaminación que sirva de base para la formulación de un plan de gestión del recurso hídrico en el valle de Sébaco. Con el fin de presentar alternativas de la gestión sostenible del recurso hídrico subterráneo; así se deduce la necesidad de esta investigación para evaluar el estado actual del acuífero y realizar una propuesta para el aprovechamiento sostenible del mismo.

A pesar de la importancia del recurso hídrico subterráneo en el valle de Sébaco, la falta de un estudio específico de la vulnerabilidad ante la contaminación y sobreexplotación del mismo, y la creciente demanda del recurso requiere de una evaluación con la finalidad de proveer información científica para la formulación de planes de manejo del recurso hídrico de la región.

En el presente estudio se evaluó la vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Sébaco con base a la información hidrogeológica disponible, en el estudio: Criterios hidrogeológicos para la formulación del plan de gestión en el acuífero del valle de Sébaco elaborado por Flores Meza (2004), así como la información del 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 Sébaco elaborado por González Tapia (2004).

Por otro lado, en el presente trabajo se realizó monitoreo de los pozos para el levantamiento de los niveles estáticos (NEA), en el acuífero y pruebas de

infiltración para la obtención de datos de la recarga hídrica por medio del balance hídrico de suelo propuesto por (Schosinsky & Losilla, 2000), así también se obtuvo datos meteorológicos proporcionados por la unidad de meteorología del Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales (INETER), como información observada en las visitas de campo.

Asimismo, se estimó la demanda actual y futura del recurso hídrico, para los diferentes sectores, con base a información disponible en el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), como información del compendio de mapas uso Potencial de la Tierra Nicaragua, INETER- UNA (2015).

Finalmente, con los resultados que se obtenidos, se propuso un plan general para la gestión integral del recurso hídrico.

Pregunta: ¿Con el diagnóstico de los recursos hídricos del valle de Sébaco, se puede elaborar una herramienta de gestión que favorezca la toma de decisiones ante la contaminación y sobreexplotación del acuífero?

JUSTIFICACIÓN

Se tiene en cuenta la importancia del acuífero del valle de Sébaco para los habitantes de este municipio, es necesario realizar estudios sobre la vulnerabilidad, que se puede estar generando por elementos contaminantes; ya sean por agroquímicos usados en los cultivos que se producen en el área; y que estos puedan estar afectando la calidad de las aguas subterráneas, dado que este acuífero es una de las fuentes productoras de agua del departamento de Sébaco no solo para el consumo humano; sino también para la producción agrícola.

El estudio más relevante, en el acuífero es el desarrollado por Flores Meza, (2004), en el cual se establece la disminución de los niveles freáticos del acuífero; por otro lado, González Tapia, (2004), evaluó la calidad del agua y el peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el valle de Sébaco, Matagalpa, donde identifico que el 90 % de los pozos se localizan en zonas de alto peligro de contaminación.

Por otro lado, se conoce muy poco sobre la demanda actual y proyectada del recurso hídrico subterráneo, para los diferentes sectores del valle de Sébaco, que permita determinar la influencia actual y futura del sistema socioeconómico sobre el recurso hídrico.

Una vez establecido el grado de vulnerabilidad del acuífero, se pueden formular planes más acertados de gestión integrada del recurso hídrico del valle de Sébaco. Por lo tanto, el estudio que se propone es de relevancia para contribuir a que se realice un uso sostenible, a lo largo del tiempo, del recurso

hídrico y su protección, en beneficio del sistema socioeconómico de la región, y por ende del país.

Con el presente estudio se pretende conocer la vulnerabilidad ante posibles contaminantes del acuífero y la sobreexplotación del mismo, esto para realizar una propuesta del manejo del recurso hídrico; con el propósito de que se realice un uso sostenible del recurso y su protección en beneficio de la población que habita en el área de interés; la que requiere el vital líquido en cantidad y calidad para los diferentes usos requeridos.

OBJETIVOS

General:

Evaluar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero ante la contaminación y sobreexplotación, que sirva de base para la formulación de un plan de gestión del recurso hídrico en el valle de Sébaco.

Específicos:

1. Caracterizar en función de la información disponible, los factores hidrogeológicos en la contaminación del acuífero y sobreexplotación.
2. Evaluar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero utilizando el método DRASTIC.
3. Diseñar una propuesta de gestión de recursos hídricos enfocado en el agua subterránea para su uso sostenible.

HIPÓTESIS

El acuífero del valle de Sébaco es vulnerable ante la contaminación y sobreexplotación al menos en un 50 %, por lo que requiere de un plan orientado al manejo sostenible del recurso hídrico.

ANTECEDENTES

Nicaragua, de acuerdo a su potencial, es un país con vocación y dependencia económica del desarrollo agropecuario, forestal y pesca, sectores que tienen dependencia de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Sumado a esto se debe señalar el creciente demanda y calidad del agua para consumo humano, debido al crecimiento de la población; y de otros sectores de la economía nacional tales como; industrial y riego (MARENA, 2003).

El valle de Sébaco, es una planicie intramontaña, ubicada entre las montañas de la región Central, en el departamento de Matagalpa. Es parte de las zonas de mayor desarrollo agrícola del país, donde, actualmente se produce arroz y hortalizas, donde se utiliza el agua del acuífero y de los dos ríos Viejo y el Grande de Matagalpa, que circulan sobre el valle de Sébaco (Flores Meza, 2004).

La información hidrogeológica y de calidad del agua del acuífero y los ríos Viejo y Grande de Matagalpa fue generada en 2004, a través de dos tesis de maestría: Flores Meza, quien a través del uso de un modelo matemático simuló las condiciones del acuífero para el 2005 y 2010, encontrándose que era necesario incrementar en un 25 % la recarga del acuífero para mantener los niveles de agua actuales; y González Tapia, quien concluyó que el agua subterránea del acuífero del valle de Sébaco utilizada para consumo humano está siendo impactada por las actividades del uso del suelo e industriales de forma negativa (Quezada, Valeria Delgado, 2014).

La complejidad del sistema hidrogeológico y de los procesos que determinan el impacto de las actividades humanas sobre las aguas, la toma de medidas y el establecimiento de una legislación que permitan mejores prácticas de manejo, deben estar basadas en un conocimiento detallado de los procesos hidrogeológicos (J, Vargas, 2002).

La Ley General de Aguas Nacionales (Ley 620) y su Reglamento, ponen en énfasis en la gestión integrada del recurso hídrico a partir de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país, del uso y manejo integral de las aguas nacionales, particularmente, la responsabilidad de promover un plan de manejo de las aguas.

En Nicaragua se han realizado varios estudios para evaluar la vulnerabilidad intrínseca en donde resaltan los siguientes:

- Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero de Managua (MARENA, 2000).
- Situación del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua (Soriano, 2005).
- Evaluación de la vulnerabilidad actual de los sistemas recursos hídricos y agricultura ante el cambio climático en la Cuenca No. 64 (MARENA, 2008).
- Estudio de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca el Sauce, usando el método DRASTIC (Ramos Valle, 2012).

Actualmente, en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) son pocos los estudios realizados para evaluar la

vulnerabilidad intrínseca por medio del método DRASTIC, el estudio realizado por Rivera Ramos (2005), donde evaluó el análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic, Mixco, Guatemala; utilizando el método GOD, desarrollado por Foster (1987) y DRASTIC por *Aller et al* (1987).

Otro estudio en ERIS, es el realizado por Escobar López & Rodríguez Juárez (2017), donde valoraron calidad de las aguas subterráneas en el municipio de San Pedro la laguna y sus efectos sobre el cuerpo de agua del lago de Atitlán, utilizando el método GOD.

Respecto al estudio y análisis del recurso hídrico subterráneo del valle de la ciudad de Guatemala se cuenta con el estudio realizado por Morales, (2012), donde evaluó el descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala. El documento hace un análisis descriptivo y una exposición de las principales características hidrogeológicas, hidrológicas, así como los parámetros que condicionan la disponibilidad, localización y potencial hidrológico.

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos se encuentran sometidos a un proceso de degradación progresivo que arriesga la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Se deben adoptar a corto plazo las medidas y disposiciones necesarias para garantizar la preservación de las fuentes de agua.

Tomando en cuenta el deterioro ambiental que nuestro país sufre y en particular el daño que se ha provocado a los recursos hídricos, tanto los que se localizan en la superficie como aquellos que se encuentran de forma subterránea; nace la urgencia de realizar este tipo de investigaciones sobre la vulnerabilidad de los acuíferos ante la contaminación; ya sea antropogénica o natural, con el objetivo de tomar decisiones para su protección.

El área donde se realizó este estudio es el acuífero del valle de Sébaco, ubicado en la zona Nor-central del país, uno de los más importantes acuíferos del país por su potencial para riego en el sector agropecuario, especialmente del cultivo del arroz y las hortalizas. También en esta área se encuentran fuentes superficiales que son de gran importancia para el aprovechamiento en generación de energía hidroeléctrica.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Vulnerabilidad hidrogeológica

La terminología de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos, tiene muchas variantes y han surgido muchas definiciones y metodologías sobre el mismo. Existiendo enfoques o corrientes sobre si la vulnerabilidad es cualitativa o cuantitativa. La primera definición de este término fue introducida en Francia por Albinet, M. y Margat, J. (1970) como: "La protección natural que los estratos terrestres ejercen para atenuar la entrada de contaminantes hacia los acuíferos".

No obstante, el concepto anterior, se basa en que el medio físico puede propiciar cierto grado de protección contra impactos naturales y humanos con respecto a los potenciales contaminantes introducidos en el medio subterráneo. Esto no se puede medir de manera directa, pero se puede determinar utilizando datos geológicos e hidrogeológicos, mediante la sensibilidad del acuífero a la contaminación de origen antrópico, difuso o puntual.

El medio físico puede dar cierto grado de protección a los acuíferos al actuar como purificador del agua contaminada cuando se infiltra, a través del suelo y otros estratos de la zona no saturada. El grado de atenuación que el ambiente físico pueda efectuar y el tipo de contaminante, determinan el potencial relativo con que un acuífero puede contaminarse (M, Auge, 2006).

Las propiedades del medio varían de un punto a otro, lo que hace variable el potencial de un acuífero para protegerse, razón para que algunas áreas sean más vulnerables que otras. Como resultado de la evaluación de la vulnerabilidad

pueden obtenerse mapas mostrando zonas con mayor o menor sensibilidad a la contaminación, que generalmente se construyen para el acuífero superior o freático. Estos niveles permiten valorar la vulnerabilidad en forma cuantitativa entre las regiones que integran el área de estudio (Custodio, 1995).

Para Custodio (1998), la vulnerabilidad del agua subterránea se refiere a la tendencia o probabilidad que un contaminante alcance una posición específica en el sistema acuífero después de su introducción en algún punto sobre el terreno.

Según Foster e Hirata (1988), la vulnerabilidad es una función de: 1) la inaccesibilidad de la zona saturada, en sentido hidráulico, a la penetración de contaminantes y 2) a la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada del acuífero, como resultado de su retención física y reacción química con los contaminantes.

Específicamente, la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, es usada para representar las características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante que cause cambios químicos, físicos o biológicos que estén fuera de las normas de utilización del agua. Donde la exactitud de la evaluación de vulnerabilidad depende, de la cantidad y calidad de los datos (Foster, S, Hirata, R, 1988).

El término vulnerabilidad es usada para identificar un conjunto de factores del complejo hidrogeológico que marcan la susceptibilidad de recibir y difundir un contaminante soluble o transportarlo en el agua; estos factores están relacionados a diferentes procesos naturales que pueden afectar el ciclo del contaminante, resultando en un patrón irregular de distribución.

Para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca al acuífero existen varios métodos similares, siendo la cantidad de variables o parámetros la diferencia

entre ellos, con la finalidad en determinar la vulnerabilidad en función de las características intrínsecas del medio. Entre los métodos más utilizados, el método GOD, método SINTACS, método EPIK, método EKv, método AVI, método DRASTIC, entre otros.

1.2. Método GOD

El método de GOD fue desarrollado por Foster en 1987 y trata de ser simple y sistemático. Éste se considera el primer paso para la determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, con el fin de establecer prioridades. El método determina la vulnerabilidad intrínseca por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante.

Los factores que considera el método son: La profundidad del nivel del agua, el tipo de substrato litológico y la ocurrencia del agua subterránea o confinamiento del acuífero. El método se basa en la asignación de índices entre 0, 1 y 3 variables que son las que nominan el acrónimo:

- G (ground water occurrence - tipo de acuífero)
- O (overall aquifer class - litología de la cobertura)
- D (depth - profundidad del agua o del acuífero)

1.3. Método SINTACS.

Es una derivación del DRASTIC, 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 (Acuífero - características hidrogeológicas del acuífero)
- C (Conducibilità - conductividad hidráulica)
- S (Superficie topográfica - pendiente topográfica).

Este 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.

1.4. Método EPIK.

Es un método paramétrico desarrollado por Doerfliger y Zwahlen (1997) para acuíferos kársticos. El acrónimo EPIK significa:

- E (Epikarst)
- P (Protective cover)
- I (Infiltration conditions)
- K (Karst network development)

1.5. Método EKv.

Auge (2004), considera que la vulnerabilidad es un concepto cualitativo, que en la generalidad se refiere al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación. Por ello se la conoce como protección o defensa natural.

En relación a los acuíferos libres, se desarrolla una clasificación basada en la profundidad de la superficie freática (E) y en la permeabilidad vertical de la zona subsaturada (Kv), parámetros que también considera el método AVI

(Aquifer Vulnerability Index). A ambas les asigna índices que van de 1 (menos vulnerable) a 5 (más vulnerable).

1.6. Método DhT' (Relación de potenciales hidráulicos)

Este método es aplicable a acuíferos confinados o semiconfinados y en él se van a considerar las características físicas y geométricas del acuitardo, tales como permeabilidad vertical, espesor, porosidad, continuidad; y la diferencia de potenciales hidráulicos entre el acuífero confinado por debajo del acuitardo y el acuífero libre que queda por encima. Estas dos variables (diferencia de potenciales hidráulicos " Δh " y transmisividad del acuitardo "T" son las que van a condicionar la vulnerabilidad del acuífero profundo, siendo este más vulnerable cuanto mayor sea el flujo de agua que reciba. El acuífero confinado sólo puede ser contaminado por el libre en la zona de recarga, en la que la diferencia de potencial (Δh) favorece al libre.

1.7. Método índice de vulnerabilidad AVI

El AVI es uno de los métodos más sencillos, fáciles y rápidos de cuantificar la vulnerabilidad, tan solo utiliza la conductividad hidráulica y el espesor de las capas de diferente material que se encuentran sobre el nivel del agua. (Báez, 2001).

Es un índice para cuantificar la vulnerabilidad de un acuífero (Van Stempvoort et al. 1992), 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:

$$c = \sum [b_i / K_i] \text{ para las capas } 1, 2, 3, \dots, i$$

Donde:

bi - Es el espesor de cada capa sobre el acuífero

Ki - Es la conductividad hidráulica de cada capa

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.

A continuación, se describe la herramienta, en la que se basa el presente trabajo, y concretamente en el método reconocido que consideran las características físicas propias del marco hidrogeológico que afectan a la potencial contaminación del agua, la metodología DRASTIC desarrollada por ALLER *et al* 1987, debido a sus características es considerada la más usada en el mundo.

1.8. Método DRASTIC

El método DRASTIC fue originalmente diseñado como un modelo de fácil uso que, mediante conocimientos básicos de hidrogeología, permite evaluar el potencial relativo de contaminación del agua subterránea. El modelo no fue diseñado para reemplazar las inspecciones en el sitio (L., Bennet, y Petty, 1987), si no para complementarlas.

El modelo DRASTIC utiliza siete parámetros hidrogeológicos en la determinación de la vulnerabilidad, y permite evaluar la susceptibilidad de un sitio a la acción de una carga contaminante permanente tales como: la disposición de desechos como la materia orgánica, metales traza, detergentes, organismos patógenos, etc. Los parámetros independientes requeridos son los que conforman su acrónimo:

- Depth: profundidad del agua subterránea

- Recharge: recarga neta
- Aquifer: medio del acuífero
- Soil: medio del suelo
- Topography: pendiente topográfica
- Impact of the zone vadose: impacto a la zona vadosa
- Conductivity hydraulic: conductividad hidráulica

Estos parámetros no se consideran estacionarios, algunos de ellos varían con el tiempo como es el caso de la profundidad del nivel estático, la recarga neta y otros, como el tipo de acuífero y la zona vadosa; que dependen de la velocidad con la que evoluciona el nivel estático (Ramos, 2007).

Las hipótesis en las que el índice DRASTIC se basa son las siguientes: Existe una fuente por la que el contaminante se introduce en la superficie del terreno. El contaminante penetra con el agua de recarga. El contaminante tiene la movilidad del agua. El área evaluada es mayor o igual a 45 hectáreas.

El método de conteo de puntos utilizado por DRASTIC, es un sistema de evolución en los que cada parámetro es multiplicado por un peso asignado para reflejar la relación entre ellos, los parámetros evaluados y multiplicados, son después sumados para obtener la puntuación fina (Gogu y Dessargues, 2000), esta puntuación provee una medida de la vulnerabilidad para cada punto del área de estudio.

En el capítulo cinco del presente trabajo, se aborda a detalle la metodología DRASTIC, para cada una de las variables que emplea el método.

1.9. Gestión integral del recurso hídrico, GIRH

Según el programa **PAWD** (Partnerships for African Water Development- Alianza para el desarrollo hídrico, 2005). El concepto de gestión integrada significa que todos los usos diferentes del recurso hídrico deben ser considerados en conjunto. La distribución del agua y las decisiones de gestión consideran los efectos de cada uno de los usos sobre los otros, capaces de tomar en cuenta de forma global, las metas sociales y económicas, incluyendo la búsqueda del desarrollo sostenible.

El concepto básico de GIRH ampliado para incorporar la toma de decisiones participativa. Diferentes grupos de usuarios (agricultores, comunidades, ambientalistas) pueden tener influencia en las estrategias para el desarrollo y la gestión del recurso hídrico. Esto genera beneficios adicionales, como usuarios informados que, aplican auto-regulación local con relación a cuestiones tales como conservación del agua y protección de sitios de captación de una manera efectiva que puede lograrse con regulación y vigilancia centralizadas.

La GIRH puede colaborar con el sector, al aumentar el conocimiento entre los usuarios de la funcionalidad de los ecosistemas y de los beneficios que estos les generan. Frecuentemente estos beneficios son sub-valorados y no se incorporan en el planeamiento y la toma de decisiones.

1.10. Amenaza de contaminación hídrica

Las aguas subterráneas cumplen un rol importante, y en numerosos casos vital para el suministro de agua potable de muchas áreas urbanas. El flujo de aguas subterráneas y el transporte de contaminantes no pueden, ni observarse ni, medirse fácilmente. Ambos procesos generalmente son lentos. La

recuperación de acuíferos una vez que han sido contaminados es excesivamente cara y técnicamente problemática (Foster S. y Hirata R, 1991).

Las principales actividades que impactan la calidad del agua subterránea son: la urbanización con densidad elevada, saneamiento sin alcantarillado, inadecuada disposición de efluentes líquidos industriales y cambios en las prácticas de cultivo agrícola (Foster S. y Hirata R, 1991).

1.11. Definición de modelo

La palabra modelo tiene tantas definiciones y se utiliza con tanta frecuencia que a veces es difícil discernir su significado preciso (Konikow , LF y JD Bred, ehoeft, 1992). Quizá la definición más simple es que la representación simplificada de un sistema o proceso real.

1.12. Sobreexplotación

la sobreexplotación de un acuífero se puede definir como la extracción del agua del mismo en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación, todo ello referido a un período de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las consecuencias similares que tendrían períodos anómalamente secos. En consecuencia, el efecto más inmediato de la sobreexplotación sería el descenso continuado de los niveles piezométrica, que se acompaña normalmente del agotamiento de las surgencias (Pulido Bosch A. , 2001).

1.13. Gobernanza del agua

La gobernabilidad del agua se refiere al rango de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos implementados para desarrollar y

manejar los recursos hídricos y la entrega de servicios sanitarios en los diferentes niveles de la sociedad. (Global Water Partnership, 2002).

El concepto de gobernanza implica la democratización del poder en relación al recurso, teniendo como primer objetivo al individuo o usuario del agua subterránea (Da Franca, 2012). La gobernanza se refiere a la mayor capacidad de decisión e influencia de los actores no gubernamentales sobre la definición de políticas públicas relacionadas al agua (V Foro Mundial del Agua, 2012).

1.14. Saneamiento ambiental

Según la OMS, saneamiento ambiental es “aquella disciplina que comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales”. En consecuencia, contribuye a un mejoramiento de las condiciones de vida, y administrando y protegiendo los recursos naturales.

2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

2.1. Localización del área de estudio

El acuífero del valle de Sébaco cubre una extensión aproximada 263.33 km² y se localiza entre las coordenadas UTM-1432679 N; 600088 E, y 1408006 N, 582692 E. En este acuífero se localizan tres municipios de los cuales el 34.22 % del territorio pertenece al municipio de Sébaco, el 38.24 % lo constituye el municipio de San Isidro y el 27.07 % al municipio de Ciudad Darío, la localización política administrativa ubica a estos tres municipios en el departamento de Matagalpa. En menor proporción en el territorio se localiza el municipio la Trinidad con el 0.47 %, perteneciente al departamento de Estelí, como muestra la figura 1.

El acuífero valle de Sébaco se sitúa en la Región Central de Nicaragua, hidrográficamente se ubica entre la cuenca 55 del río Grande de Matagalpa y la cuenca 69 río San Juan, por sus características geomorfológicas de área semiplano a totalmente plano la convierten en zona de inundación en periodos de lluvias excesivas en la parte baja de las cuencas y acumulación de altos volúmenes de sedimentos arrastrados por las corrientes.

2.2. Geomorfología

El acuífero del valle de Sébaco está comprendido entre la provincia geomorfológica Tierras Altas del Interior, conformado por una extensa planicie formada de materiales aluviales, determinado por la litología y la tectónica de la región geomorfológica, como muestra la figura 2.

Figura 1. Localización

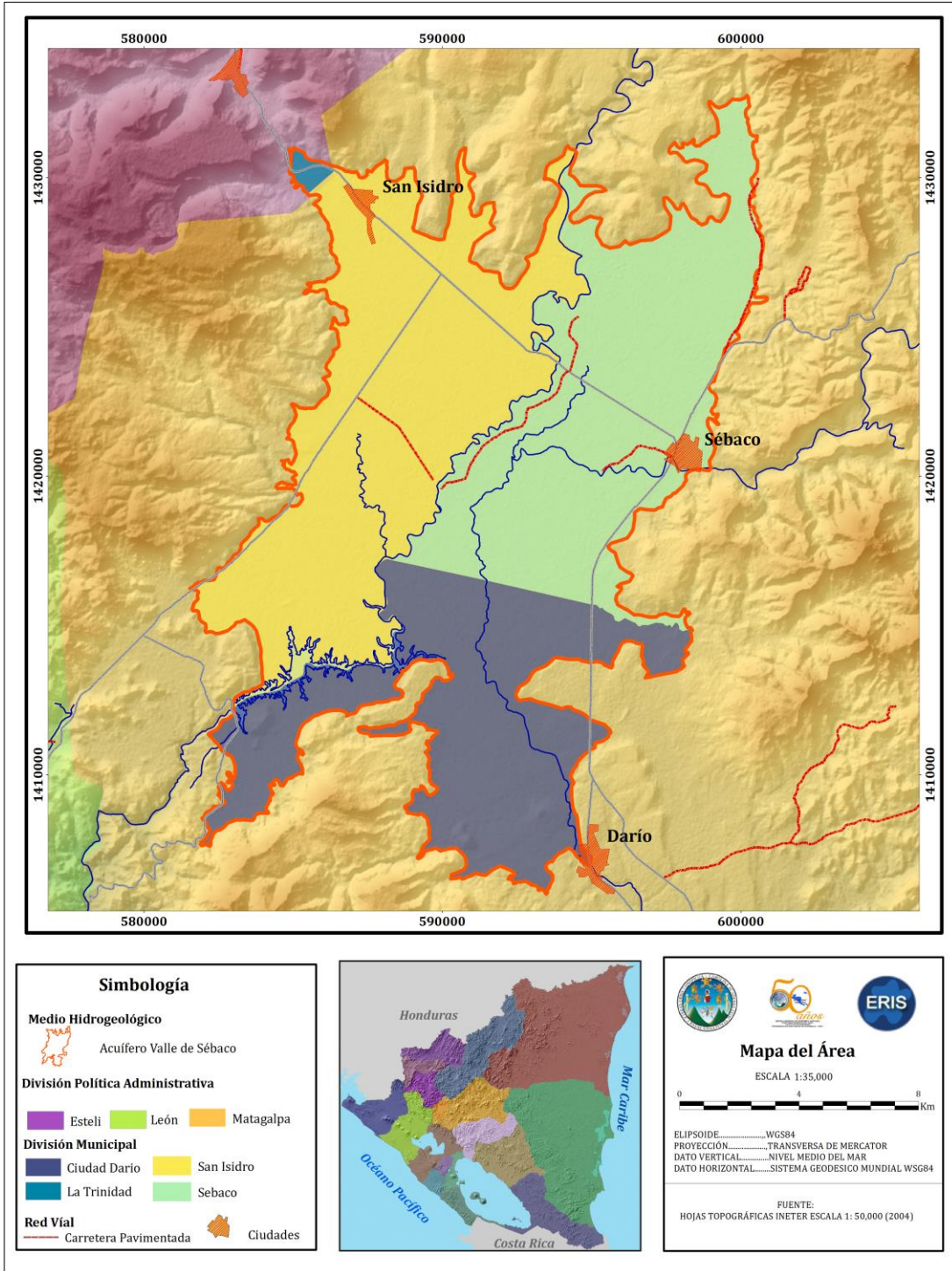
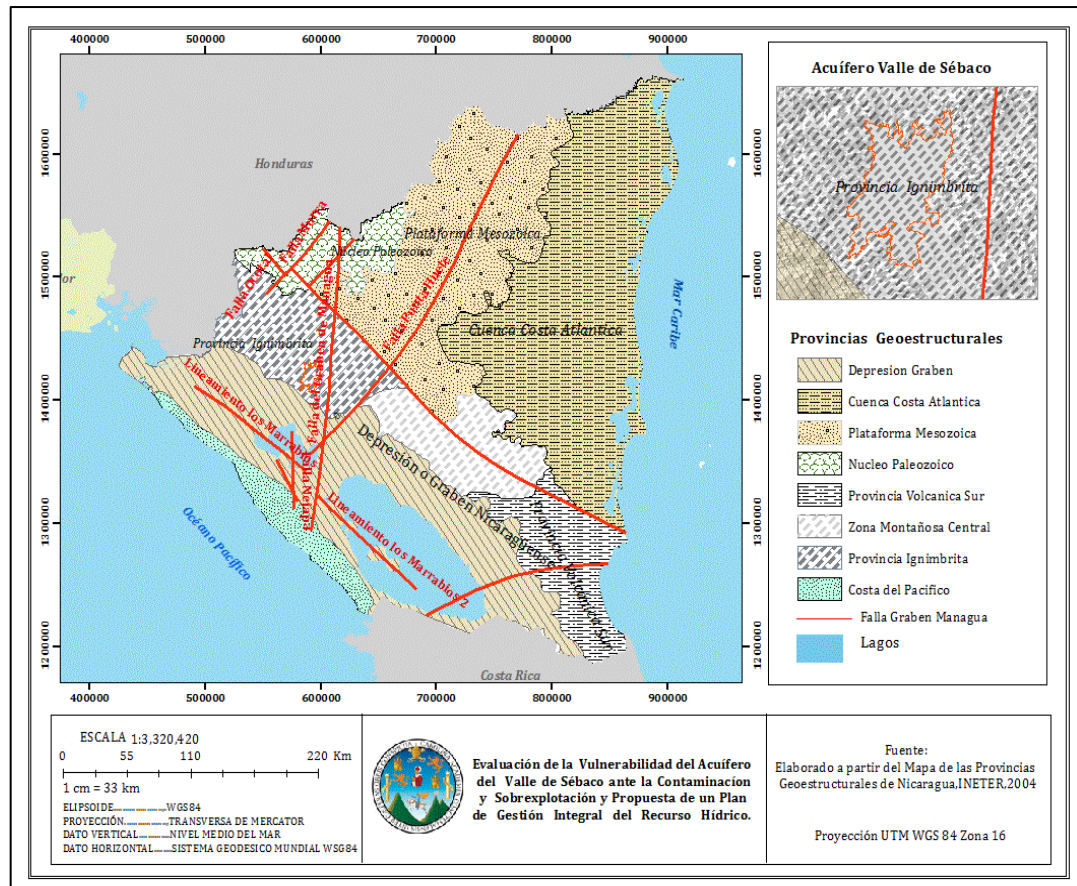
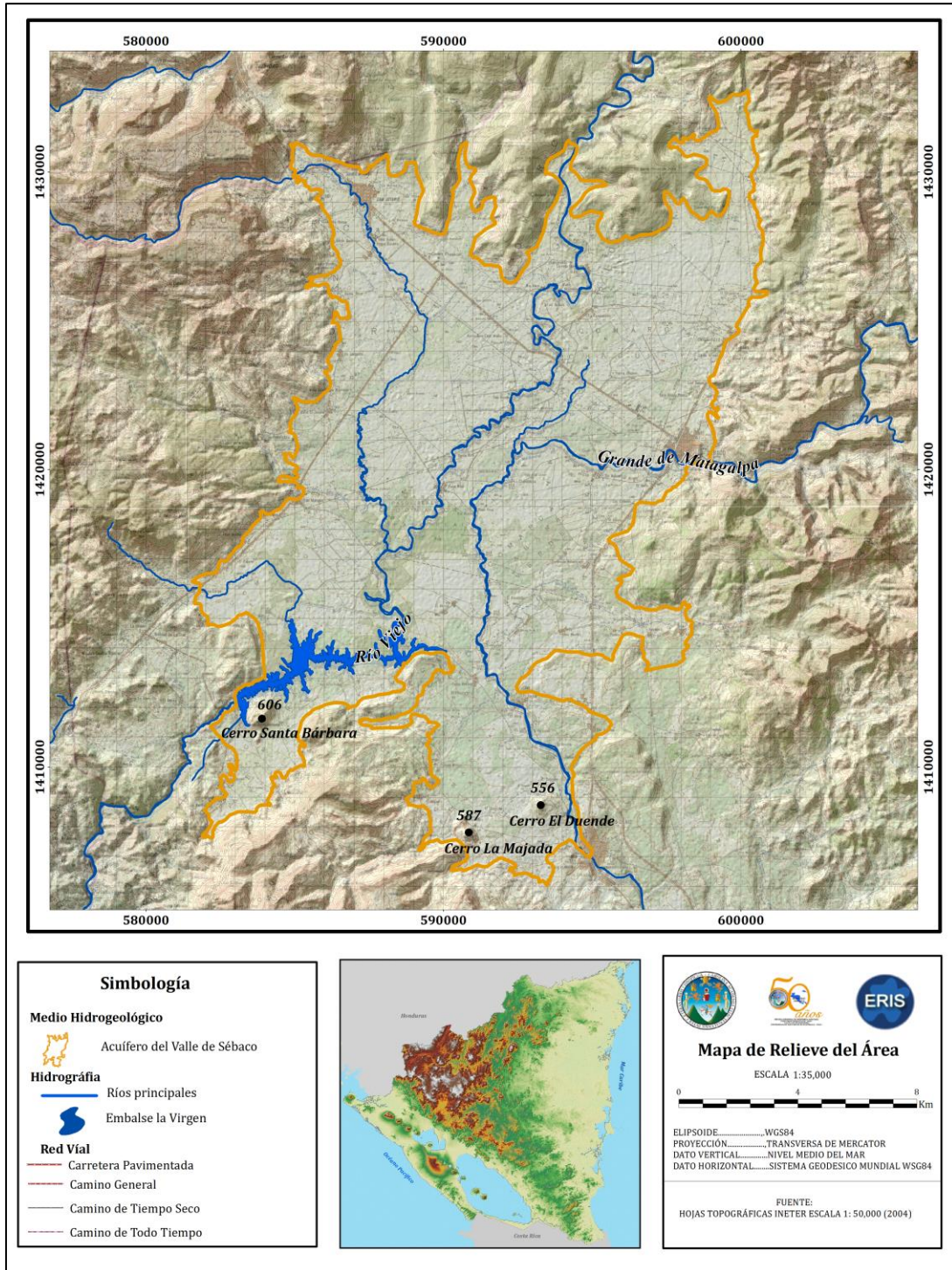


Figura 2. Mapa de provincia geo estructurales



En el extremo Sur-oeste de la cuenca se distinguen elevaciones de hasta 606 m en el cerro Santa Bárbara y en el extremo Sur-este, elevaciones de 556 - 587 m cerro Duende y cerro Majada. El valle posee dos extensos cauces por donde circulan los ríos Viejo, al Oeste, y el Grande de Matagalpa, al Este. En la figura 3, se observa que el valle es de relieve casi plano, con elevaciones que oscilan entre los 400 y 480 m s n m.

Figura 3. Relieve del área de estudio



2.3. Climatología

El clima de la región se clasifica, según Köppen, como de sabana tropical (AW) (Atlas Climático 1971-2000 del INETER). Para la valoración de las series climáticas de la zona, siendo estas representativa del clima se utilizó datos de la estación agro meteorológica (AG), Raúl González, municipio de San Isidro, con código (69132), coordenadas 587687E-1 1427597N. La estación hidro-meteorológica ordinaria (HMO) Sébaco/Matagalpa con código (55005), coordenadas 598537E- 1421186N y la estación pluviométrica (PV) Darío/Matagalpa con código (55009), coordenadas 594994E- 11406797N, sin embargo, esta dos últimas no fueron tomada en consideración por no contar con serie continuas para su respectivo análisis.

La estación Raúl González cuenta con una serie continua de 33 años (1983-2016). En la figura 4, se distingue que los rangos de precipitación son de 800-1000 mm, los cuales coinciden con los datos reportados por la estación (INETER,2016).

Los registros de los parámetros temperatura y precipitación son representados en la figura 5 y 6, con un acumulado anual de precipitación de 1149 mm anuales, siendo los mayores registros de precipitación en los meses de junio y octubre con 133 mm y 171 mm. Donde se observa que las mayores oscilaciones ocurren en el mes de septiembre y octubre.

En relación al comportamiento de la temperatura media mensual de la estación Raúl González/San Isidro, los meses con mayores temperaturas son abril con 26.8 °C y mayo con 26,5 °C y las mínimas se observan en el mes de diciembre con 24,6°C y enero con 24.3°C, con una media anual de 26.41 °C.

Figura 4. Mapa de precipitación media anual

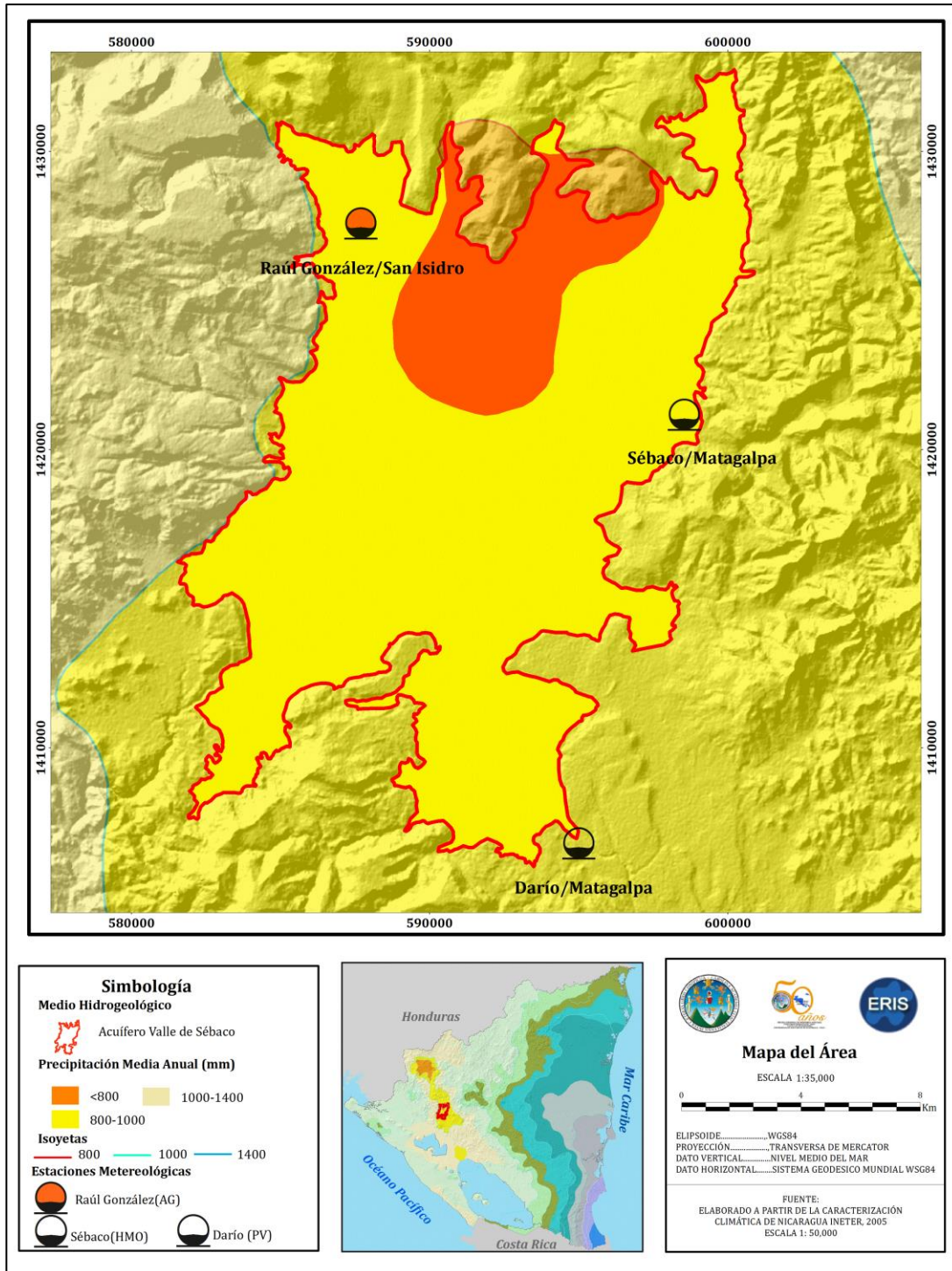
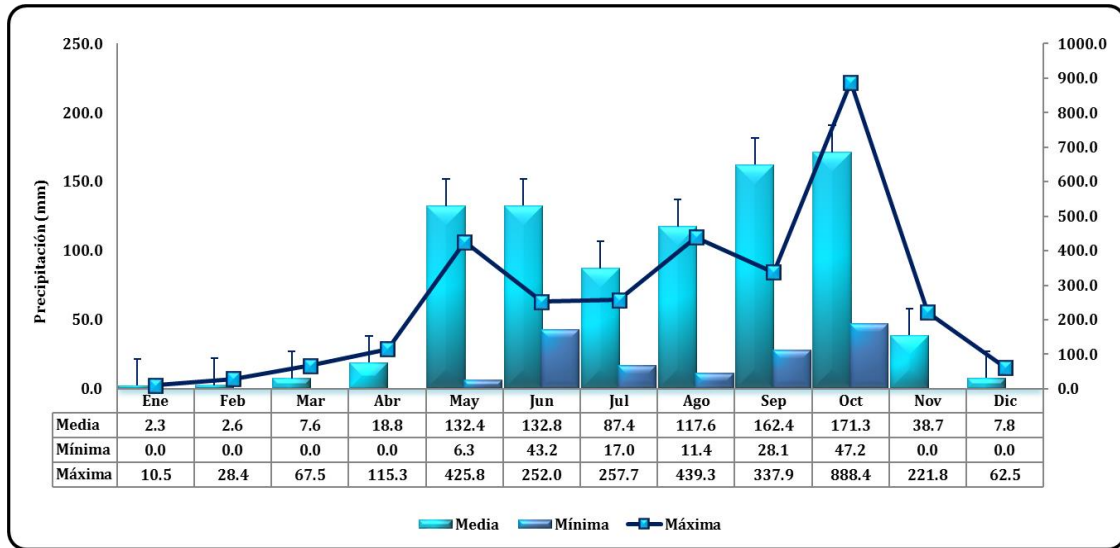


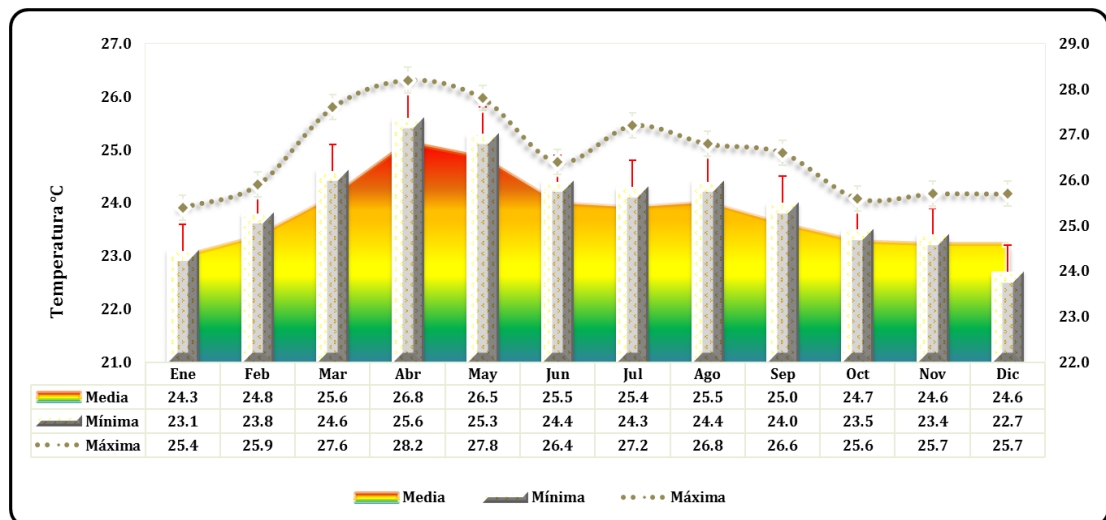
Figura 5. Precipitación media anual (mm), estación Raúl González



Fuente: elaboración propia.

En la figura 6, se observa un descenso a partir de los meses mayo a diciembre, donde disminuyen los valores de temperatura del aire, siendo los meses de julio y agosto donde se visualiza un leve aumento marcado por el periodo canicular.

Figura 6. Temperatura media anual (°C), estación Raúl González



Fuente: elaboración propia.

2.4. Geología

2.4.1. Geología histórica y estructural

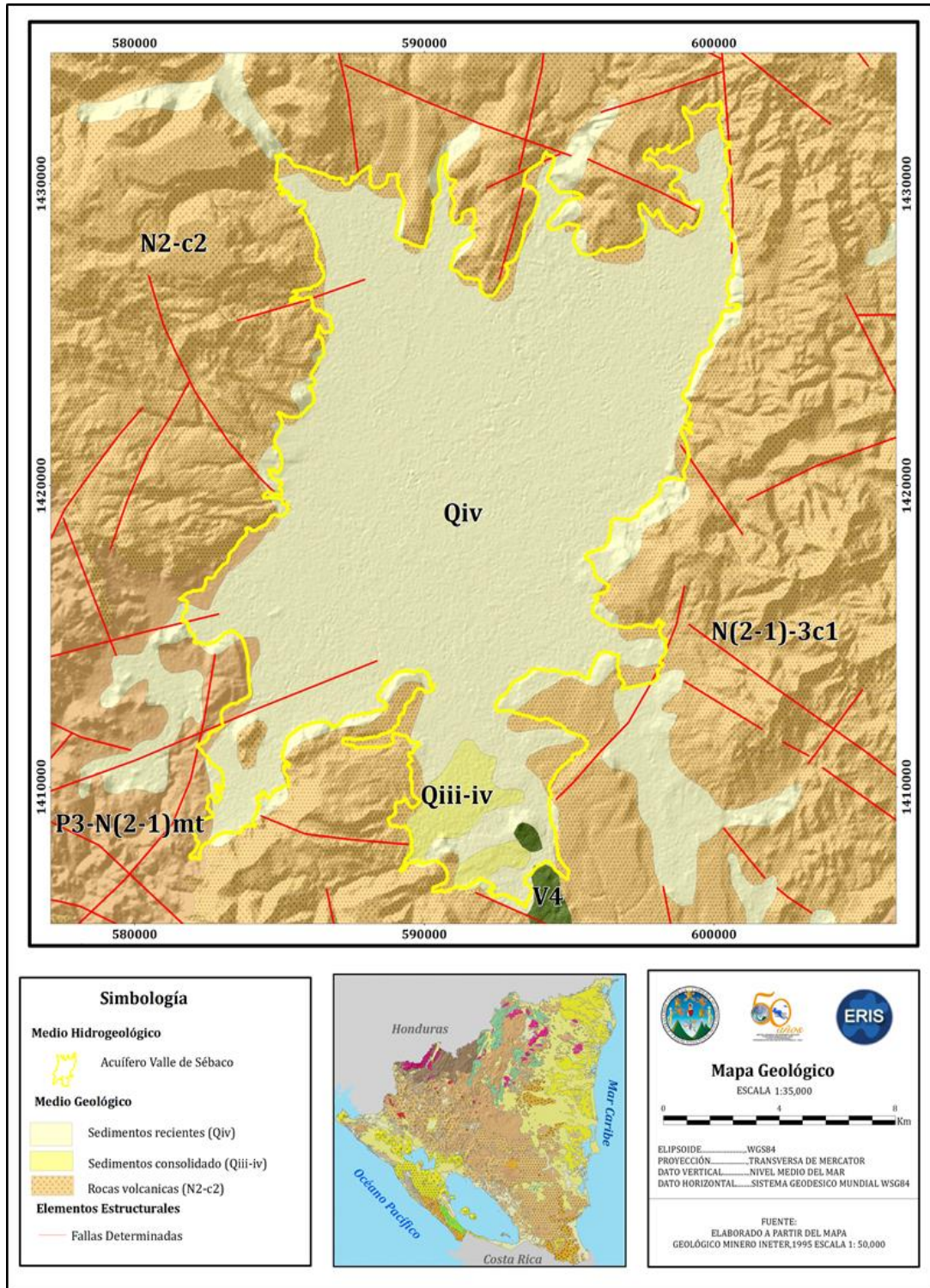
La formación de las montañas que rodean el valle aluvial de Sébaco, se debe en primer lugar al intenso vulcanismo del terciario y los movimientos orogénicos posteriores, que produjeron un intenso fallamiento agrupados en tres sistemas: Fallamiento de rumbo Noroeste – Suroeste; un segundo, de rumbo Noreste-Suroeste y finalmente uno de rumbo Norte Sur (éstas son las más recientes) (Wezel, F, 1985).

Este fallamiento ha creado una morfología de bloques escalonados, con un buzamiento general en dirección a la depresión Nicaragüense. Además, estas fallas han creado la forma actual del valle parecida a un paralelogramo. La depresión en la que se formó el valle está rellena por materiales aluviales y coluviales, provenientes de las montañas aledañas. El relleno aluvial alcanza un espesor promedio de 100 a 125 m, en el cual se distinguen tres unidades diferentes (Wezel, F, 1985), unidad superior, unidad intermedia y unidad inferior.

2.4.1.1. Unidad superior

La superficie del valle de Sébaco en su mayor parte está cubierta por capas de arcilla y limo arcilloso, depositados probablemente en ambiente lacustre y cuya parte superior constituye el suelo vegetal formado por capas de arcilla limosa y capas de limo arenoso rojizo en sus estratos inferiores. Esta unidad alcanza un espesor de unos 20 a 25 metros en el centro del valle y disminuye hacia los bordes, llegando incluso a desaparecer en algunas áreas próximas al contacto con los materiales volcánicos (Wezel, F, 1985).

Figura 7. Geología de valle de Sébaco



Los estratos de arcilla constituyen de alguna manera un revestimiento impermeable a lo largo de los dos cauces que forman los ríos Viejo y Grande de Matagalpa, que reducen la posibilidad de infiltración de agua del cauce al acuífero o inversamente infiltraciones de agua del acuífero al cauce (Wezel, F, 1985).

2.4.1.2. Unidad intermedia

Formada por cantos rodados mezclados con arenas gruesas y limo arenoso. Esta unidad se encuentra comprendida entre las capas arcillosas de la unidad superior, que la recubren y la unidad arcillosa inferior que ocupa la base del relleno aluvial. El espesor de la unidad intermedia varía entre 40 y 80 metros según las diferentes áreas (Wezel, F, 1985).

2.4.1.3. Unidad inferior

Constituidas por arcillas compactas de color gris verdoso que alcanza un espesor que varía de 40 a 70 metros con algunos lentejones de arenas gruesas. Esta unidad constituye la base impermeable de un barranco rocoso antiguo (Wezel, F, 1985).

2.5. Suelo

2.5.1. Clasificación taxonómica

Los suelos formados en el valle de Sébaco son suelos de origen aluvial, formados por el arrastre de materiales desde las partes altas a las bajas, donde se depositan en varias capas o aluviones; su fertilidad depende de su compactación y calidad de los materiales que lo integran, junto a los ríos donde se depositan lodos y limos buenos para la agricultura.

En la parte alta del acuífero del valle de Sébaco, la formación de los suelos es a partir de la meteorización de las rocas donde se formaron principalmente los suelos inceptisoles y entisoles, desarrollados a partir de los materiales que forman el relleno y su horizonte. En la parte central del acuífero predominan los suelos arcilloso – limosos, clasificados como vertisoles, representados en la figura. 8. En las entradas de los ríos al valle y sobre el lecho de éstos, se presentan suelos arenosos, con partículas de arena fina a suelos de textura gruesa; en éstos se realiza la recarga directa al acuífero y la proveniente de las montañas como escorrentía superficial.

En Nicaragua se utiliza el sistema propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, conocido como "Soil Taxonomy". La Soil Taxonomy establece seis niveles jerárquicos, de homogeneidad creciente entre los suelos incluidos en cada uno de ellos, estos niveles son los siguientes: orden, sub-orden, grupo, sub-grupo, familia y serie.

Los suelos vertisoles son suelos arcillosos de color gris o negro, que se contrae y forma grietas cuando está seco y se expande y encharca al humedecerse. Los procesos de contracción y expansión ocasionan daños a

edificaciones en carreteras. Los subórdenes del suelo vertisoles en el área de estudio son:

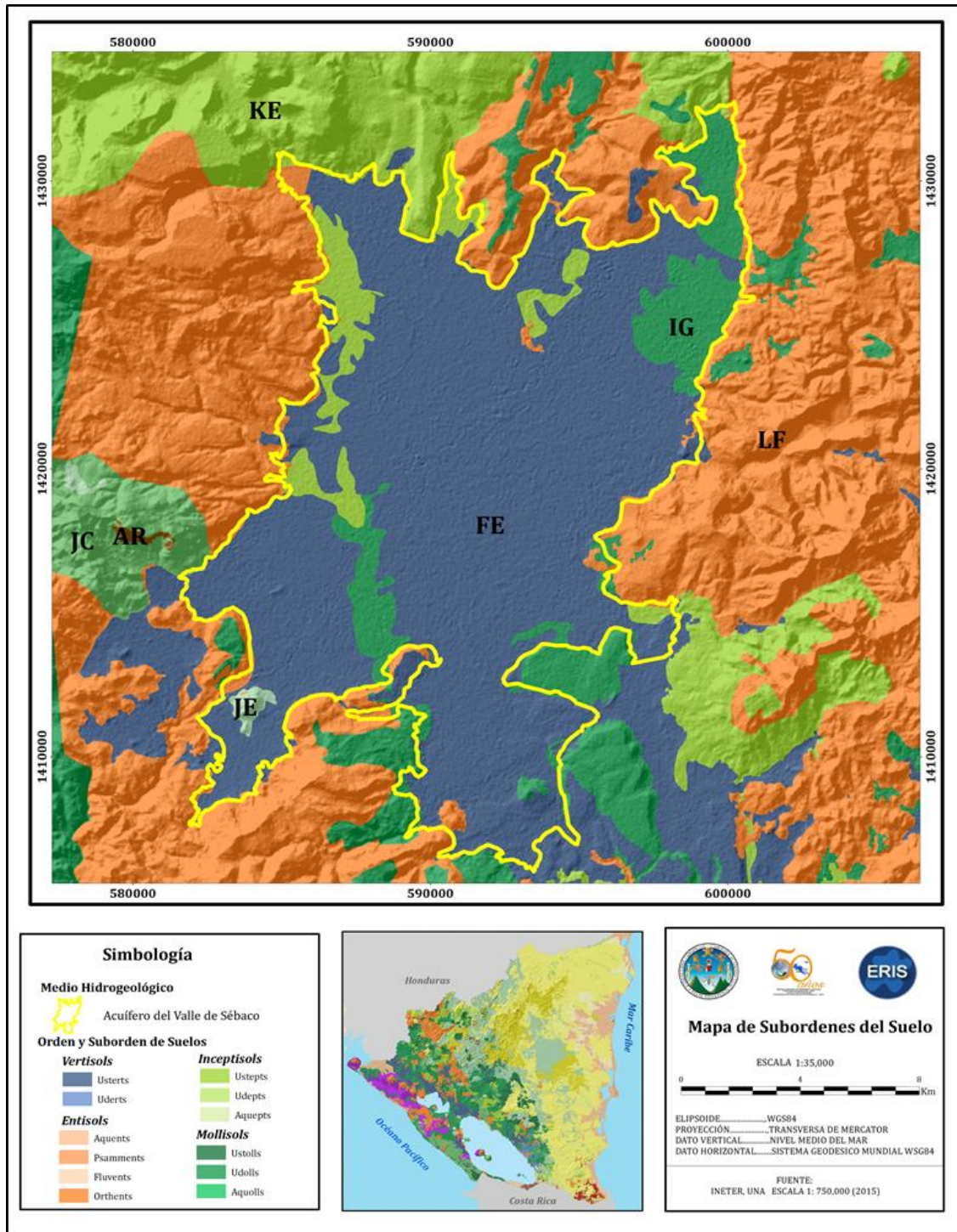
Usterts (FE): agrietamientos en la arcilla permanecen abiertos más de 90 días consecutivos en el año.

Uderts (FF): los agrietamientos en la arcilla permanecen abiertos durante períodos cortos, menos de 90 días en todo el año o 60 días consecutivos.

Los suelos Mollisoles son suelos típicos en pastizales que se presentan un horizonte superficial fértil de al menos 25 cm de espesor, con color pardo oscuro a negro, el suborden en el área es: **Ustolls (IG)**, suelos que permanece seco más de 90 días consecutivos en el año.

Los suelos Inceptisoles son suelos jóvenes con poco desarrollo. En su perfil se comienza acumular arcillas y materia orgánica, en este tipo de suelo no se presentan óxidos de hierro y/o aluminio, el suborden identificado en el área por medio del mapa: **Ustepts (KE)**, suelos que permanecen secos más de 90 días en el año.

Figura 8. Taxonómica de suelo



2.6. Uso potencial de la tierra

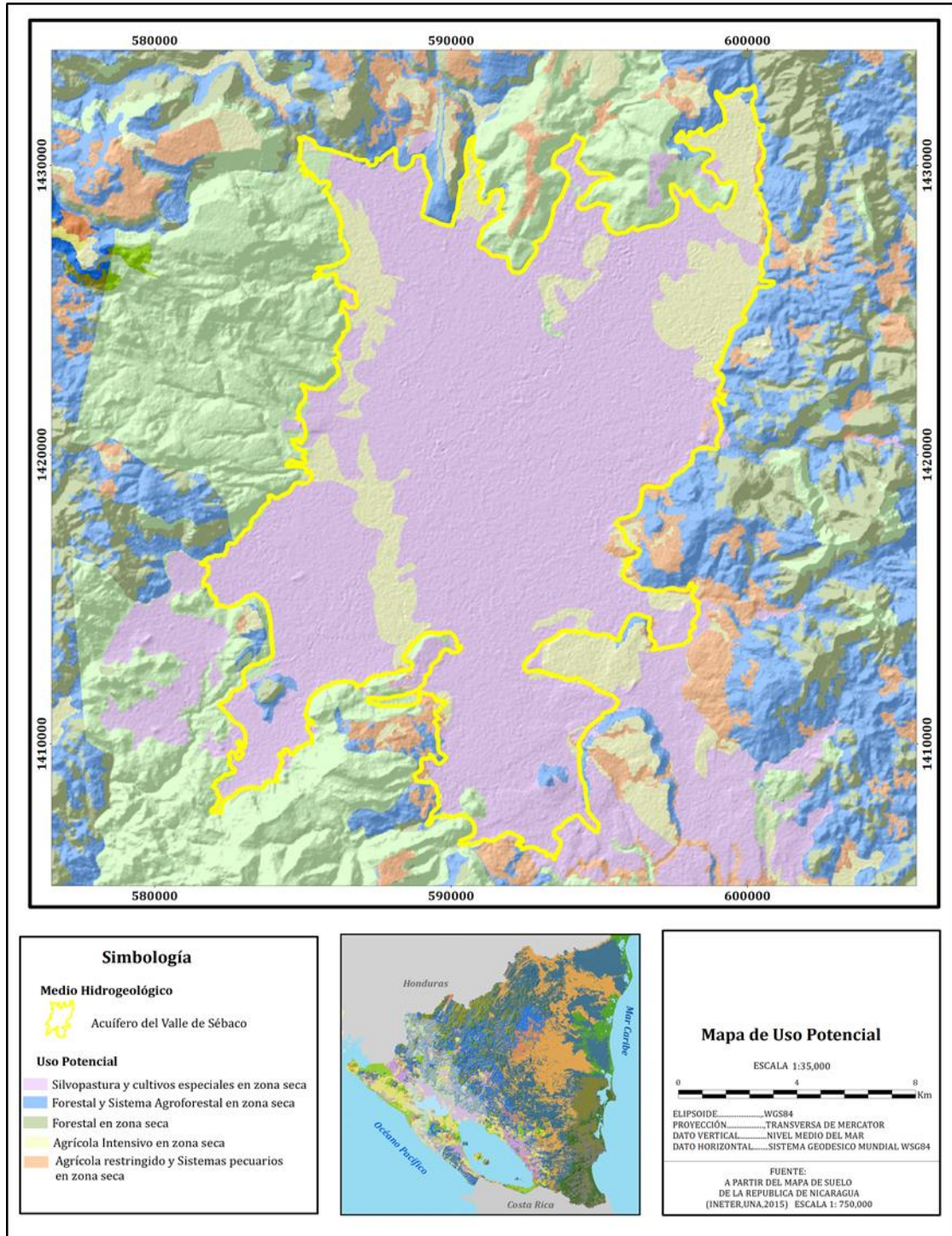
Según el mapa potencial de la tierra elaborado por del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en conjunto con Universidad Nacional Agraria (UNA), en 2015, el 79.63 % (210 km²) de la superficie del acuífero, está condicionada para practicas silvopastoriles y cultivos especiales en zonas secas con precipitaciones menores a 1,200 mm/año. Estos son suelos con alto contenido de arcilla y nivel freático a poca profundidad durante época de lluvias. Son suelos potenciales para la ganadería en silvopastura con jícara, cultivo de arroz y hortaliza.

Los diversos usos potenciales que conforman el área; es agricultura intensiva con un 15 % (40 km²), esencialmente la producción de granos básicos sorgo blanco y millón frijoles y maíz, en menor proporción se realizan prácticas agrícolas restringido y sistemas pecuarios en zona seca con un 0.90 % (2.37 km²), de la superficie del área del acuífero, los sistemas agroforestales y forestales representan el 1.25 % (3.30 km²) y 0.22 % (0.58 km²). El 2.67 % (7 km²) del área está dedicada para la protección y conservación en zona seca, su potencial es la generación de servicios ambientales y protección de los recursos naturales. La figura 9 muestra el uso potencial de la tierra.

2.7. Uso de la tierra

El municipio de Sébaco se destaca en las labores agrícola, con una participación del 60.44 % (11,377 hectáreas) de la superficie total del municipio (18,824 hectáreas). La siembra de granos básicos tiene una participación del 29.14 % del total de la superficie agrícola del municipio. En la zona se siembran principalmente, arroz de riego 53.95 %, maíz que representa el 13.70 % y frijol con un porcentaje de 26.60%, sorgo rojo 0.12 %, sorgo millón el 3.68 %, y sorgo blanco con un 1.96%, (CENAGRO, 2013).

Figura 9. Uso potencial de la tierra



2.8. Aguas superficiales

En el acuífero del valle de Sébaco, vierte sus aguas a las micro cuencas hidrográficas de dos ríos principales la cuenca hidrográfica del río Viejo que descarga en el Lago de Managua, que está dentro de la cuenca hidrográfica del río San Juan de Nicaragua y la cuenca hidrográfica del río Grande de Matagalpa que descarga al mar Caribe. Los primordiales ríos que conforman la red hidrográfica son el río viejo que sirve de frontera con el municipio de San Isidro y en la frontera con el municipio de Matagalpa, se encuentra el río Quebrada grande que descarga al río Grande de Matagalpa que cruza el municipio de Este a Oeste (ver mapa en anexo).

2.9. Hidrogeología

2.9.1. Medio hidrogeológico

El acuífero se desarrolla sobre capas de arcillas impermeables (unidad inferior) y rocas del terciario; una capa de arcilla y limo forman su techo (unidad superior) (Medina *et al* 1977). Las capas que lo recubren en la parte central del valle son impermeables, reduciendo su espesor en dirección a los bordes (Medina *et al* 1977).

En el Noreste del valle de Sébaco, el nivel estático del agua se encuentra a una profundidad de aproximadamente 30 m bajo terreno, donde los niveles estáticos son menos profundos en dirección a los ríos permanentes (río Viejo y Grande de Matagalpa), es decir, que la infiltración permanente de los ríos en estas zonas se manifiesta en un nivel freático del agua subterránea más alta (Consult, GKW, 1998).

En el tramo central del acuífero del valle de Sébaco la capa superficial de arcilla impide la recarga proveniente de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa, no obstante, en la zona de entrada del valle la infiltración de los ríos contribuye a la recarga del acuífero.

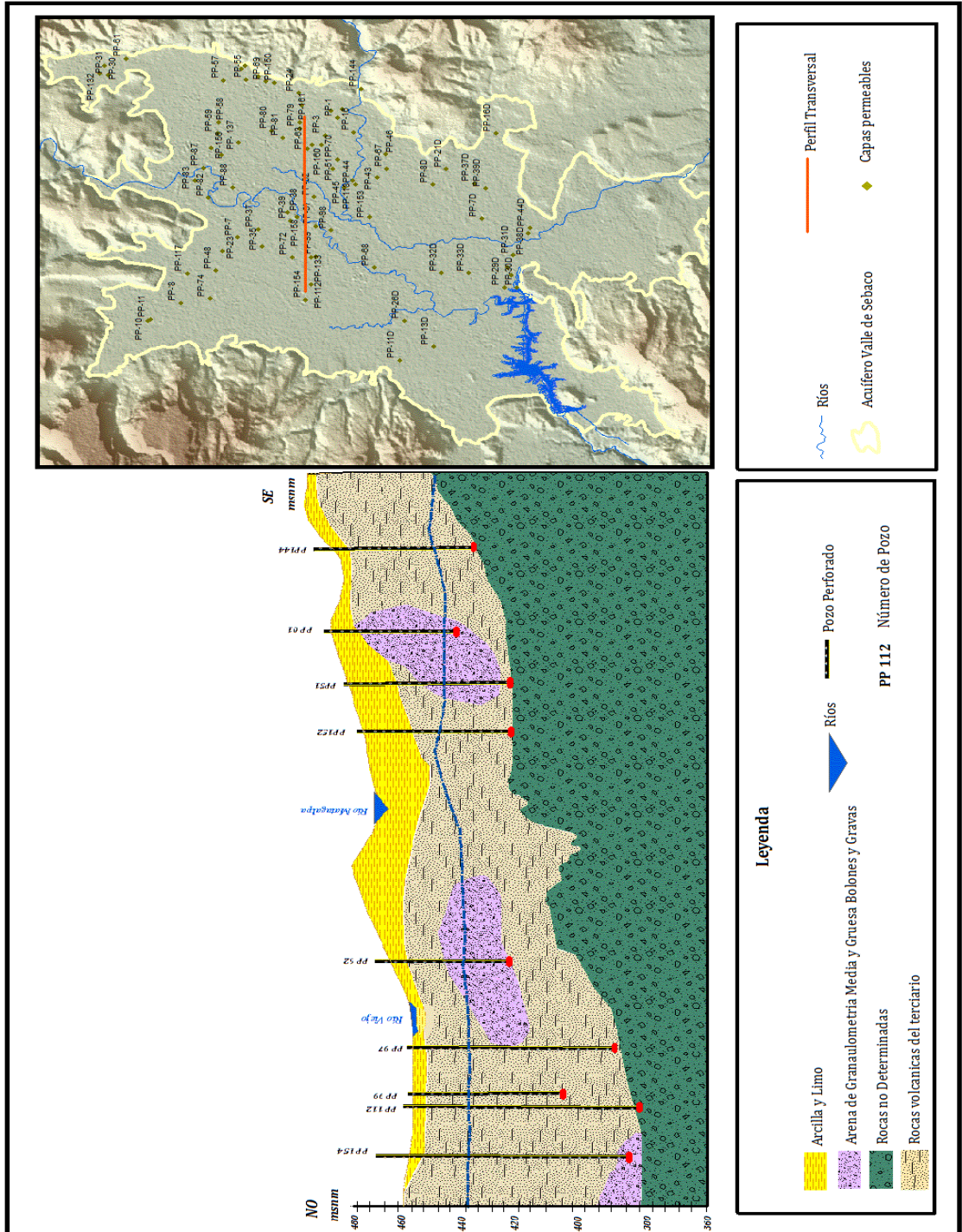
Bajo la capa de material acuífero, se encuentra una capa de arcilla acumulada en condiciones lagunares, la que se presume sirve de basamento impermeable. (Tahal Consulting Engineers Ltd. Tel Aviv, 1997), realizó tres perforaciones exploratorias en las que logró penetrar hasta la capa de arcilla, donde calculó un espesor total de 140 m, para estas tres capas.

2.10. Descripción de la litológica del acuífero

Para la definición litológica, en el estudio elaborado por Flores Meza, 2004 realizó el análisis de aproximadamente de 100 registros litológicos de los pozos presentes en el acuífero, donde trazó cuatro perfiles transversales de Oeste - Este y tres longitudinales de Norte - Sur. En este análisis identificó que los mayores espesores se localizan en la parte central del acuífero, según los registros litológicos de los pozos PP-61 con 22 m y el PP-62 con 24 m. La Figura 11 y 12, muestra el corte transversal y longitudinal del perfil hidrogeológico donde se sitúan los pozos mencionados.

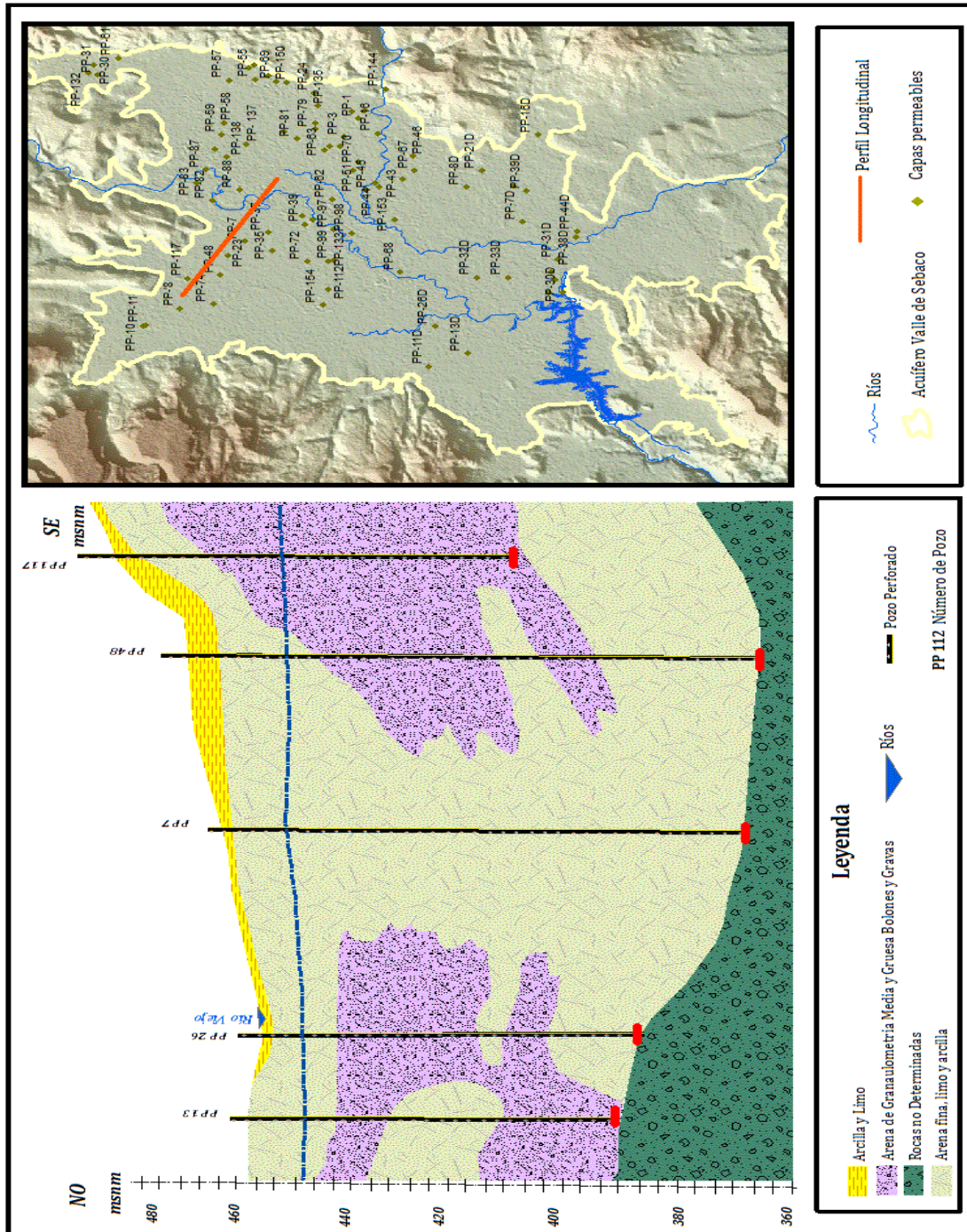
La capa acuífera está formada por arena de granulometría media a gruesa, gravas y bolones, las que confluyen con materiales finos de limo y arcilla. El medio hidrogeológico está representado por materiales sedimentarios. Es un acuífero heterogéneo, con capas intercaladas de granulometría variada desde arcilla hasta gravas y bolones. No hay una distribución uniforme de estos materiales por lo que se considera que las fuentes de deposición fueron muy desiguales, entre éstas: derrumbes, flujo de detritos, aluviales, coluviales y interdigitados.

Figura 11. Perfil hidrogeológico transversal



Fuente: tomado de Flores Meza, (2004) y reformado para el presente estudio Martínez Izaguirre, (2017).

Figura 12. Perfil hidrogeológico longitudinal



Fuente: tomado de Flores Meza, (2004) y reformado para el presente estudio Martínez Izaguirre, (2017).

2.11. Variabilidad de los niveles de agua en el acuífero

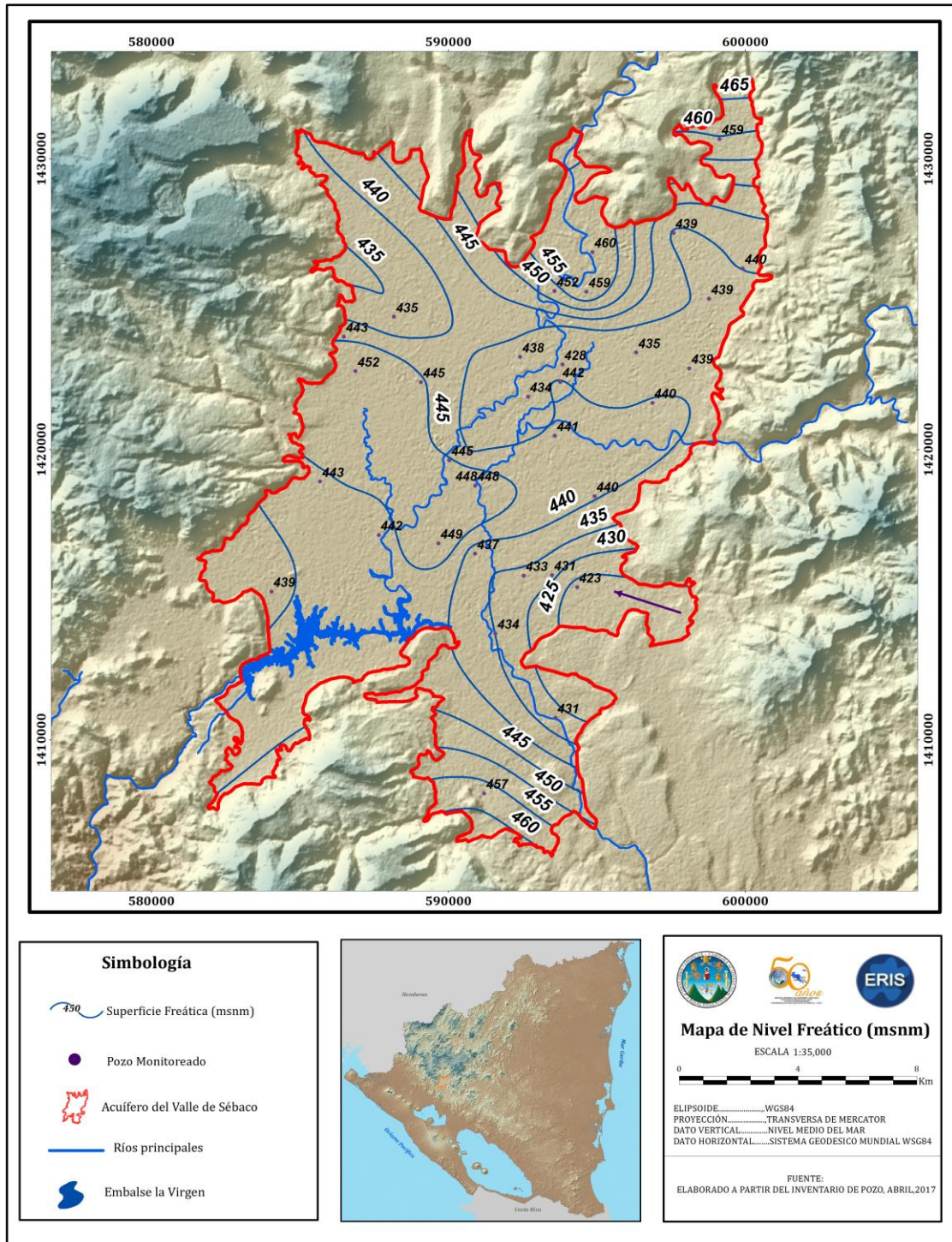
La medición de los niveles en un acuífero es una herramienta que ayuda a analizar el impacto, negativo que tienen acciones como; extracciones y, perforaciones sin sostenibilidad del recurso, sumado esto al cambio climático y eventos naturales, están afectando la producción de las fuentes de abastecimiento.

En el estudio de Flores, Meza (2004), identificó que los pozos poseen diferentes profundidades, aún ubicados en la misma zona, presentando el nivel en diversos estratos del acuífero, lo que dificulta la construcción del mapa de los niveles, sobre todo para las áreas de la zona de recarga y descarga del acuífero; donde las superficies freáticas suelen ser cóncavos en la primera y convexas en la segunda.

Para la evaluación de la superficie freática se realizó el inventario de pozo, en el cuál los niveles estáticos del agua subterránea (NEA) en el acuífero del valle de Sébaco oscilan entre 4.56 m por las cercanías de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa y 30.48 m cercano a las zonas de recarga, lo que refleja que los niveles freáticos se sitúan entre las cotas 448 – 465 msnm, este comportamiento se refleja en el mapa 13, donde se observa la variabilidad del acuífero.

Los niveles de aguas subterráneas en la parte central y baja del valle son a veces más altos o sea menos profundo que el nivel en los ríos; los ríos principales circulan sobre la capa semipermeable, manteniendo una relación con el acuífero como aportadores o influentes (Flores Meza, 2004).

Figura 13. Mapa de la variabilidad de los niveles en el acuífero



Fuente: elaboración propia.

2.12. Condiciones de recarga

En los estudios realizados en el acuífero valle de Sébaco se ejecutaron diferentes evaluaciones para determinar las condiciones de recarga del acuífero entre los que se distinguen análisis isotópicos y pruebas de infiltración de suelos. A partir de estas evaluaciones se han definidos zonas de recarga al acuífero:

En el estudio isotópico realizado por, (A, Plata, 1998) se concluyó que hay dos fuentes principales de recarga en el acuífero:

- Infiltración de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa
- Escorrentía superficial que llega al valle por los bordes del valle.

En el Proyecto de Desarrollo Industrial del valle de Sébaco (Tahal, 1977), se identificaron las siguientes fuentes de recarga:

- Desde los bordes del Valle, a través del lecho de los ríos,
- Recarga directa y recarga de retorno por riego.

2.13. Volumen de la recarga

En el valle de Sébaco como antecedentes de estudios hidrogeológicos que han estimado la recarga en el acuífero concluyen que:

- Tahal Consulting Engineers Ltd. Tel Aviv, (1997), estimó la recarga del acuífero con un total de 41 Mm³/ anuales. que corresponde a una recarga por el orden de los 156 mm, equivalente a unos 156 litros sobre metros cuadrado (l/m²). En este estudio Tahal, 1997 evaluó la recarga en los bordes del valle, la recarga por retorno por riego, la recarga por lluvia y la infiltración del lecho de los ríos y la infiltración por el embalse la Virgen.

- A, Plata, (1998), estimó la recarga total calculada mediante las técnicas isotópicas de 7.5 Mm³/ anuales, que corresponde a una recarga del orden de los 30 mm, equivalente a 30 l/m².
- Flores Meza (2004), en el estudio estimó la recarga total por precipitación directa fue de 18.43 Mm³/ anuales, la recarga por infiltración de los ríos de 0.23 Mm³/ anuales, la recarga de retorno por riego de 14.69, siendo el valor de la recarga total estimada para el acuífero de 33 Mm³/ anuales equivalentes a 125 mm (125 l/m²).

De acuerdo al balance hídrico de suelo realizado en este estudio la recarga promedio anual proveniente de las lluvias en el valle es del orden de los 70 mm equivalente a 18 Mm³/ anuales (Ver acápite 5.2). En el estudio, Flores Meza (2004), indica que la recarga debido a la lluvia es de 18.43 Mm³/ anuales es también del orden de los 70 mm. En virtud de que los dos estudios es prácticamente lo mismo, se considera razonable el valor de la recarga total reportado en el estudio de Meza de 33 Mm³/ anuales, equivalente a los 125 mm/anuales respectivamente.

2.14. Condiciones de descarga

2.14.1. Descarga natural

Tahal (1977), realizó un mapa de los niveles del acuífero donde definió dos zonas de descarga: una por el río Viejo y otra por el río Grande de Matagalpa.

En el estudio isotópicos de A, Plata, (1998), en su hipótesis considera que el acuífero descarga, a través del basamento por fallas, grietas y fracturas. establece que la descarga del acuífero es por medio de la Ciudad Darío,

identificando la zona de descarga del acuífero por el río Viejo, a través del embalse la Virgen y suponiendo una descarga a través de fallas.

En el estudio de Flores Meza, (2004), la zona de descarga del acuífero según los datos de niveles del acuífero, es a través del Embalse La Virgen y la zona de Ciudad Darío. Los niveles freáticos se presentan más altos en la esquina suroeste, provocando un flujo hacia Ciudad Darío. Esto podría deberse a la infiltración desde el Embalse La Virgen en la salida del río Viejo del Valle.

En cuanto a la recarga natural desde los ríos del acuífero al río es despreciable y puede ocurrir en tiempos muy cortos y en lugares muy localizados. Por un lado, la conductividad hidráulica del material del estrato donde se encuentran los cauces es muy bajo, debido a que predomina material arcilloso. Por otro lado, en la parte central del valle el nivel freático está por debajo del nivel del agua de los ríos, por lo tanto, no hay recarga del acuífero al río, sino más bien una descarga.

2.14.2. Descarga por pozos de bombeo

Flores Meza, (2004), identificó que la descarga de los pozos como la vía de explotación del agua subterránea, ha sobrepasado la recarga directa por precipitación, o sea que actualmente se extrae parte de las reservas del acuífero; complementada con agua de los ríos y de la infiltración por exceso de riego.

Sin embargo, otro dato importante es que en el valle de Sébaco para 1977 existían alrededor de 20 pozos que extraían un volumen aproximado de 20 Mm³/ anuales (Tahal, 1977), para el levantamiento de campo de Flores Meza en el 2002, existen más de 200 pozos perforados con un caudal total de extracción aproximado de 80 Mm³/ anuales equivalentes a 304 mm. De acuerdo del estudio de Tahal, la recarga es de 41 Mm³, (141 mm), mientras que la descarga por

extracción de los pozos para el 2002 es de 80 Mm³, lo que implica el doble de extracción y un déficit que corresponde al orden de los 170 mm.

2.15. Sobreexplotación

La ausencia de un plan de gestión hídrica en el acuífero, supone un deterioro y un uso incorrecto de sobreexplotación del recurso hídrico por parte de los pobladores que habitan en el acuífero, lo que lleva consigo varios problemas asociados.

La explotación del acuífero comenzó en 1970, con los primeros pozos ubicados sobre la carretera San Isidro-Sébaco. La tasa de extracción a finales de los 80, era de 40 Mm³/a del orden de los 152 mm, (Plata A. 1988). Para esta fecha, el descenso de los niveles era de 10 m en la parte norte del valle, mientras que la parte sur no mostraba cambios significativos Flores Meza (2004).

Los resultados de estudios anteriores en el valle de Sébaco, indican que se está extrayendo de las reservas del acuífero sin un debido control. Tomando en cuenta que la extracción a finales de los años 80 fue de 40 Mm³/a por el orden de los 152 mm y el potencial de agua para riego se había estimado en 35 Mm³/a por el orden de los 133 mm, incluyendo la explotación de las reservas, se muestra claramente la sobreexplotación del acuífero, de acuerdo a esas consideraciones Flores Meza (2004).

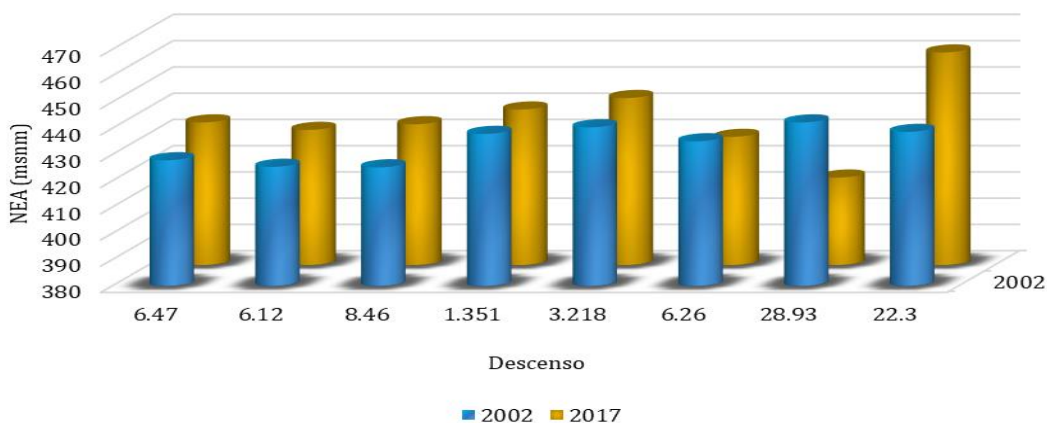
Al comparar la variación de los niveles con la explotación se observa que, al descender el nivel freático, la explotación se ve limitada disminuyendo su régimen de bombeo, por ende, la mayoría de los pozos perforados presenta afectaciones negativas en los niveles estáticos posiblemente al uso excesivo del riego, incrementados por las condiciones climáticas que afectan la zona.

Esto se comprobó mediante la medición de algunos pozos, monitoreados en el estudio de Flores Meza (2004) y la medición de pozos del presente estudio (2017), donde se observó un leve aumento de la profundidad de los niveles estáticos para el 2017, con un descenso promedio de los 1 m a 20 m, por el sector de San Isidro, Ciudad Darío y en la parte central del valle.

Tabla I **Comparación de niveles freáticos 2002 -2017 msnm**

Sitio	2002	2017	Descenso
Sabana Verde	427.	434	7
Sabana Verde	425	431	6
Sabana Verde	425	433	8
Los Polvazales	437	439	1
Las Mangas	440	443	3
Paso Real	435	428	6
Paso Carreta	442	413	29
Quebrada Honda	438	461	22

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

2.15.1. Consecuencias de la sobreexplotación

La sobreexplotación conduce a un continuado consumo de las reservas y a un descenso no estabilizado de los niveles, ante situaciones extraordinarias, como puede ser una sequía prolongada.

El efecto más directo de la sobreexplotación es el empeoramiento de la calidad química de las aguas subterráneas, donde puede haber menos disolución de las aguas antiguas almacenadas en el acuífero con las nuevas de la recarga anual, lo que favorece la concentración de sales. A esto se suma otras causas como; recarga inducida de las aguas contaminadas de los ríos a los acuíferos, ya que los ríos pasan de ser efluentes a ser influyentes y recarga inducida de las aguas contaminadas por lixiviación de los focos contaminantes situados sobre el acuífero.

La sobreexplotación puede producir riesgos geofísicos de algunos acuíferos puede inducir a la subsidencia del terreno al disminuir la presión efectiva que ejercen las aguas subterráneas, produciéndose asentamientos y colapsos de suelos.

Debido al descenso de los niveles la altura de elevación aumenta y, en consecuencia, el consumo energético también aumenta. Además, en algunos casos se puede hacer necesario reprofundizar el sondeo al ver reducido su rendimiento inicial. Otro aumento del costo sería el derivado del propio equipo de bombeo, más costoso al aumentar la altura de elevación (Pulido Bosch A. , 1985).

2.15.2. Explotación racional de las aguas subterráneas

La explotación racional de las aguas subterráneas es aquella explotación que trata de obtener los recursos de agua que se necesitan para satisfacer una determinada demanda, que es variable en el espacio y en el tiempo, de la forma más económica y garantizada posible, tanto en cantidad como en calidad, de forma coordinada y conjunta con los otros recursos de agua disponibles o desarrollables, y de forma que los efectos negativos y costes directos, indirectos,

sociales y ambientales se compensen sobradamente con los beneficios particulares y generales derivados de la explotación, en el contexto inmediato, de la generación actual y de las generaciones venideras (Custodio, 1996).

Hay muchas medidas susceptibles de aplicación, entre las que se encuentran las legales y las de carácter técnico. Dentro de las últimas parecería evidente que la medida más inmediata podría ser la reducción de las extracciones, e incluso llegar a su anulación, lo cual casi nunca es posible sin provocar consecuencias socioeconómicas muy graves (Alonso, 1989).

3. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

En el acuífero del valle Sébaco una de las principales actividades económicas la constituye el sector agrícola, el que se dedica al cultivo de arroz, sorgo, maíz y hortalizas y ganadería. Gran parte de la producción está dirigida al abastecimiento de los mercados capitalinos. Pero también se abastecen algunos supermercados locales y nacionales.

En el acuífero del valle de Sébaco, se localizan dos cabeceras municipales: Sébaco y San Isidro, con una población total de 54,506 habitantes. Este acuífero es de importancia hidrogeológica y económica, debido a que se encuentra en zona de desarrollo agrícola, a través de sistemas de riego del país.

La principal actividad económica en el municipio de Sébaco a nivel familiar es la agricultura y en menor proporción la ganadería. De acuerdo a datos obtenidos por el Ministerio Agropecuario y Forestal MAGFOR actual Ministerio de Agricultura (MAG), la producción agrícola utiliza cerca de 12,219 hectáreas, el 68.49 % para arroz con sistema de riego por inundación. El 28.93 % está destinado a la producción de granos básicos con tecnología tradicional y muy bajo rendimiento, desarrollada por productores campesinos y el 2.58 % corresponde a cultivos de hortalizas con tecnología media y uso intensivo de la tierra.

La actividad económica fundamental en el municipio de San Isidro es la agricultura, la población del municipio se dedica fundamentalmente a la producción de arroz, con el 70.5 % del total de área sembrada, su comercialización es a nivel nacional, en San Isidro, existe un total aproximado de

10,000 productores y un total de 11,900 hectáreas de tierra cultivada en los diferentes rubros de la producción.

3.1. Agua y saneamiento

El municipio de Sébaco cuenta con el servicio público de agua potable, con administración a cargo de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), la cobertura para el municipio de Sébaco, según datos del Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR, 2017), es de un 87.73 % de la cobertura de agua, y un 12.27 %, que aún no cuenta con el servicio. El total de habitantes atendidos es de 18,371 la cobertura de saneamiento es de un 87.11 % y un 12.89 % de la población que utiliza letrina.

El municipio de San Isidro, según datos del (SIASAR, 2017), posee una cobertura de un 69.98 % y un 30.02 % que aún no cuenta con el servicio de cobertura de agua domiciliar, con un total de habitantes atendidos de 9,026. La cobertura de saneamiento de un 56.97 %, y un 45.21 % de la población hace uso de letrina.

En el municipio de Ciudad Darío, la cobertura de agua domiciliar es de un 70.37 % y un 29.63 % de la población que no cuenta con el servicio. En el sistema de saneamiento en el municipio de Ciudad Darío es de un 72.99 %.

En el casco rural el medio comúnmente utilizado es el sistema de sumideros o de letrinas, no existe un sistema de alcantarillado sanitario a nivel de las comunidades; el resto de las viviendas no poseen ningún tipo de sistema sanitario, lo que conduce como consecuencia un incremento de las enfermedades diarreicas agudas.

En el municipio de Sébaco cuenta con el sistema de la laguna de estabilización para el de tratamiento de aguas residuales municipales como muestra la tabla II.

Tabla II. **Sistema de tratamiento**

Localidad	Sistema	N° de Unidades	Población servida AS*	Conexión de AS*	Medición de Caudal	Caudal m³/día
Ciudad Darío	Fosas Séptica	Tres módulos	3,000	500	Rectangular	375
Sébaco	Lagunas de Estabilización					

**AS: agua servida

Fuente: (ENACAL, 2013)

3.2. Recolección de residuos sólidos

Los municipios de Sébaco, San Isidro y Darío poseen un vertedero municipal, donde la municipalidad presta el servicio de recolección de residuos sólidos en el casco urbano. El servicio de recolección se brinda con una frecuencia de dos veces por semana, recolectando un 85 % de la basura producida. Cabe señalar que la disposición final de los desechos sólidos se realiza en lugares aislados del casco urbano, los cuales son operados manualmente.

3.2.1. Problemas del sector

Los problemas transcendentales en la recolección de los residuos sólidos es la falta de tratamiento de la basura, así como la maquinaria y equipos necesarios para mejorar la calidad del servicio, como falta de educación ambiental y sanitaria de la población.

Figura 14. **Vertedero de Sébaco**



Fuente: elaboración propia, abril, 2017.

En el casco urbano el vertedero es a cielo abierto, y no hay separación de la basura ni control de los olores, esto por otro lado genera problemas asociados a la contaminación de muchas fuentes de agua, provocando enfermedades de origen hídrico.

En las zonas rurales no se presta el servicio de recolección de basura, convirtiéndose en focos de generación de vectores de enfermedades y contaminación ambiental. En la mayoría de los casos esta basura es arrastrada por las corrientes de las lluvias en invierno terminando por depositarse en la red hidrográfica contaminando los cuerpos de agua. Por otro lado, los habitantes colectan la basura y posteriormente la queman o en su defecto, la depositan en los cuerpos de agua superficiales o a orillas del camino.

3.3. Aspectos agroquímicos

En el acuífero por muchos años se han utilizado diferentes tipos de plaguicidas en la agricultura principalmente en el cultivo de arroz y hortalizas (González Tapia, 2004).

Los plaguicidas organoclorados son muy persistentes en el ambiente; siendo altamente tóxicos para los seres humanos y los ecosistemas. En adición, debido a su baja o insignificante velocidad natural de degradación en compuestos

menos tóxicos, estos compuestos tienen baja solubilidad, tendiendo a persistir en la fase no-acuosa, adhiriéndose a las partículas de suelo y materiales geológicos.

La toxicidad de estos compuestos persistentes (individualmente o en combinación) no está completamente comprendida, ya que estos compuestos han sido relacionados con varios problemas agudos y crónicos de salud, como el cáncer, disrupción del sistema endocrino, y discapacidades de aprendizaje (UN/ECE, 1996).

Al inicio de los años 80, en Nicaragua, como en muchos otros países, se terminó, sin opción de renovación, el registro de la mayoría de los organoclorados altamente persistentes y causantes de intoxicaciones crónicas como el DDT, aldrin, dieldrin, endrin y lindano. Como consecuencia, se intensificó en el campo el uso de productos menos persistentes, pero más tóxicos (organofosforados y carbamatos), provocando altas tasas de intoxicaciones entre los trabajadores agrícolas (Beck Inge, 1996).

Las concentraciones de estos compuestos en aguas subterráneas raramente exceden 0.1 mg/L (Barbash y Resek, 1996), la elevada toxicidad de ellos ha llevado a disminuir los estándares de agua potable. Esto significa que los acuíferos someros pueden ser fácilmente contaminados por estos compuestos en concentraciones arriba de los valores permitidos por las normas de agua potable, y esta contaminación puede persistir por décadas.

En evidencia del impacto en la calidad del agua en el acuífero del valle de Sébaco producto de estos compuestos persistentes en el ambiente, ha sido determinada a través del estudio (González Tapia, 2004), donde evaluó la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa. Como conclusiones transcendentales de este estudio se destacan las siguientes:

- El 84% de las fuentes de contaminación inventariadas son de alto peligro (102 pozos), el 11 % son de moderado peligro (13 pozos) y el 5 % son de bajo peligro.
- El 40% de los pozos perforados estudiados presentaron altas concentraciones del plaguicida organofosforado Fention (11, 15 y 16 veces por encima) de las Normas CAPRE.
- Los carbamatos aldicarb, metomil y carbofurano fueron detectados en altas concentraciones en la zona alta del río Grande de Matagalpa (aldicarb 400 veces) por encima del valor guía CAPRE.
- El 25% de los pozos de abastecimiento público sobrepasaron ligeramente el valor guía para arsénico total (Normas CAPRE). Ningún sitio de muestreo presentó concentraciones de plomo que sobrepasen el valor guía para la vida acuática (CCME).
- El plaguicida organofosforado etil-paration fue detectado en el 36% de los pozos estudiados y en el 30 % de los sitios sobre los ríos, con una concentración máxima de 163 veces por encima del valor guía (Normas Europeas).

La persistencia o degradación de una sustancia química en el ambiente es un factor importante en la determinación de la probabilidad y el grado de exposición de los organismos a la sustancia de interés. Las tasas de remoción (o alteración) por procesos de degradación químicos, físicos y biológicos pueden ser usados para determinar la “vida media” del plaguicida. (Castillo *et al.*, 1995).

Por otro lado, el concepto de persistencia está a menudo relacionado con el tiempo de permanencia o residencia de un plaguicida en un comportamiento particular. A mayor tiempo de residencia, mayor es la persistencia de la sustancia. De esta manera, el grado de persistencia es expresado usualmente, como DT50 (Castillo. et al, 1995).

3.4. Impactos en la salud

Los efectos tóxicos de los plaguicidas sobre la población humana han sido motivo de preocupación por muchos años, sin embargo, los mecanismos de toxicidad de la mayoría de los plaguicidas son poco comprendidos a la fecha (Ferrer, 2003). Los efectos tóxicos producidos por los plaguicidas organofosforados y carbamatos se enfocan principalmente en el sistema nervioso, afectando las terminales nerviosas a nivel enzimático (Weiss *et al.*, 2004). Las diferentes estructuras químicas de los plaguicidas llevan a distintas y múltiples reacciones en el organismo humano, desde perturbaciones en el metabolismo, desintegración de membranas celulares, trastornos e irritaciones del sistema nervioso hasta cambios de información genética (Beck, 1997).

Según datos del Ministerio de la Salud (MINSA, 2016) las causas de consulta más frecuentes fueron: enfermedades de la piel, respiratorias, diarreicas, parasitosis, control de embarazo, crecimiento y desarrollo, atendiendo a los pobladores por problemas de envenenamientos, debido a la aplicación de tóxicos para los cultivos.

3.5. Demanda de agua

3.5.1. Demanda

El crecimiento poblacional involucra una demanda creciente de bienes naturales, como agua y suelo, donde implica una demanda para riego, de 347 Mm³/a, pecuario de 0.6 Mm³/a y uso doméstico e industrial de 7 Mm³/a. Los impactos más importantes a este recurso provienen de la sobreutilización del recurso subterráneo por medio del acuífero del valle y superficial por los ríos Grande de Matagalpa y río Viejo.

Según el informe del estado del ambiente en Nicaragua (IEA-MARENA, 2001). Los problemas de competencia entre el uso para riego en el valle de Sébaco y la generación de energía de la planta de Santa Bárbara son indicadores de la necesidad de ejercitar planes hidrológicos por cuencas.

3.5.2. Agua potable

Para el cálculo de la demanda, se utilizó la dotación propuesta por la Norma de Diseño de Sistemas de Abastecimiento y potabilización del Agua del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), que es recomendada para ciudades con poblaciones de 50,000 – 100,000 habitantes, incluyendo el porcentaje de consumo por el comercio, servicio público o institucional, a excepto del consumo Industrial que se consideró en el doble por las industrias que presentan altos consumos de agua. El porcentaje de pérdidas considerado es de un 25 % de acuerdo a la normativa de INAA, como se observa en la tabla III.

La estimación de agua potable se efectuó a partir de la proyección de la población de los municipios de Sébaco y San Isidro, por ser estos los de mayor territorio en el acuífero, la demanda se realizó a partir del 2016 al 2030, se calculó

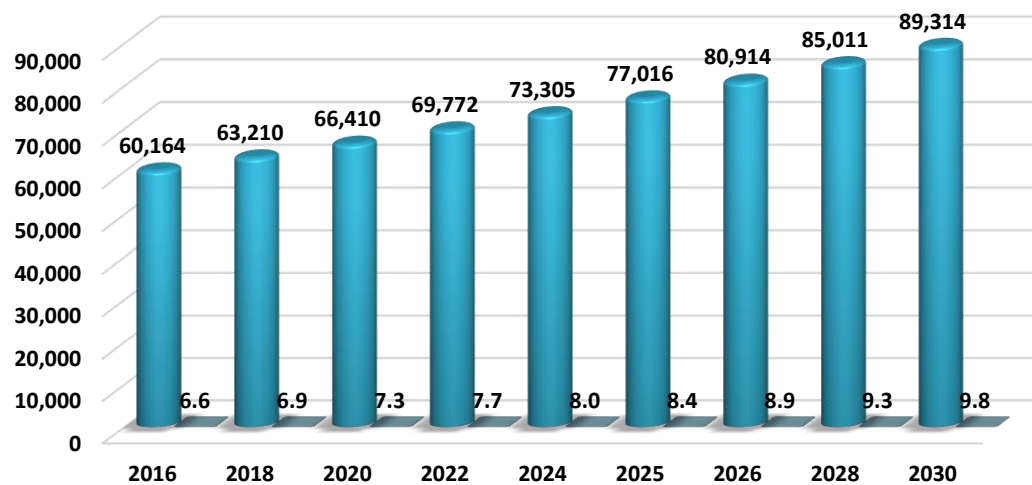
una demanda actual de 7 Mm³/a, con una dotación de 189 L / hab / día, la cual incrementará hasta 10 Mm³/a para el 2030.

Tabla III. Estimación de la población y demanda

Año	Población Estimada	Dotación (L/hab/día)	Consumo Diario Doméstico (L/d)	CDD (L/s)	Consumo Comercial (7%)	Consumo Público (7%)	Consumo Industrial (15%)	otros usos (5%)	Fugas (25%)	Consumo Per cápita Diario (L/s)	m ³ /año	Mm ³ /año
2016	60,164	189	11,371,076	132	9	9	20	7	33	209	6,599,219	6.6
2018	63,210	189	11,946,737	138	10	10	21	7	35	220	6,933,304	6.9
2020	66,410	189	12,551,541	145	10	10	22	7	36	231	7,284,303	7.3
2022	69,772	189	13,186,962	153	11	11	23	8	38	243	7,653,071	7.7
2024	73,305	189	13,854,552	160	11	11	24	8	40	255	8,040,508	8.0
2025	77,016	189	14,555,939	168	12	12	25	8	42	268	8,447,558	8.4
2026	80,914	189	15,292,834	177	12	12	27	9	44	281	8,875,216	8.9
2028	85,011	189	16,067,033	186	13	13	28	9	46	296	9,324,524	9.3
2030	89,314	189	16,880,427	195	14	14	29	10	49	311	9,796,578	9.8

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Proyección de la demanda 2016 - 2030



Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Uso agrícola

La agricultura representa la principal actividad en el valle de Sébaco, con un 64.3 % (167.2 km²), del territorio. Los cultivos anuales bajo riego representan el 47 % del área con una extensión de 123.6 km² de la superficie.

Según los resultados del IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO 2010-2011), se presenta para el municipio de Sébaco del total de la superficie que es de 18,824 hectáreas, solamente 2,227 hectáreas utilizan sistemas de riego, destacándose principalmente el sistema de riego por gravedad 2,163 hectáreas. En el municipio existen 932 extracciones agropecuarias, de las cuales 680 extracciones cuentan con alguna disponibilidad del recurso hídrico y representa el 72.96 % de las extracciones agropecuarias registradas. Entre las fuentes de agua registradas están: manantial 75 fincas, ríos/quebradas 257 fincas, 175 red pública, 198 fincas con pozos de perforación manual, 78 fincas con pozos artesanos, 3 fincas, con lagunas, 24 fincas con represas, esteros en 2 explotaciones.

Para el municipio de San Isidro, según datos de CENAGRO, del total de la superficie, que es de 21,617 hectáreas, solamente 3,025. utilizan sistemas de riego, destacándose principalmente el sistema de riego por gravedad con el cual se cubre 2,897 hectáreas. Además, en el municipio existen 1,268 extracciones agropecuarias, de las cuales 823 extracciones cuentan con alguna disponibilidad del recurso hídrico, que representa el 64.90 % de las extracciones agropecuarias registradas; entre las fuentes de agua registradas están: manantial de agua 100 explotaciones agropecuarias, seguido de ríos /quebradas 298 fincas, 326 red pública, 228 fincas con pozos de perforación manual, 44 fincas con pozos artesanos, 1 finca con lagunas o lagos, 19 con represas, 10 fincas con esteros; sin embargo, IV CENAGRO reportó que en este municipio existen 445 explotaciones que declararon no tener ninguna fuente de agua.

La demanda del consumo de agua para el sector agricultura, se determinó con base a las hectáreas cultivadas en el acuífero. Para la demanda de agua del cultivo del arroz esta se estimó, según datos del Proyecto de Validación y Transferencia de Tecnologías (PVT) y la Asociación Nicaragüense de Arroceros (ANAR), donde expresa que el arroz es el cultivo que más agua demanda, desde la preparación del suelo, hasta los 105 días después de iniciada la siembra, el arroz necesita aproximadamente 27,900 m³/ha (19,350 m³/ manzana) con el manejo tradicional en Nicaragua, con una lámina de agua de 10 – 12 cm.

Tabla IV. **Consumo de agua (m³/ha/año) en el cultivo de arroz**

Lámina de agua/año	Consumo de agua			Total, m ³ /ha/año
	Caudal m ³ /min	horas/ha	Consumo total, m ³ /año	
10 – 12 cm	3	5	930	27,900
5 – 7 cm	3	3	521	15,624

Fuente: PVT/ANAR.

Con base a los datos observados en la tabla IV se indica que para el cultivo del arroz la cantidad total de agua utilizada 27,900 m³/ha/año, durante el ciclo de cultivo, para la estimación de la demanda se tomó en cuenta los datos del uso de la cobertura de la tierra (2015), donde la cantidad de hectárea 12,364 ha, en la superficie del acuífero de los cultivos anuales bajo riego, por la cantidad del consumo de agua expresados en m³/ ha/año en el cultivo del arroz; los cuales se estima en 344,953 m³/año. Para la estimación de los cultivos anuales y huertos se estimó en base a datos de Custodio y Llamas, (1983), donde expresa en forma general, el consumo de agua neto, para los cultivos anuales en 4900 m³/ha/año y hortaliza en 8000 m³/ha/año. Estos valores multiplicados por la cantidad de la superficie de hectáreas cultivadas del tipo de clase antes mencionado los resultados se observan en la tabla V.

Tabla V. **Demanda de agua para riego**

Clase	km²	ha	m³/año	Mm³/año
Cultivos anuales bajo riego	124	12364	3449530	345
Cultivos anuales	41	4119	55297	0.1
Huertos	2	233	1865379	1.9
Total	167	16716	346877	347

Fuente: elaboración propia.

Debido a que no hay una estimación del consumo total de agua por cantidad de usuarios, este acápite se desarrolló con base al uso de la tierra de acuerdo a las hectáreas cultivadas, así mismo de información secundaria del consumo de cultivo por m³/ha/año, por lo que el consumo es de agua subterránea y superficial; la cual se podría estar aprovechando para riego agrícola en el área. Por lo tanto, es necesario realizar un inventario de los principales usuarios del recurso hídrico, para una adecuada gestión y procurar el aprovechamiento sostenible en el acuífero.

3.5.4. Uso pecuario

La demanda de agua en el uso pecuario, se estimó de acuerdo al IV Censo Nacional Agropecuario CENAGRO, (2013), dicho informe correspondiente a los municipios de Sébaco y San Isidro.

Según datos de CENAGRO (2013), la actividad pecuaria, el municipio de Sébaco cuenta con una superficie de 7,135 hectáreas dedicadas a esta actividad, lo que representa el 37.90 % de la superficie registradas del municipio. La población de ganado bovino es de 9,700 cabezas que se encuentran en 525 fincas. La población de aves registradas es de 16,516, y la población porcina con un total de 471 cabezas, que se encuentran en 308 explotaciones agropecuarias.

Según datos de CENAGRO, (2013), la población de ganado bovino en el municipio de San Isidro es de 11,337 cabezas que se encuentran en 751 fincas. En la población porcina con un total de 1,135 cabezas, y el registro de la población de aves es de 23,497 y se encuentran en 1,020 explotaciones agropecuarias.

El IV Censo Nacional CENAGRO, (2013), reporta que el crecimiento anual del ganado bovino es de 6.15 %. Para la producción de porcino es de 23 % y de aves se estimó en base al crecimiento anual de 6 %. Con estos datos se obtuvo la población pecuaria con la demanda de agua diaria por animal se obtuvo el consumo mensual y anual.

En cuanto a la dotación de agua por animal se considera que un bovino consume de 25 a 50 l/animal/día y cerdos de 10 - 20 l/animal/día. (Colacelli, 2014). La OPS/OMS en la guía técnica sobre saneamiento, agua y salud, refleja las cantidades mínimas de agua necesaria para uso doméstico, en donde establece una dotación de 20-30 l/animal/día para ganado, 10-20 l/animal/día para cerdos y 10-20 l/100 aves/día. Bajo estos criterios se procedió a estimar la demanda. (Tabla VI).

Tabla VI. **Consumo de agua del sector pecuario**

Pecuario	Q (l/animal/día)	Cantidad (2011)	Cantidad 2016	Total, mes (m³)	Total, anual (m³)
Bovinos	50	21,037	28,800	43,199	518,394
Porcinos	20	1,606.00	1,828	1,097	13,159
Aves (Grupos de 100)	15	4013	5,458	2,456	29,471
Total, m³				46,752	561,024
Total, Mm³				0.05	0.56

Fuente: elaboración propia, con base a CENAGRO (2013).

El consumo de agua en el sector pecuario se estimó en 0.05 millones de metros cúbicos mensual para un total anual de 0.56 millones de metros cúbicos anuales.

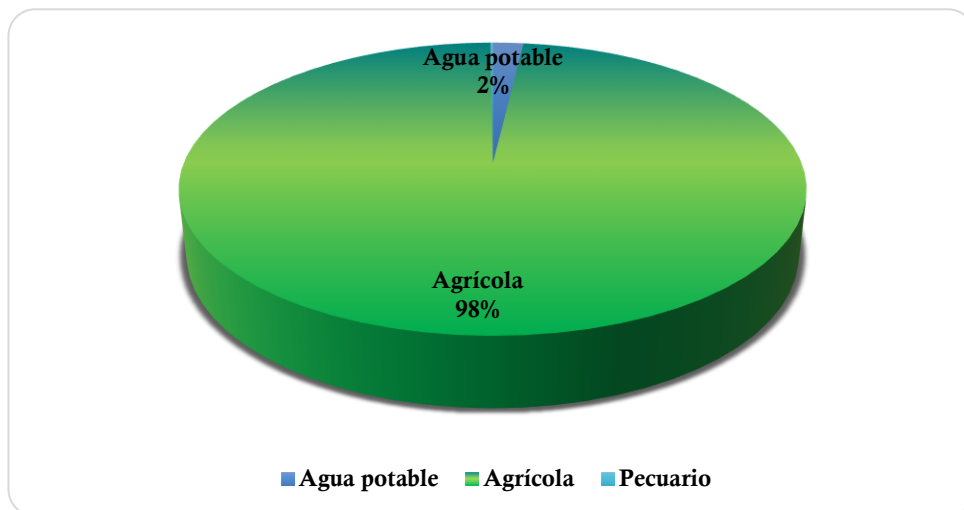
El consumo total actual del acuífero en función de los usos es de 354 Mm³ /anuales. El uso pecuario está compuesto por el consumo de bovino, porcinos y aves. (Tabla VII).

Tabla VII. **Consumo de la demanda**

Consumo	m ³ /año	Anual (Mm ³)
Agua potable	6,599,219	7
Agrícola	346,873,857	347
Pecuario	561,024	0.6
Total		354

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Demanda**



Fuente: elaboración propia.

3.6. Conclusiones de los aspectos socioeconómicos

En este documento se abordó los aspectos socioeconómicos, donde se puede apreciar, las problemáticas presentes en el acuífero, donde es evidente que hay un 25 % de la población que carece de sistemas de saneamiento adecuado, lo que conduce a un incremento de las enfermedades diarreicas agudas.

Partiendo del análisis de la demanda de agua potable en función de la tasa de crecimiento de la población para un período de diez años del censo Nacional 2005, y basado en una tasa de 2.5 %, se estimó que para el 2030 en el acuífero, se considera una población de 89,314 habitantes, con una demanda de 9.8 Mm³/anuales. Si se considera una dotación menor de 150 L/hab/día, el consumo de agua en el acuífero para el 2030 será aproximadamente de 7.8 Mm³/anuales.

Con base a la estimación de agua para riego, es evidente que en el cultivo de arroz se necesitan 27,900 m³/ha/año, con la lámina de riego tradicional de 12 cm, sin embargo, la Asociación Nicaragüense de Arroceros (ANAR), destaca la importancia del uso eficiente del agua en el cultivo del arroz, es por ello que el departamento técnico de ANAR sugiere que una buena nivelación es aquella que establece láminas de agua de 5 a 7 cm, con lo cual se obtienen mejores y mayores beneficios que láminas arriba de 10 cm.

Según la FAO (2002), las instituciones de riego deben adoptar una orientación de servicio y mejorar sus resultados en términos económicos y ambientales. Esto presupone la adopción de nuevas tecnologías, la modernización de la infraestructura, la aplicación de técnicas y principios administrativos mejorados y la promoción de la participación de los usuarios del agua. Las instituciones del sector de riego deben relacionar su tarea central de provisión de servicios de riego para la producción agrícola e integrar la demanda

y el uso del agua con otros usuarios a nivel de cuenca. Un mejor conocimiento del agua de las cascadas y del flujo a través de todo el ambiente y la circulación del agua subterránea dentro de los acuíferos llevará a tomar decisiones bien fundamentadas sobre el uso y la reutilización del agua en la agricultura.

El Manejo Integrado de los Recursos Hídricos fue presentado como el marco para la planificación, organización y control de los sistemas hídricos para equilibrar las opiniones y los objetivos de todos los participantes importantes (Grigg, 1999). Esta definición incluye dos dimensiones de interdependencia: social - equilibrio entre opiniones y objetivos de los participantes- y ecológica - manejo de sistemas de agua por múltiples usuarios. En el pasado, el agua tenía dos objetivos principales: domésticos y producción de alimentos para una creciente población. Hoy día, con la competencia existente por el agua, esos objetivos simples no son aceptables FAO (2002).

Los defensores del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos opinan que un cambio hacia un sector de riego más sostenible depende del buen funcionamiento de las asociaciones de usuarios del agua. Sin embargo, iniciar la fundación de esas asociaciones ha sido difícil; antes de que puedan ser establecidas exitosamente es necesario, por lo menos, evaluar los recursos hídricos, asignar derechos de agua a los legítimos usuarios y definir instituciones para la administración de los derechos del agua. Los conflictos de intereses entre los distintos participantes en el manejo del agua hacen difícil y costoso satisfacer esas tres condiciones para que la asociación de usuarios tenga éxito. Más aún, hay una creciente evidencia de que el manejo del riego transfiere riesgos que agravan la pobreza rural, excepto cuando se diseñan e implementan modalidades favorables a los grupos de menores recursos (Van Koppen *et al.*, 2002).

Uno de los puntos más importantes referidos a la base de recursos es la sobreexplotación de las aguas subterráneas, algo que en muchas regiones parece ser insostenible. Al discutir el manejo sostenible de los recursos hídricos subterráneos, se ha sugerido que la explotación de esos recursos más allá de su posibilidad de recarga puede ser justificable si inicia el desarrollo sostenible al usar los ingresos generados por el bombeo del agua subterránea con propósitos útiles. De cualquier manera, la aplicación de las ganancias de la tecnología de ahorro de agua, la reforestación y otras actividades a largo plazo se pueden acreditar como una contribución a la sostenibilidad (Kinzelbach y Kunstmann, 1998; Barker *et al.*, 2003).

4. METODOLOGÍA

Para la estimación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero de valle de Sébaco, se utilizó el método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), el cual depende de siete factores relevantes.

El otro componente de acuerdo a la caracterización del área y de los resultados del diagnóstico, se elaboró la propuesta de un plan de gestión integrada del recurso hídrico, con base a los problemas identificados en el acuífero, para establecer propuestas de protección y un uso eficiente del recurso hídrico.

4.1. Método DRASTIC

Debido a que el acuífero del valle Sébaco, dispone de la información necesaria para aplicar el método y porque en este régimen se llevan a cabo actividades antrópicas que pueden deteriorar la calidad natural de las aguas, es necesario establecer mapas de vulnerabilidad por medio del método DRASTIC, este método se aplica independientemente del contaminante potencial.

En la tabla VIII, se observa que el método considera siete parámetros o variables cuyas iniciales en inglés dan nombre al método DRASTIC.

Tabla VIII. **Parámetros DRASTIC**

Parámetro	
D	<i>Profundidad del agua subterránea</i>
R	<i>Recarga neta</i>
A	<i>Medio del acuífero</i>
S	<i>Medio del suelo</i>
T	<i>Topografía</i>
I	<i>Impacto de zona vadosa</i>
C	<i>Conductividad hidráulica</i>

Fuente: elaboración propia.

Cada una de estas variables está dividida en una serie de intervalos, a los cuales se le asigna una puntuación que varía entre 1 y 10, siendo el valor 10 el de máxima vulnerabilidad. La puntuación correspondiente a cada variable se multiplica por un factor de ponderación de grado de importancia comprendido entre 1 y 5. El índice de vulnerabilidad obtenido es el resultado de sumar los productos de los diferentes parámetros por su índice de ponderación:

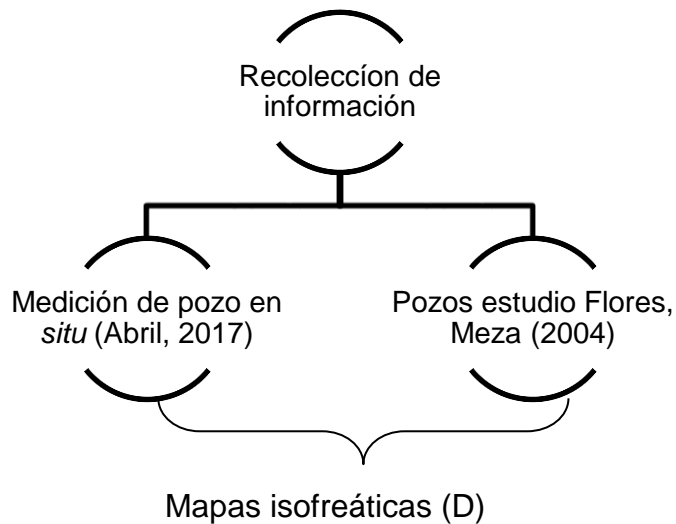
$DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw = \text{Índice de vulnerabilidad}$. Siendo “r” el valor obtenido para cada parámetro y “w” el índice de ponderación.

Los distintos pasos metodológicos seguidos en el presente trabajo han sido: recopilación de la información necesaria para la obtención de los diferentes parámetros aplicados por DRASTIC de la siguiente manera.

4.2. Profundidad del agua (D)

Para la determinación del nivel del agua subterránea se utilizó la información de pozos medidos *in situ* en abril del 2017, así como la recolección de información de mediciones realizadas en otros estudios para la comparación de niveles.

Figura 17. Metodología profundidad del agua



Rangos de clasificación correspondiente del método DRASTIC, para la variable de profundidad.

Tabla IX. Profundidad (Dr)

Profundidad (Dr)	
Profundidad (m)	Valoración D _r
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	1

Fuente: método DRASTIC.

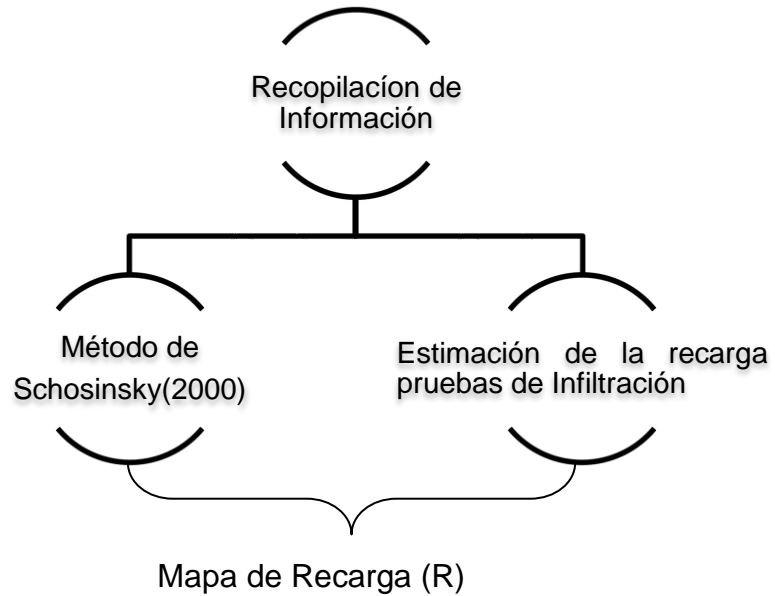
4.3. Recarga neta (R)

La recarga potencial para la zona de estudio se determinó por medio de los registros de precipitación y temperatura de la estación Raúl González, así mismo se utilizaron los datos de la tasa de infiltración para el análisis de la recarga potencial, para ello se calculó la evapotranspiración potencial (ETP) con el método de Hargreaves (1975).

Para determinar la recarga potencial del acuífero se consideraron diversas variables que influyen en la recarga; como la precipitación mensual, capacidad de infiltración de los suelos, cobertura vegetal, profundidad de raíces evapotranspiración real y pendiente del terreno.

Se realizaron nueve pruebas de infiltración para determinar la capacidad de infiltración del acuífero, por medio del permeámetro de Guelph, el cual consta de dos tubos, que actúa como depósito de agua y otro de menor dimensión que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener una carga hidráulica constante, este método permite decretar la tasa o velocidad de infiltración presente en el suelo, la que fueron utilizadas para la estimación de la recarga potencial por medio del balance hídrico de suelos propuesto por (Schosinsky & Losilla, 2000).

Figura 18. Metodología de la recarga neta



Rangos de clasificación correspondiente del método DRASTIC, para la variable de la recarga.

Tabla X. Clasificación variable (Rr)

Clasificación Variable (Rr)	
Recarga (mm)	Valoración R _r
0-50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
> 254	9

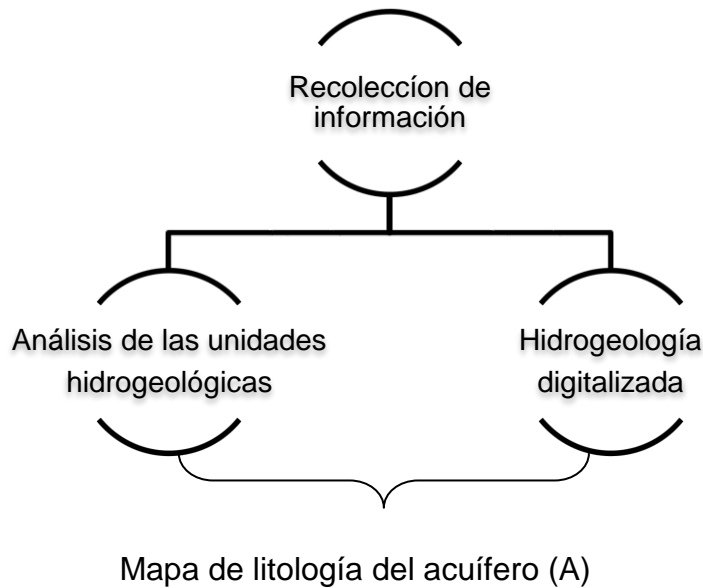
Fuente: método DRASTIC.

4.4. Medio del acuífero (A)

El medio del acuífero se refiere a la clasificación por medio de la formación litológica del acuífero, el cual se caracterizó para el presente estudio por medio

del mapa geológico local de la zona de estudio, así como la descripción litológica de pozos presentes en el valle de Sébaco en el estudio de Flores Meza, (2004).

Figura 19. **Metodología del medio del acuífero**



Rangos de clasificación correspondiente del método DRASTIC, para la variable de medio del acuífero.

Tabla XI. **Litología del acuífero (Ar)**

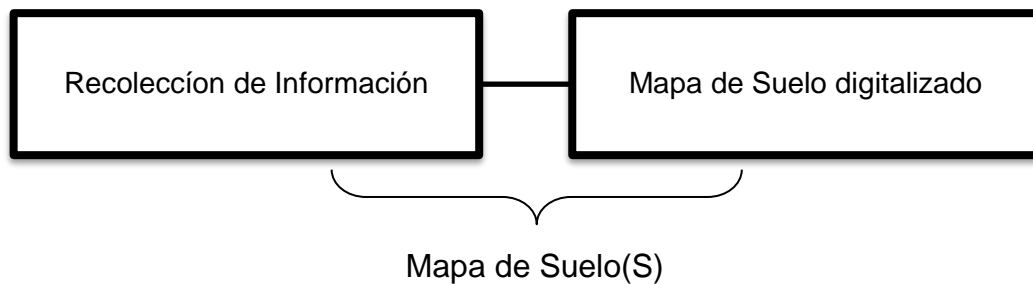
Litología del acuífero (Ar)	Valoración Ar	Valor típico Ar
Lutita masiva	1-3	2
Metamórfica/Ígnea	2-5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3-5	4
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	4-6	6
Arenisca masiva	5-9	6
Caliza masiva	4-9	6
Arena o grava	4-9	8
Basaltos	2-10	9
Caliza kárstica	9-10	10

Fuente: método DRASTIC.

4.5. Medio del suelo (S)

Este parámetro se obtuvo por medio del mapa de suelos en el marco del programa regional REDD CCAD GIZ a escala 1: 750.000, elaborado en INETER en la unidad de suelos, dirección general de ordenamiento territorial en colaboración conjunta con la Universidad Nacional Agraria (UNA).

Figura 20. Metodología del medio del suelo



Rangos de clasificación correspondiente del método DRASTIC, para la variable de medio del suelo.

Tabla XII. Medio del suelo (S_r).

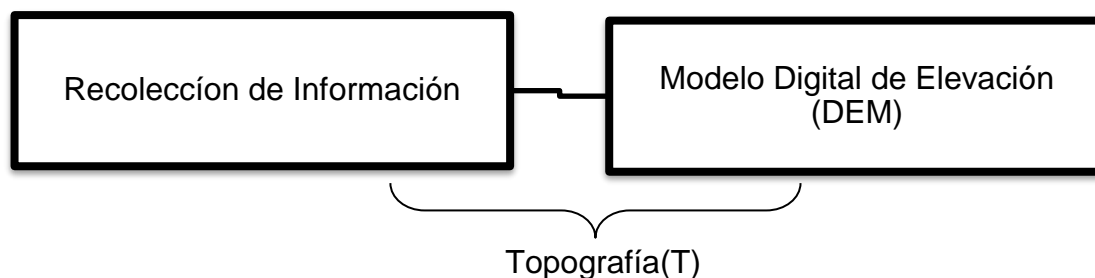
Tipo de suelo (S _r)	Valoración S _r
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Fuente: método DRASTIC.

4.6. Topografía (T)

Con el software ArcGis 10.3, la topografía se obtiene a partir del modelo digital del terreno (DEM), debido a que sus unidades de medida son m s n m, y por ende su conversión a un archivo raster de pendiente esto se realizó con la herramienta de análisis espacial del Arcgis llamada slope.

Figura 21. Metodología de la topografía



Rangos de clasificación correspondiente del método DRASTIC, para la variable de topográfica.

Tabla XIII. Clasificación variable (Tr).

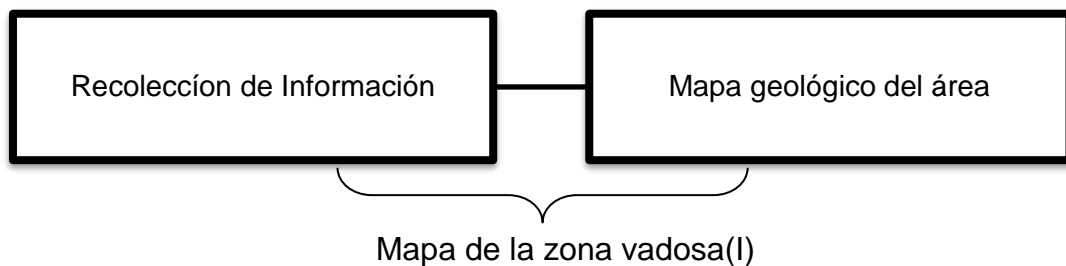
Clasificación Variable (Tr)	
Pendiente (%)	Valoración Tr
0-2	10
3-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Fuente: método DRASTIC.

4.7. Impacto de la zona vadosa (I)

El análisis de la zona vadosa, al igual que el parámetro del medio del acuífero, se realizó con apoyo del mapa geológico del área de estudio y con la elaboración de los perfiles hidrogeológicos en el estudio de Flores Meza (2004). Donde realizó el análisis de aproximadamente de 100 registros litológicos de los pozos presentes en el acuífero, en el cual trazo cuatro perfiles transversales de Oeste - Este y tres longitudinales de Norte – Sur.

Figura 22. Metodología de impacto de la zona vadosa



Rangos de clasificación correspondiente del método DRASTIC, para la variable de impacto de la zona vadosa.

Tabla XIV. Impacto de la zona vadosa (I_r)

Clasificación Variable (I _r)		
Naturaleza de la zona no saturada	Valoración I _r	Valor típico
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-6	6
Arenisca	2-7	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4-8	6
Arena o grava	4-8	6
Metamórfica/Ignea	2-8	4
Grava y arena	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza kárstica	8-10	10

Fuente: método DRASTIC.

4.8. Conductividad hidráulica (C)

La conductividad hidráulica es la propiedad que tiene un medio poroso y/o fracturado, en permitir la circulación del agua, a través de si por unidad de tiempo y bajo un gradiente hidráulico determinado. La condición que controla la conductividad hidráulica, es el grado de interconexiones entre los espacios vacíos en el medio acuífero, ya sea de porosidad primaria o secundaria (conexión intergranular).

Esta información fue sustraída de las conductividades hidráulicas del estudio de Flores Meza, (2004), y se toman como valores medios de las unidades hidro estratigráficas del acuífero.

Figura 23. Metodología de la conductividad hidráulica

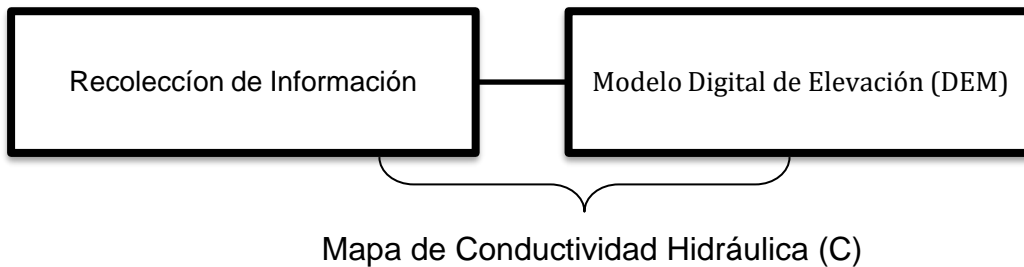


Tabla XV. Clasificación de la conductividad (Cr)

Clasificación Variable (Cr)		
Conductividad hidráulica		Valoración Cr
m/día	cm/s	
0,04-4,08	$4,6 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08-12,22	$4,7 \cdot 10^{-3}$ - $1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22-28,55	$1,4 \cdot 10^{-2}$ - $3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55-40,75	$3,4 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75-81,49	$4,7 \cdot 10^{-2}$ - $9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	$> 9,5 \cdot 10^{-2}$	10

Fuente: método DRASTIC.

4.9. Propuesta de un plan de gestión

Este plan es una herramienta que pretende crear condiciones para la sostenibilidad de los recursos hídricos, al mismo tiempo crear capacidades técnicas en gestión a las instituciones que inciden en el área y población en general, el que incluirá la atención de los inconvenientes identificados en el estudio, en base a información disponible y los problemas identificados en campo.

5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

5.1. Profundidad del agua (D)

La profundidad del agua es un factor importante debido, a que la zona no saturada representa la más importante defensa natural contra la contaminación del agua subterránea. Cuanto mayor es la profundidad del nivel del agua, más largo es el tiempo de tránsito del contaminante, desde la superficie hacia el acuífero. Generalmente, la capacidad de atenuación aumenta con la profundidad del agua.

Mediante las mediciones de los pozos en el mes de abril del 2017, tal cual contiene la profundidad del agua subterránea con respecto al nivel del terreno, los niveles monitoreados oscilan desde los 3 m –31 m de profundidad. En el acuífero del valle de Sébaco se obtuvieron cinco rangos de profundidad y un valor de calificación en dependencia de la escala de profundidad que varía desde 1 a 7, y un peso de 5 de acuerdo a la metodología DRASTIC.







- Los rangos de profundidad de 3 a 10 m se sitúan por el sector del embalse la Virgen y ciudad Darío, en la parte sur del acuífero, para este rango se aplicó la calificación de 7 con un peso de 5, obteniendo como resultado un Valor Numérico DRASTIC (VND) de 35.
- La escala de profundidad de 11 -17 m, con respecto al nivel del terreno se localiza desde las comunidades de Monte Grande hasta río Viejo, cubriendo la extensión noroeste del acuífero, para este rango se aplicó la

calificación de 5 con un peso de 5, obteniendo como resultado un valor numérico DRASTIC de 25.

- Los rangos de profundidad de 18 a 23 m, con respecto al nivel del terreno se sitúan en el sector este, identificándose focos de igual profundidad en la parte central y oeste del acuífero, para este rango se aplicó la calificación de 3 con un peso de 5, obteniendo como resultado valor numérico DRASTIC de 15.
- Los rangos de profundidades 24 y mayores de 35 m, se localizan al este del acuífero, donde se aplicó la calificación de 2 y 1 con un peso de 5, obteniendo como resultado un VND de 10 y 5.

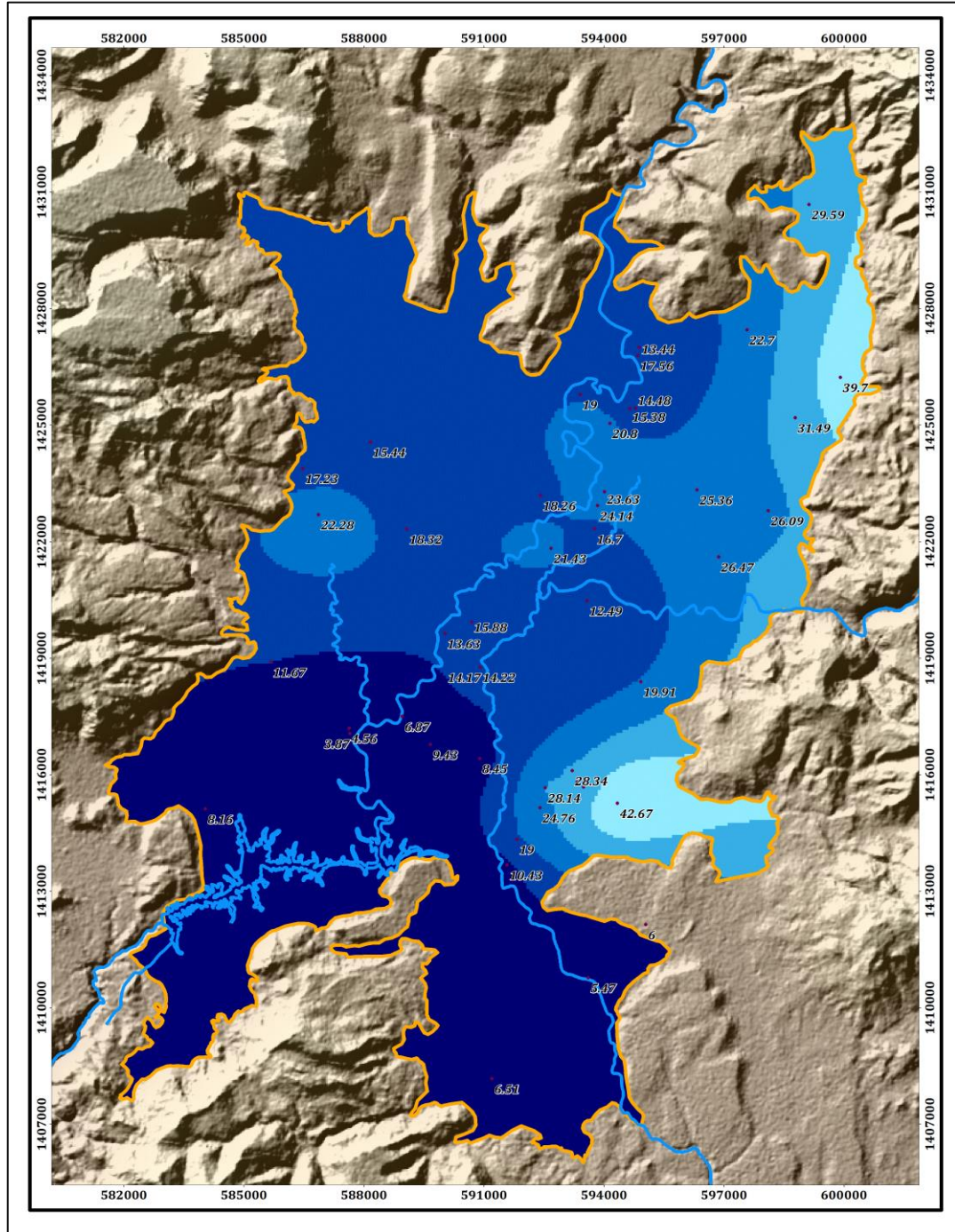
La tabla XVI y figura 24 muestra la forma de clasificación y ponderación a cada pozo donde se le asignó su correspondiente valor de la variable D.

Tabla XVI. **Clasificación de la profundidad del agua**

<i>Clasificación variable "D"</i>				
<i>Escala de Profundidad(m)</i>	<i>Calificación</i>		<i>Peso</i>	<i>Valor numérico DRASTIC (VND)</i>
3– 10	7		5	35
11 -17	5		5	25
18-23	3		5	15
24-31	2		5	10
>35	1		5	5

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Mapa de profundidad (D)



Fuente: elaboración propia.

5.2. Recarga neta (R)

Este parámetro considera la cantidad de agua anual que penetra la superficie por unidad de área, expresada en mm/año. La recarga directa del acuífero valle de Sébaco se determinó por el método del balance hídrico de suelos, el cual considera varios factores como la precipitación, la evapotranspiración, pendiente topográfica, textura de los suelos, capacidad de infiltración y la profundidad de raíces de los cultivos.

La capacidad de infiltración de los suelos es un elemento importante en el método del balance hídrico de suelos, ya que permite determinar el porcentaje de infiltración efectiva de la lluvia y la recarga., donde se utilizó la metodología propuesta por (Schosinsky & Losilla, 2000), para el cálculo de la recarga potencial del acuífero, por medio de nueve pruebas de infiltración en las unidades de suelos del área.

La variación en los valores de la recarga depende principalmente de la capacidad de infiltración de los suelos y del grado de compactación de los mismos. En la tabla XVII, se muestran los datos de recarga.




Los suelos arcillosos cubren la mayor parte del área con 210 km² y una recarga de 52 mm. Las mayores recargas se generan en las cercanías de los pies de montaña y el lecho del río debido al materiales franco arenosos

Tabla XVII. **Recarga en el acuífero**

Textura	Área Recarga (km ²)	Recarga (mm)	Recarga Anual (m ³)	Recarga Anual(MMCA)
Franco arcilloso	210	52	10908456	10.91
Franco arenoso	16	153	2388847	2.39
Franco arcilloso, Arenoso	27	119	3235985	3.24
Franco arcilloso, Arenoso	9	150	1397181	1.40
Franco	1	100	143194	0.14
TOTAL	263	69	18073662	18.07

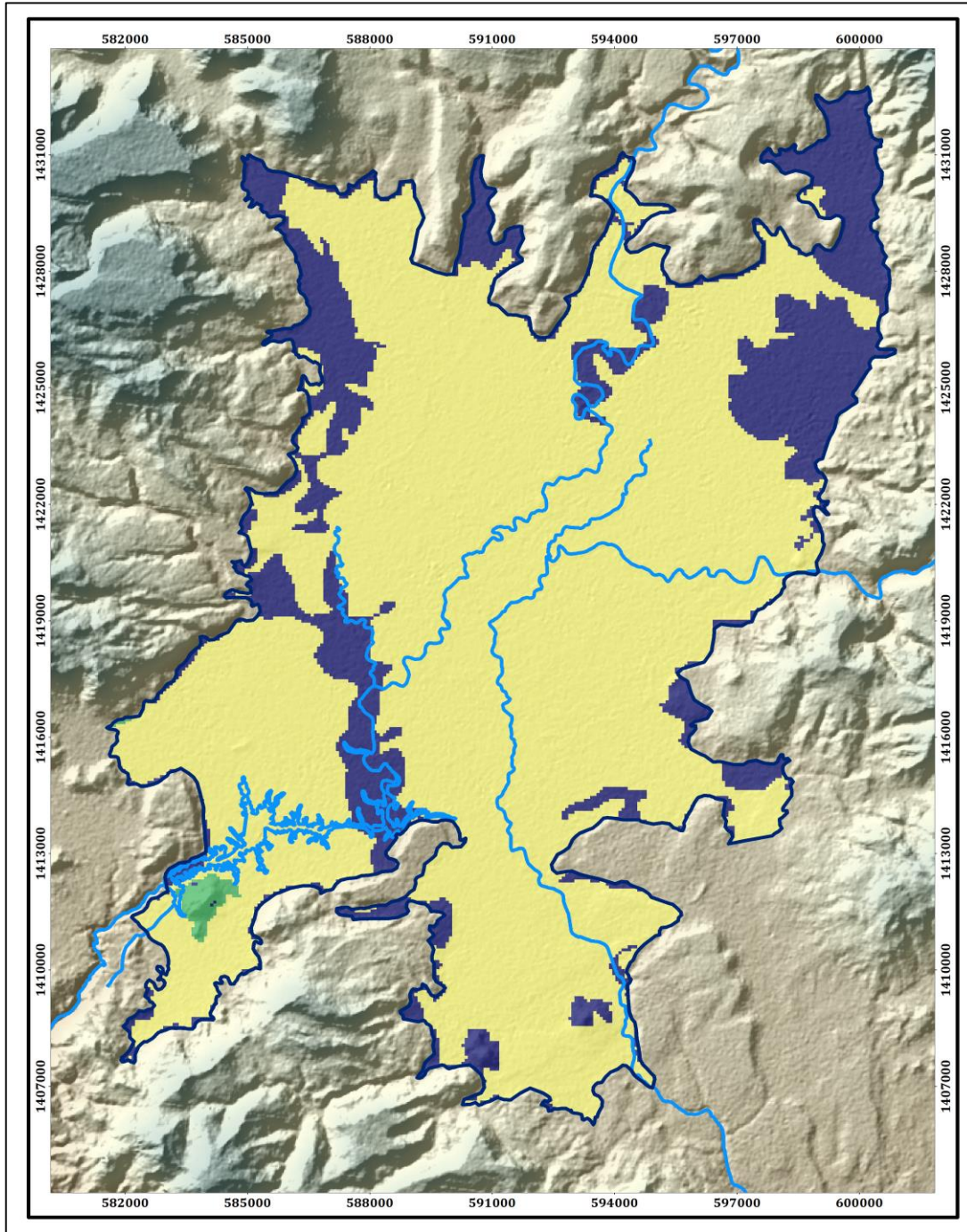
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Clasificación de la recarga**

<i>Clasificación variable "R"</i>				
<i>Escala de Recarga</i>	<i>Calificación</i>		<i>Peso</i>	<i>Valor Numérico DRASTIC (VND)</i>
0-50	1		4	4
50-100	3		4	12
100-150	6		4	24

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Mapa de la recarga (R)



Fuente: elaboración propia.

5.3. Medio del acuífero (A)

Para la evaluación del medio del acuífero se valora la litología que lo constituye, considerándose que ha mayor granulometría y fractura, mayor permeabilidad y, por tanto, un grado de vulnerabilidad ante la contaminación más elevado.

El tipo de material que compone el acuífero afecta directamente al flujo dentro del mismo. A la vez, la velocidad y la trayectoria que sigue un contaminante están gobernadas por el flujo. La velocidad determina el tiempo disponible para que los contaminantes se vean afectados por los procesos de atenuación y la trayectoria se relaciona con el área de material con que entra en contacto. En un medio granular, a mayor tamaño de grano se tiene mayor permeabilidad. Por lo tanto, la capacidad de atenuación es menor cuanto mayor sea la granulometría. En un medio fracturado, la vulnerabilidad está en función del grado de facturación. Al ser este parámetro difícilmente cuantificable, DRASTIC asocia rangos de puntajes a los distintos tipos de formaciones geológicas que conforman el acuífero.

Para analizar este parámetro se tomaron en cuenta los cortes hidrogeológicos realizados durante el estudio de Flores Meza (2004), y la geología local de la zona de estudio por medio del mapa geológico minero 1: 500.000, INETER, (1995).

El material geológico predominante es el cuaternario aluvial que cubre alrededor del 95.1 % (240.9 km²) de toda el área de estudio (ver Tabla XIX). Este tipo de material está compuesto por texturas: arcillas, arenas finas, arenas de grano fino, arcillas y arenas de grano grueso y arcillas arenosas, y por lo tanto posee un mayor potencial de contaminación debido a su menor capacidad de atenuación cuando el agua ingresa.

El segundo material geológico predominante, con un 8.5 % (22.4 km²) de la superficie total, corresponde al tipo de material de ignimbritas lavas basálticas menos predominante en la zona.



Tabla XIX. **Litología del acuífero**

Litología del acuífero	Área (km²)	%
Sedimentos recientes y consolidados: guijarros, arenas, suelos arenosos, arcillas	240.9	92
Rocas volcánicas: ignimbritas, brechas dacíticas, riolitas, lavas basálticas-andesíticas y piroclastitas ignimbritas y areniscas	22.4	9
Total	263.3	100

Fuente: elaboración propia.

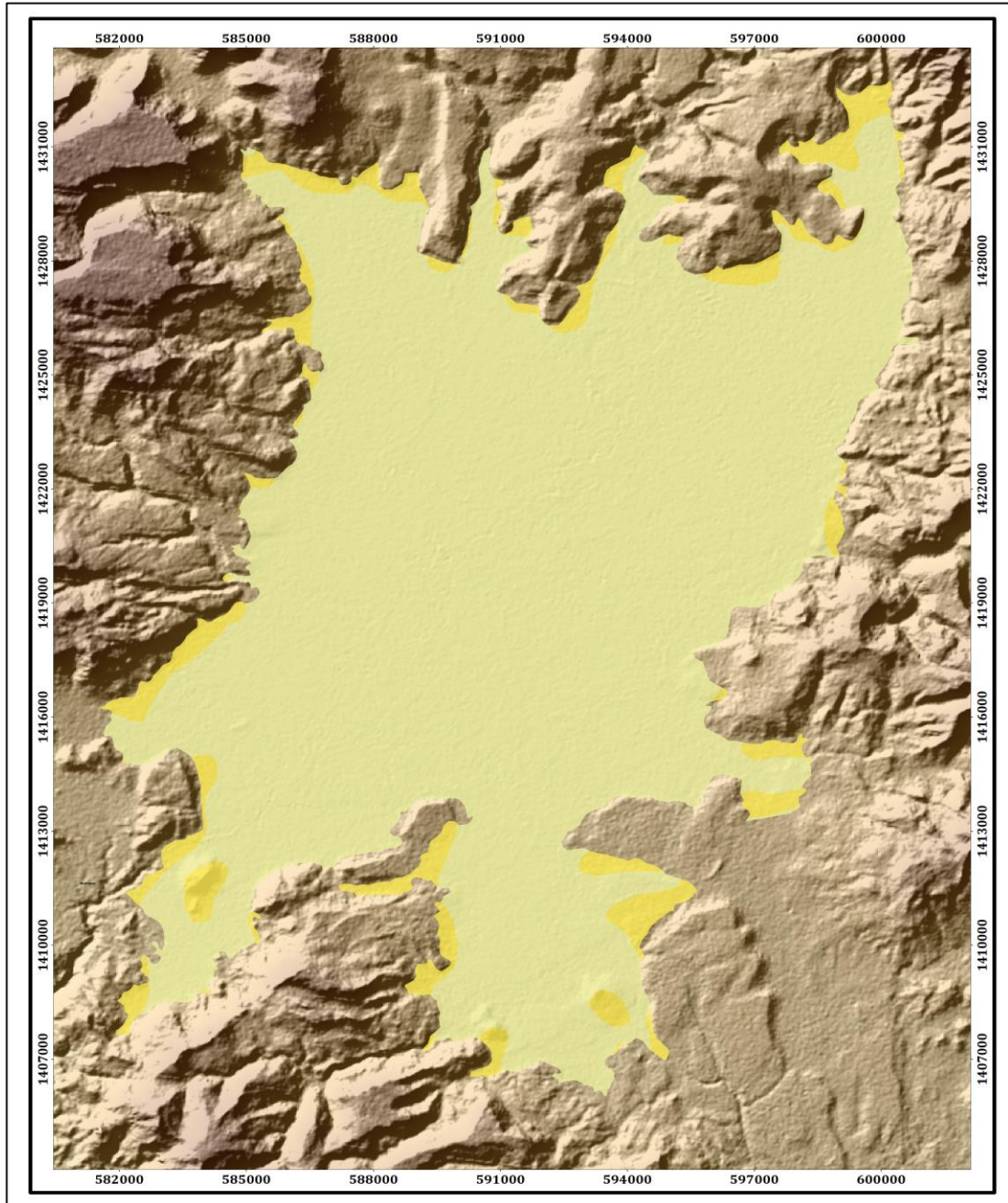
En la Tabla XX, se presenta los puntajes a asignar dependiendo del tipo de la litología presente en el acuífero en estudio. El parámetro de material del acuífero recibe un valor DRASTIC 7 y 9 respectivamente.

Tabla XX. **Medio del acuífero**

Clasificación Variable "A"			
Litología	calificación	Peso	VND
Guijarros, arenas, suelos arenosos, arcillas	7	 3	21
Lavas basálticas, andesitas, riolíticas-dacíticas aglomerados	9	 3	27

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Medio del acuífero (A)



Fuente: elaboración propia.

5.4. Medio del suelo (S)

El tipo de suelo predominante es el vertisoles con un 79.7 % (209.7 km²) del área de estudio, y una calificación DRASTIC de 5, este tipo de medio está conformado por textura muy fina que actúa como una capa impermeable. Esta característica hace que el transporte de contaminantes desde la superficie del suelo hacia el manto acuífero sea más lento (Rahman, 2008).

Los suelos mollisoles representa en el área de estudio el 10.3 % (27.19 km²), con una calificación DRASTIC de 7, seguido de los suelos inceptisoles con el 5.9 % (15.61 km²) y una clasificación DRASTIC de 8. En menor proporción lo suelos alfisoles y entisoles con el 0.5 % y 3.5 %, con una calificación DRASTIC de 9 y 7.






Tabla XXI. **Porcentaje del orden de suelo en el área**

Orden	Área	%
Vertisol	209.7	79.7
Mollisol	27.19	10.3
Alfisol	1.43	0.5
Inceptisol	15.61	5.9
Entisol	9.3	3.5
Total	263	100.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al tipo de suelo este influye en el desplazamiento vertical del contaminante hacia el acuífero.

Tabla XXII. **Clasificación del tipo de suelo en el área de estudio**






Tipo de Suelo	Materiales en Área de Estudio	Calificación	Peso	VND
Vertisol	Franco arcillosos arenosos y aluviales	5	 2	10
Entisoles	Arcilloso	6	 2	12
Mollisol	Franco arcilloso con grava	7	 2	14
Alfisol	Arenosa	9	 2	18
Inceptisol	Franco arenoso a arcilloso	8	 2	16

Fuente: elaboración propia.

5.5. Topografía (T)

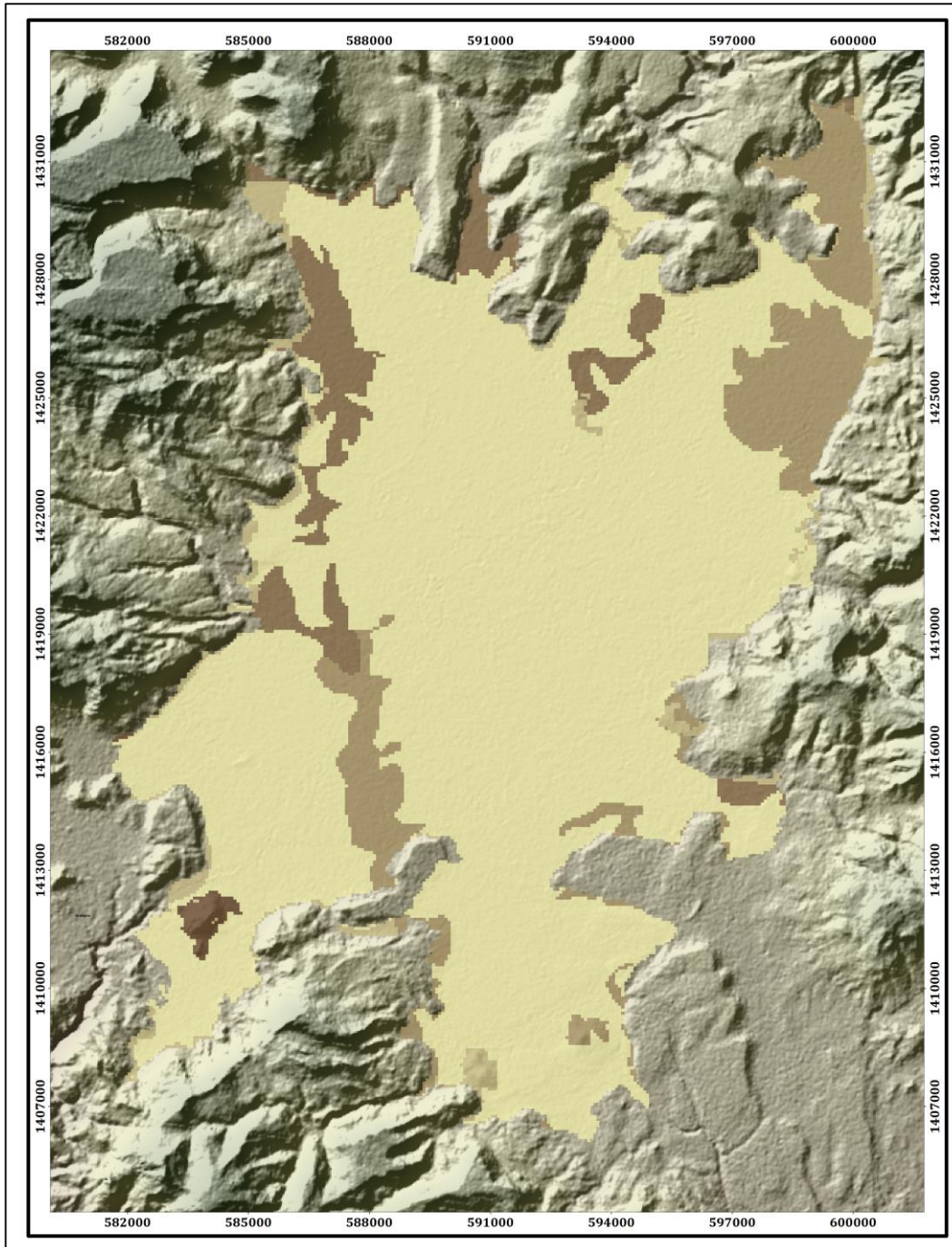
La pendiente influye en el tiempo de permanencia del agua sobre la superficie del suelo, lo que permite la infiltración del contaminante hasta el acuífero, la topografía es la variación de la pendiente del terreno y se expresa en porcentaje. Las pendientes menores favorecen la potencial contaminación, porque habría mayor infiltración a causa del bajo escurrimiento superficial. Utilizando el mapa geomorfológico del terreno se obtuvieron cinco rangos de pendientes, en figura 28, que se definen a continuación.

Tabla XXIII. **Clasificación de la variable topográfica**

Clasificación Variable (Tr)				
Escala (%)	Calificación		Peso	VND
0 – 5	10		1	10
5-7	8		1	8
7-12	5		1	5
12-31	2		1	2
31 -41,> 80	1		1	1

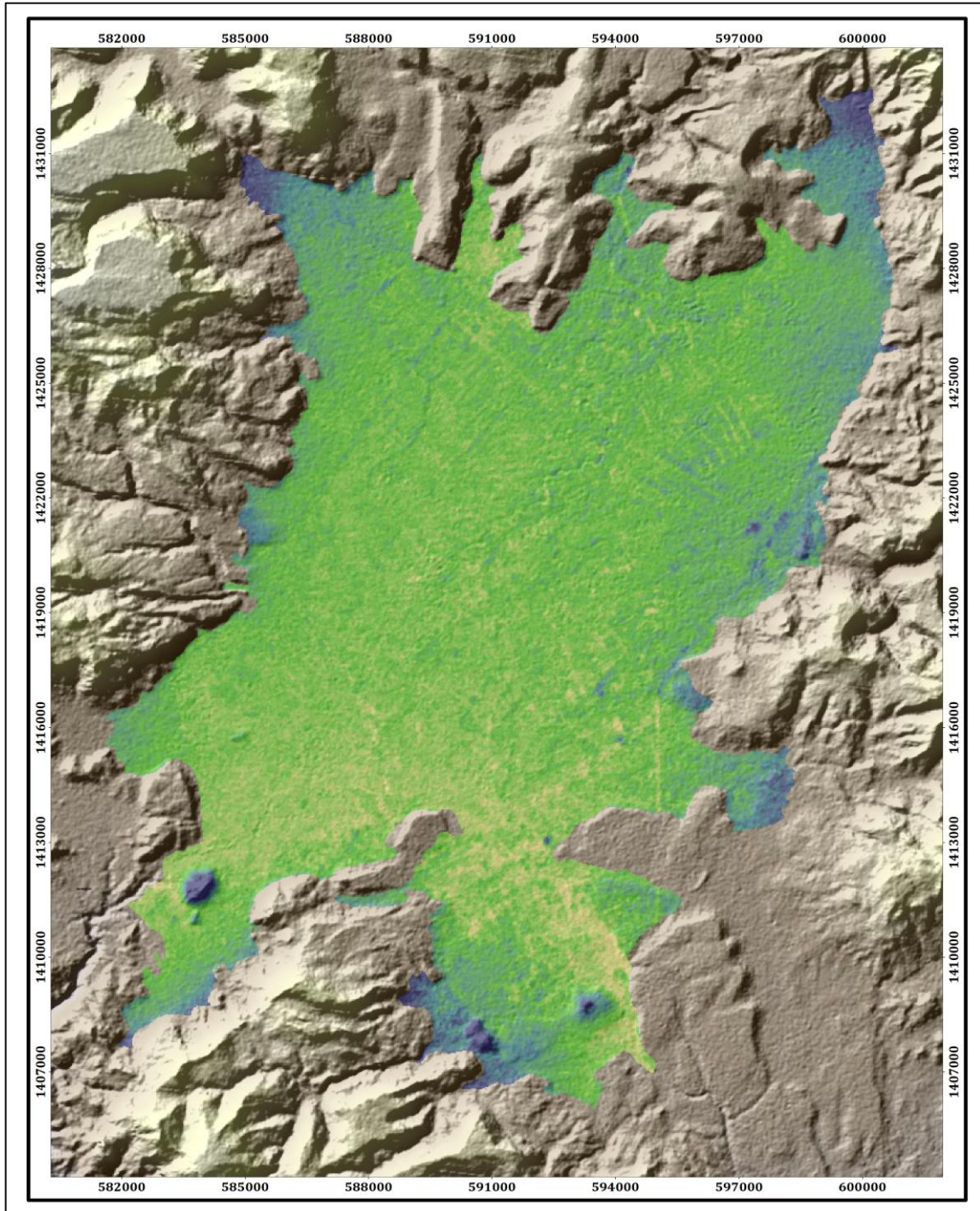
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Medio del suelo (S)



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Topografía (T)





Fuente: elaboración propia.

5.6. Impacto de la zona vadosa (I)

El parámetro de la zona no saturada influye en los procesos de atenuación en la trayectoria del agua hacia la zona saturada. Para obtener este parámetro se utilizó los perfiles hidrogeológicos del estudio de Flores Meza (2004), se analizó el medio existente entre la superficie y el nivel estático del agua (NEA), se estableció un promedio ponderado, según el tipo de material en cada capa y su respectivo índice DRASTIC.

Tabla XXIV. **Clasificación del impacto de la zona vadosa**







Área de estudio	Calificación	Peso	VND
Arcillas	4 	5	20
Arena y Grava	10 	5	50

Fuente: elaboración propia.

5.7. Conductividad hidráulica (C)

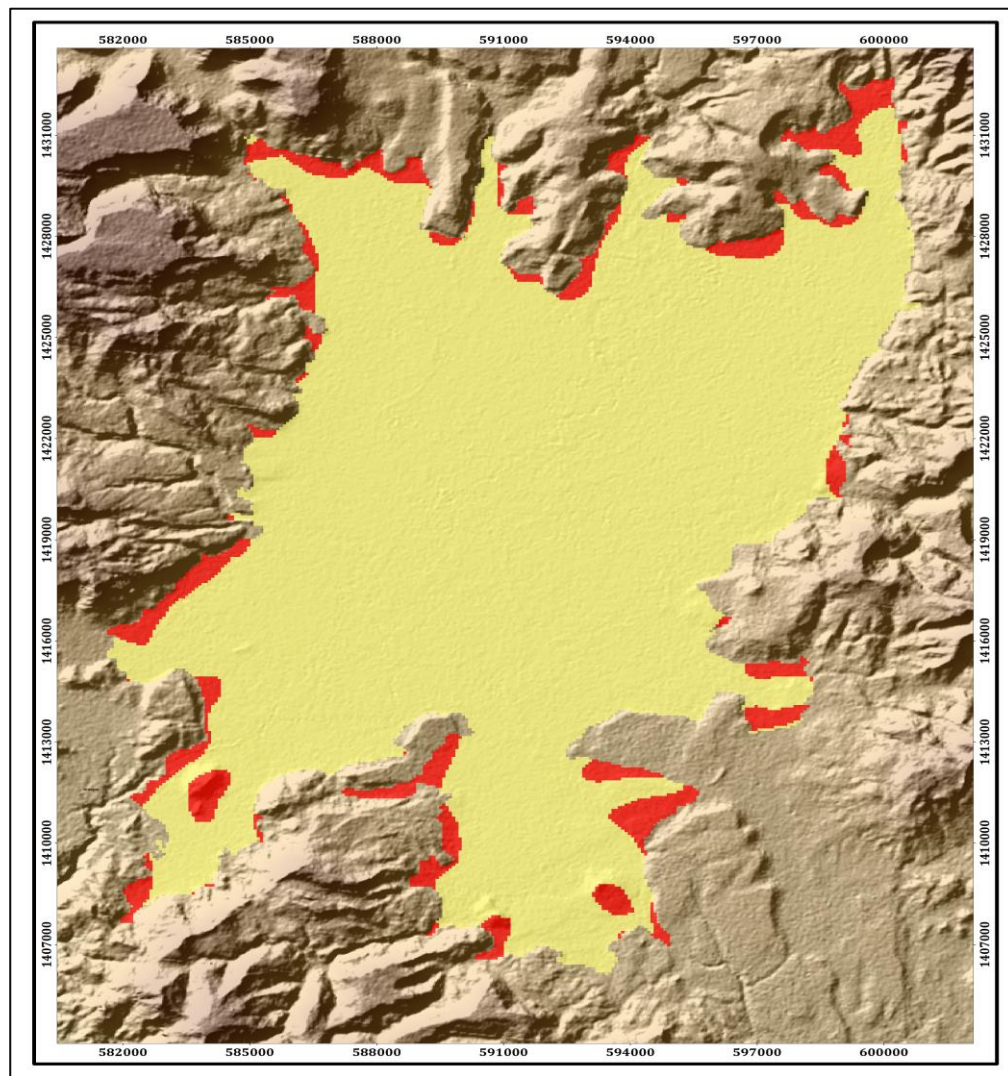
Los valores de conductividad hidráulica para el acuífero, se adquirieron a través de la revisión de información secundaria, especialmente del estudio de Flores Mesa (2004), donde realizó una zonificación por rangos en los valores cuyas unidades se expresan en m/día. Debido a que la conductividad hidráulica del área de estudio está dada por la textura de los suelos presentes en la misma el 79.7 % el área de estudio dispone de suelos, que en algún horizonte poseen texturas finas, las cuales por naturaleza tienen valores bajos de conductividad hidráulica, por lo que el rango que mayor predomina en el área son las conductividades de 10-30 m/día.

Tabla XXV. Clasificación de la conductividad hidráulica

Clasificación Variable (C)				
Escala (m/día)	Calificación	Peso		VND
1-10	2	3		6
1-50	7	3		21
10-20	3	3		9
10-30	4	3		12
30-50	8	3		24
50-120	10	3		30

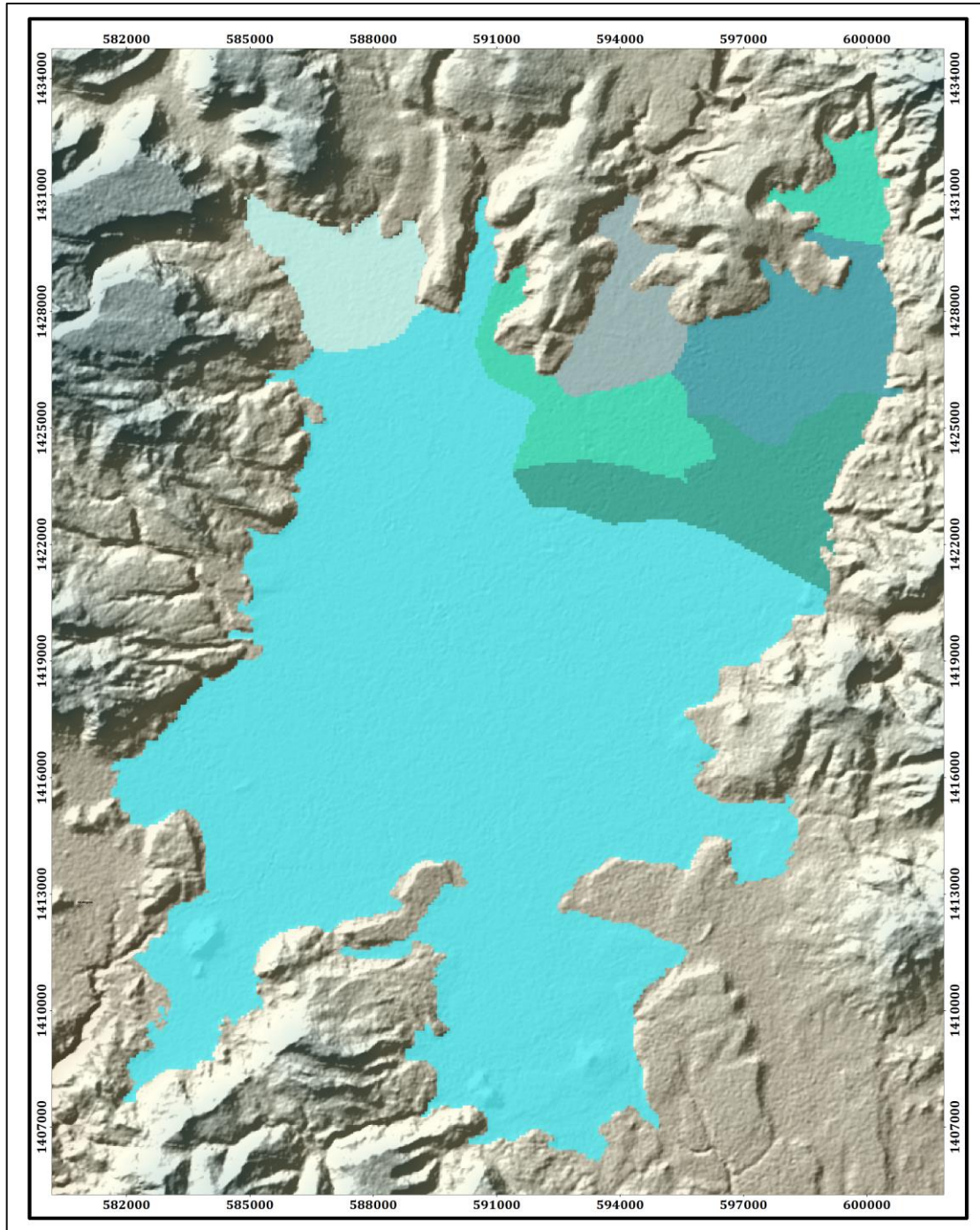
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Impacto de la zona vadosa (i)



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Conductividad hidráulica



Fuente: elaborado a partir de datos de conductividad del estudio de Flores Meza (2004).



5.8. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Sébaco

Los resultados obtenidos, por medio de los siete variables evaluadas estas fueron reclasificadas según la metodología DRASTIC, para la asignación de un valor correspondiente, en el mapa se observa que en la zona predomina una moderada vulnerabilidad con 138 km² de la superficie del acuífero que pertenece al 52 %, localizado en la parte central del valle.

La baja vulnerabilidad del acuífero se sitúa en la parte Nor-oeste del acuífero y Nor-este, correspondiente al 49 km² de la superficie del acuífero que pertenece al 19 %. Esta área se caracteriza por aquellas zonas de alta profundidad del agua, con material geológico en la zona vadosa compuesto por arcillas y arenas gravosas poco permeables.

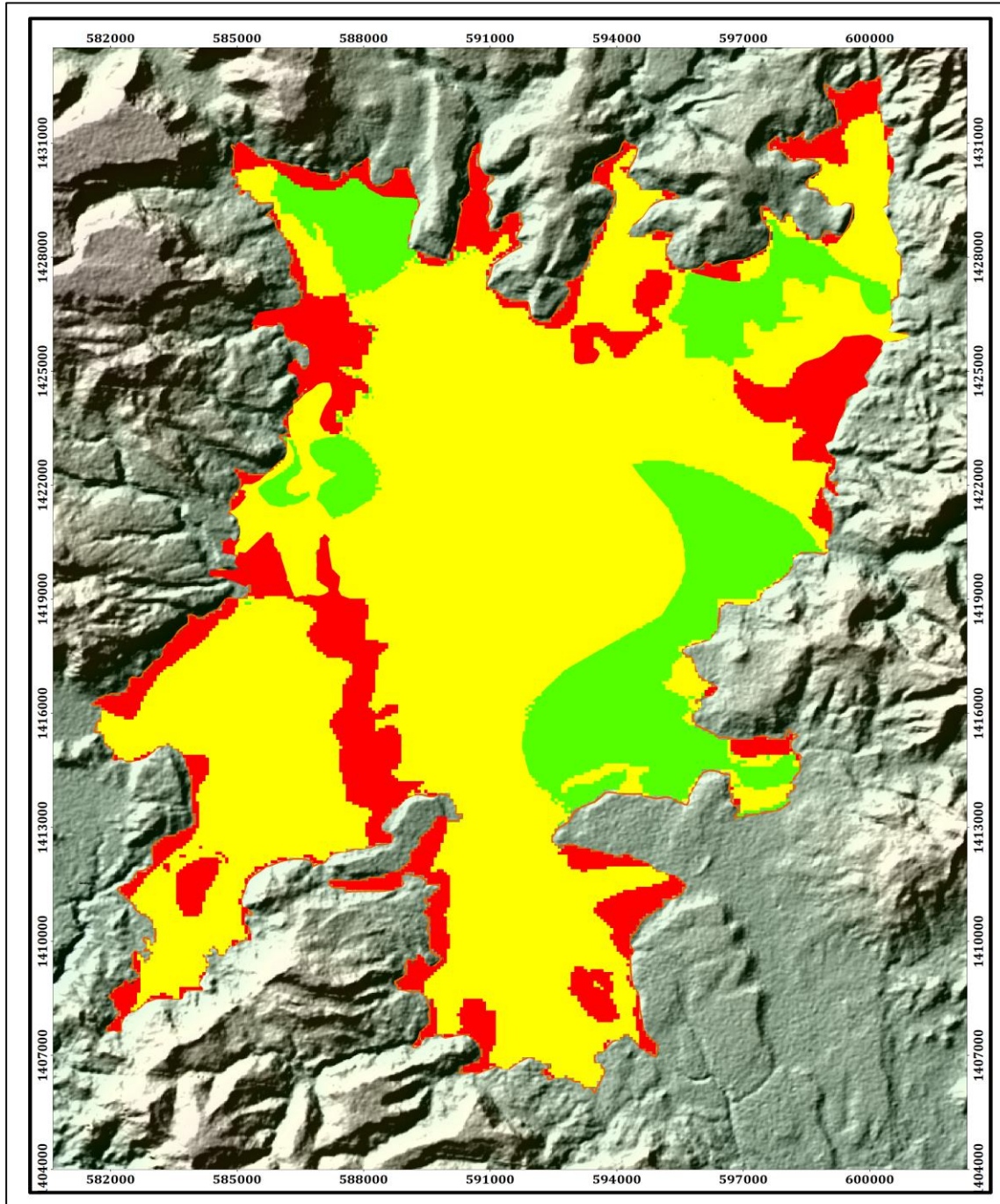
La zona de alta vulnerabilidad, con 76 km² de la superficie del acuífero 29 %, está constituido por zonas de baja pendiente depósito de material aluvial, con suelos con permeabilidad alta, lo que contribuye a que tengan un bajo grado de atenuación ante un contaminante.

Tabla XXVI. **Apreciación cualitativa de la vulnerabilidad**

Apreciación Cualitativa		índice DRASTIC
Alta vulnerabilidad		121 a 166
Moderada vulnerabilidad		99-120
Baja vulnerabilidad		70 a 98

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Mapa de vulnerabilidad



Fuente: elaboración propia.

6. PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SÉBACO

La gestión integrada de los recursos hídricos, entendida como “el proceso cuyo objetivo es asegurar el desarrollo y manejo coordinado del agua en interacción con otros sistemas naturales, sociales y culturales, maximizando el bienestar económico, sin comprometer a los ecosistemas vitales”, brinda una oportunidad para considerar diversos instrumentos que pongan en la práctica las políticas hídricas que garanticen la sustentabilidad del recurso (IARH, 2003)

La gestión del agua debe enfocarse a revertir la contaminación del recurso adoptando líneas estratégicas para la sostenibilidad.

En la actualidad se ha dado una alteración en el uso de los recursos naturales locales, principalmente por el tipo de agricultura y urbanización intensiva que se desarrolla en el acuífero, donde la población local hace uso de los mismos en forma desordenada, con el fin de suplir sus necesidades básicas, esto derivado de una ausencia de un plan de gestión de los recursos hídricos.

La metodología utilizada para plantear y establecer los lineamientos correspondientes a la problemática encontrada en el acuífero fue por medio del análisis (FODA), haciendo uso del árbol de problemas y el árbol de objetivos.

En la etapa de campo del presente estudio, se logró visualizar ciertos aspectos como: grado deforestación que presenta la zona de recarga del acuífero, el descenso de los niveles de agua; observado mediante el monitoreo de pozos realizado en abril del presente año; estos fueron comparados con datos de pozos reflejados en el estudio desarrollado por Flores Meza (2004). También se observó técnicas de riego para los distintos cultivos en el área, prácticas de

disposición de envases de agroquímicos usados en los cultivos como se observa en la figura 32, ya que estos son fuente de contaminación por los residuos que todavía están presentes en ellos y que constituyen un serio problema para la salud humana y ambiental.

Figura 32. Zona de recarga del acuífero deforestada y envases de agroquímicos.



Fuente: propia, abril 2017.

Cabe resaltar, que la propuesta del plan de manejo integral para el acuífero del valle, es una propuesta, en el cual se están dejando planteados y establecidos los lineamientos que podrían implementarse y ejecutarse.

De acuerdo a lo observado y trabajo en campo en el análisis de información recopilada, se determina que los recursos hídricos del valle de Sébaco están siendo deteriorados y deficientemente manejados, como consecuencia de una débil gestión y planificación de los mismos.

Por lo anterior, se propone un plan de gestión integral de los recursos hídricos basados en el análisis de las principales problemáticas identificados en el acuífero del valle de Sébaco. En el plan se proponen diversas estrategias enfocadas a la protección y conservación del acuífero.

6.1. Propósitos del plan

A mediano plazo, los habitantes del acuífero del valle de Sébaco cuentan con herramientas y capacidades para la gestión integral y el aprovechamiento sostenible del recurso, al mismo tiempo que se crea ambiental ante la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y sobreexplotación del recurso. Desarrollar capacidades en la gestión integrada de los recursos hídricos en el acuífero del valle de Sébaco ante la contaminación y la creación de estrategias enfocadas en la protección de la calidad y cantidad del agua para los distintos usos.

6.2. Principios de la gestión hídrica

La gestión integral del recurso hídrico debe basarse en una perspectiva ecosistémica, en la cual el agua sea vista como parte integral del ecosistema, y como un bien social y económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con tal fin, hay que proteger esos recursos, teniendo en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres, y el carácter perenne del recurso con miras a satisfacer y conciliar las necesidades de agua en las actividades humanas. En el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos debe darse prioridad a la satisfacción de las necesidades básicas y a la protección de los ecosistemas, acuáticos y terrestres, generadores y reguladores del ciclo hidrológico, enmarcados dentro de un contexto económico adecuado (CENUMA, 1992).

GWP, (2008), hace hincapié en la naturaleza dinámica de los planes nacionales de GIRH y resalta la idea de que no se pretende elaborar un plan hidrológico o un plan maestro tradicional, con medidas para el desarrollo y gestión del agua a implementar a lo largo de un período determinado, sino en producir

un marco dinámico que estimule la planificación y un proceso de toma de decisiones continuo. Cabe resaltar el enfoque estratégico que debe caracterizar a un plan de GIRH y su potencial para integrar horizontalmente los diferentes actores que afectan o son afectados por la gestión de los recursos hídricos.

Es de conocimiento general que la forma en que se gerencia el agua hoy en día no es sostenible desde el punto de vista ambiental, como tampoco lo es en términos financieros y sociales. GIRH se define como un proceso de cambio el cual pretende transformar la gestión del agua existente, razón por la cual no tiene un punto de inicio como tampoco uno de finalización. La economía global y la sociedad son dinámicas así también el ambiente, es por esto que los diferentes sistemas que se basen en la GIRH deben saber responder a los cambios y ser capaces de adaptarse a nuevas condiciones y/o variaciones económicas, sociales, ambientales y de valores humanos.

GIRH no es un fin en sí, sino un medio que permite cumplir con tres objetivos estratégicos:

- Eficiencia para lograr una mayor estabilidad de los recursos hídricos.
- Equidad en la disposición del recurso agua entre los diferentes grupos socioeconómicos.
- Sostenibilidad ambiental, para proteger los recursos hídricos y los ecosistemas conexos.

6.3. Análisis FODA

A partir del análisis de factores sociales, económicos y ambientales en el valle de Sébaco (acápite 3) del estudio, se ha procedido a la evaluación de los mismos, con el fin de detectar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas existentes. Para ello se ha procedido a establecer un análisis FODA, que establecerá una serie de conclusiones a las cuales se darán respuesta con las estrategias planteadas.

Tabla XXVII. Análisis FODA

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none">• Existencia de la Ley “620” Ley General de Aguas Nacionales y de políticas públicas vinculadas a los recursos hídricos.• Existencia de fuentes de agua superficiales.• Presencia de las Unidades Municipales de Agua y Saneamiento.• Existencia de la Asociación Nacional de Arroceros (ANAR).	<ul style="list-style-type: none">• Acceso a algunas áreas de aprovechamiento hídrico para la obtención de datos.• Existe la disposición por parte de las autoridades municipales y de la autoridad rectora del recurso hídrico en ejecutar planes de gestión hídrica.• Existencia previa de participación ciudadana en aspectos relacionados en los recursos hídricos (Comité de cuenca subcuenca río Viejo).• Existencia de antecedentes bibliográficos en materia hídrica.

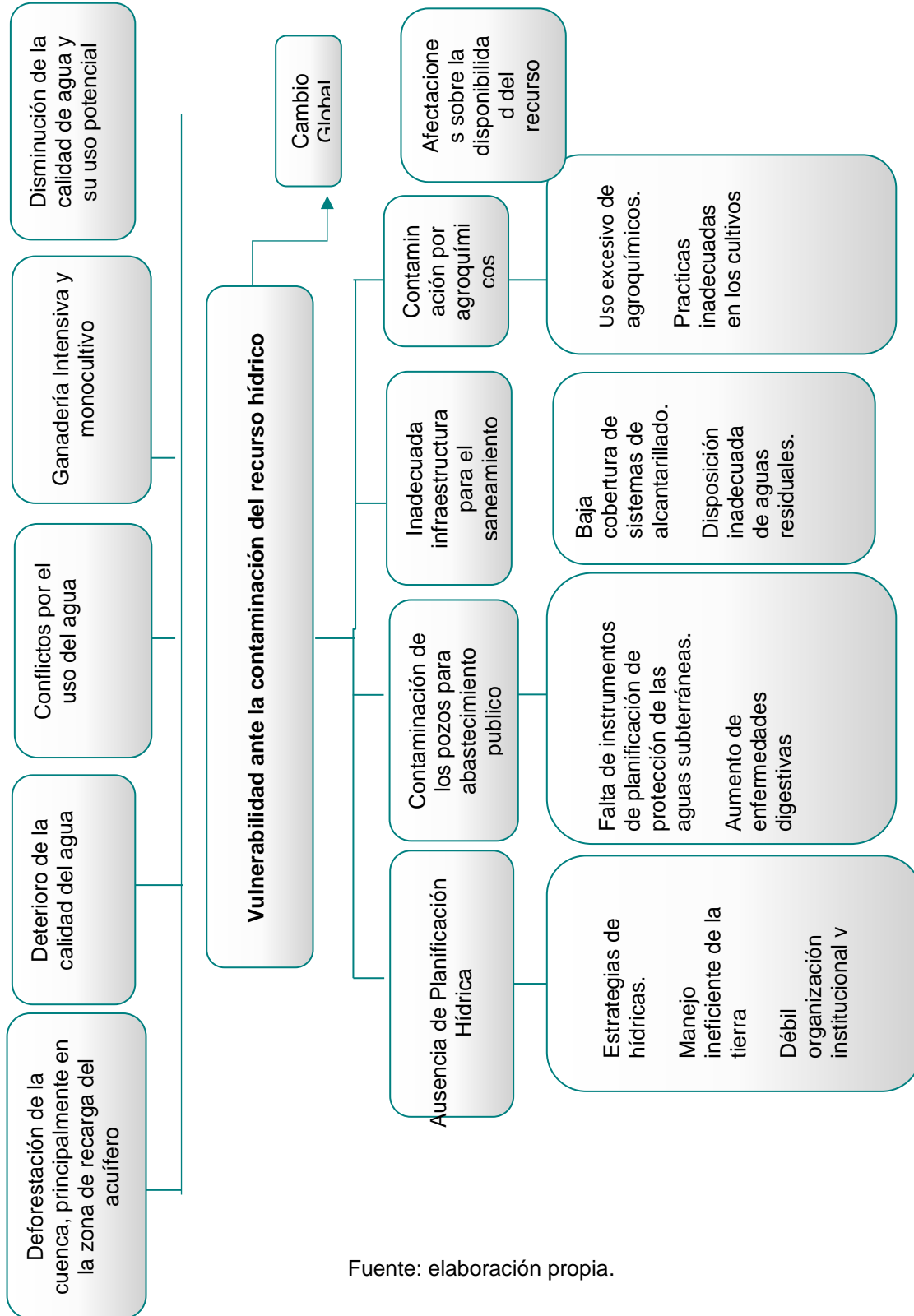
DEBILIDADES	AMENAZA
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor superficie del acuífero es ocupada por áreas agrícolas. • Elevado consumo de agua para riego. • Inadecuada gestión del recurso hídrico • Conflictos sociales por el uso del agua. • Bajos niveles de conciencia ambiental pública y privada, debido a una cultura de apropiación. • Falta de cooperación interinstitucional 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto crecimiento demográfico • Ganadería intensiva y monocultivo. • Creciente vulnerabilidad por eventos extremos (sequia e inundaciones). • Escorrentías de agroquímicos • Deforestación de la cuenca, principalmente en la zona de recarga del acuífero. • Contaminación de pozos para abastecimiento público. • Inadecuada infraestructura para el saneamiento.

Fuente: elaboración propia.

6.4. Análisis de problema

El problema principal del valle de Sébaco es la vulnerabilidad moderada ante la contaminación del recurso hídrico subterráneo. Para dar paso al análisis de la problemática, se desarrolló un análisis de causas y efectos. A partir de la identificación de las causas u efectos, se elaboró el árbol del problema, estableciendo el problema central en el acuífero como muestra la figura 33.

Figura 33. **Árbol de problemas del acuífero del valle de Sébaco**



Fuente: elaboración propia.

6.5. Soluciones identificadas para la problemática diagnosticada en el acuífero

La conservación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídricos, implica el involucramiento de diversos actores e instituciones, tanto del sector público, privado, académico, sociedad civil, así como de actividades, que vayan enfocadas a resolver el agotamiento y sobreexplotación desmedida de los recursos, causados por el alto crecimiento poblacional, la expansión urbana desordenada y la ausencia de una gestión ambiental clara y definida, trayendo varias consecuencias, entre ellas: La creciente presión sobre los recursos hídricos, contaminación de las fuentes, conflictos socioambientales, manejo inadecuado de agroquímicos, entre otros.

Para resolver la problemática diagnosticada en el acuífero, se plantearán varias propuestas y lineamientos de trabajo, a manera de proponer, integralmente, y basándose en el árbol de objetivos, los medios a través de los cuales se van a canalizar las actividades y, los fines hacia los que se quiere llegar, para así alcanzar el manejo sostenible del recurso.

Donde se definieron los fines directos e indirectos.

Ejes de desarrollo

Directos:

- Manejo desechos sólidos y líquidos.
- Preservación del uso correcto de la tierra.
- Abundante participación social.
- Disminución de la presión sobre los recursos hídricos.
- Conservación ambiental.
- Disminución de conflictos socioambientales.

Medios indirectos:

- Adecuada valoración de bienes y servicios naturales y ambientales.
- Establecimiento de plantas de tratamiento de desechos sólidos y líquidos.
- Sólida organización y vigilancia de autoridades gubernamentales.
- Prevalecen los intereses sociales.
- Credibilidad en las autoridades.
- Abundante educación ambiental.
- Baja la insatisfacción de necesidades básicas.

Se dejaron planteadas varias propuestas, acciones y lineamientos de trabajo, las que ayudarán a resolver la problemática a través del desarrollo de los medios antes citados, los cuales se desarrollarán, a través del fortalecimiento entre las instituciones del Estado, empresas privadas, sector académico, organismos internacionales y la sociedad civil, aplicando la legislación correspondiente leyes, reglamentos y acciones en el corto, mediano y largo plazo.

Los desechos sólidos y líquidos de la población, se deberán tratar mediante plantas de tratamiento adecuadas para la disposición adecuada de desechos que generan. Las empresas deberán contribuir, principalmente, al manejo adecuado de sus desechos sólidos y líquidos, por lo que se requerirá de la adecuada implementación de medidas de mitigación, del monitoreo e inspección de las autoridades en que dichas empresas produzcan ambientalmente responsablemente.

La implementación de programas de educación ambiental, enfocados a no contaminar el recurso hídrico, y saber abordar y manejar los problemas socioambientales, a conocer las leyes y reglamentos. Así como como debe

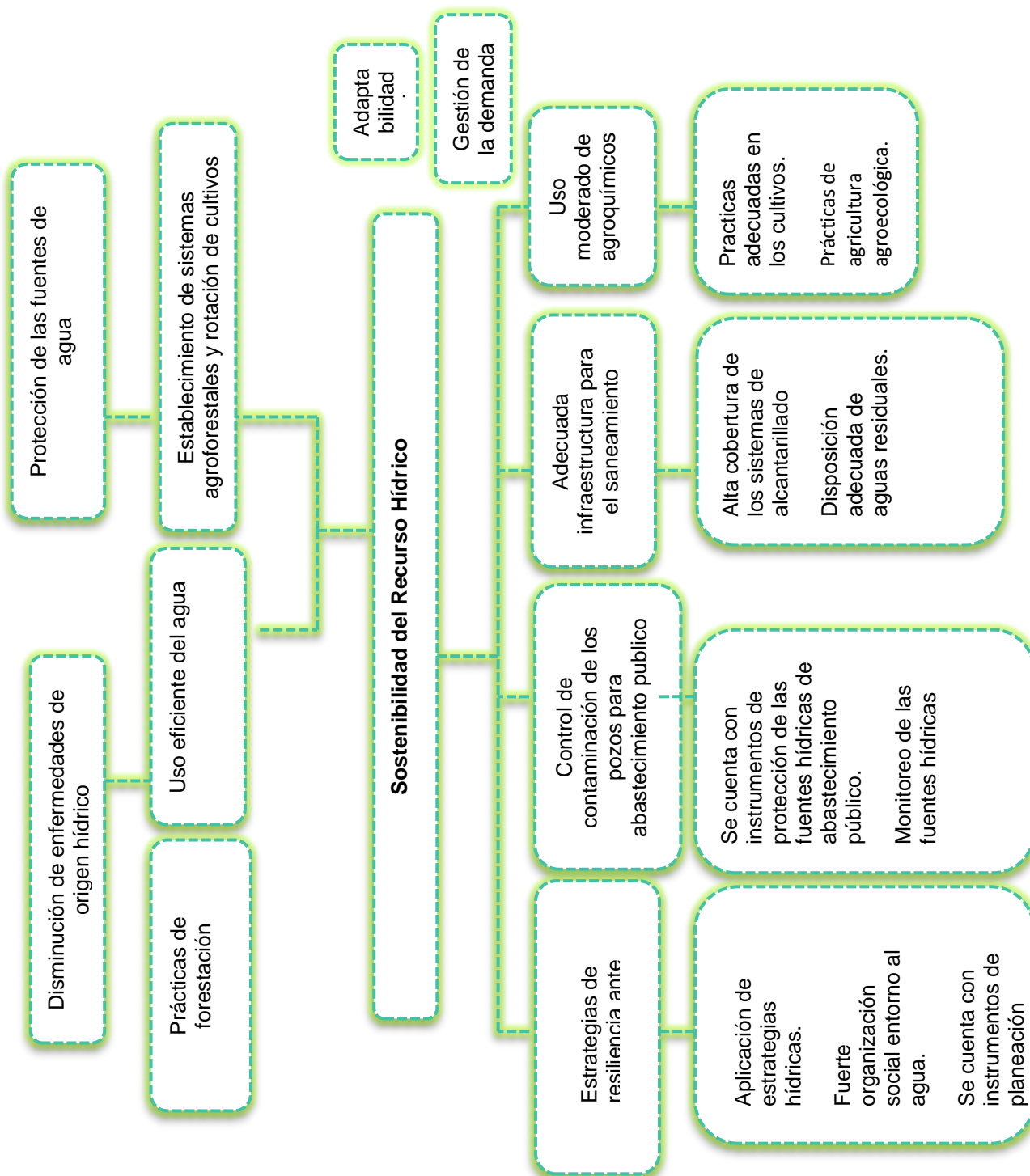
implementarse proyectos para la reducción de la frontera agrícola y deforestación.

Parte de la degradación del recurso suelo y el cambio de uso de la tierra, podrá reducirse a través de la implementación de prácticas de conservación de suelo, el uso adecuado de plaguicidas y fertilizantes, incorporación de abonos verdes y plantas de cobertura y otras acciones que contribuirán a recuperar la fertilidad natural del suelo.

Se deben de establecer programas de monitoreo de las fuentes hídricas, para establecer medidas de protección de las fuentes de abastecimiento a través de acciones legales que regulen su utilización y aprovechamiento.

La Figura 34, permite observar, gráficamente, el diagrama del árbol de objetivos, correspondiente al análisis diagnóstico realizado para el acuífero.

Figura 34. **Árbol de objetivos**

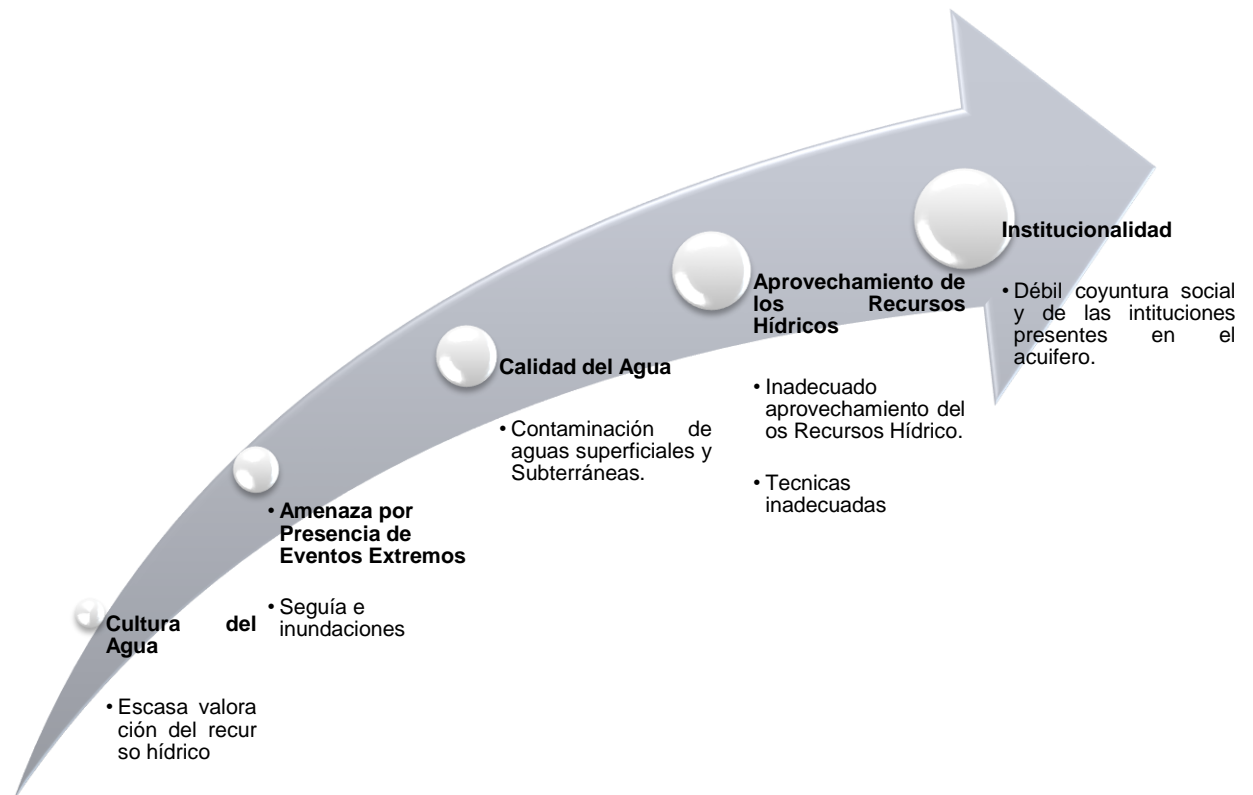


Fuente: elaboración propia.

6.6. Estrategias del plan

A partir del árbol de objetivos, que se origina al convertir árbol de problemas en situaciones positivas, definiendo el escenario estratégico a implementar, donde la problemática central se convierte en el objetivo general. Para cada una de los aspectos del acuífero, se concretó el problema principal. Donde se definió una inadecuada gestión de los recursos hídricos y deterioro de la calidad del agua a continuación, se presentan los problemas específicos por eje temático para el acuífero.

Figura 35. Principales ejes temáticos y problemas identificados



Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que uno de los principales problemas en el acuífero de Sébaco son los conflictos del uso del agua, contaminación al acuífero por agroquímicos, uso ineficiente y racional de las aguas superficiales y subterránea para el riego sin una adecuada planificación, priorización y regulación en el valle.

Las prácticas agrícolas en el acuífero carecen de un control sostenido en el uso de los; agroquímicos, los cuales están contaminando las aguas; subterráneas y superficiales, provocando que las fuentes; de agua para consumo humano aumenten los costos de tratamiento y distribución.

6.7. Líneas estratégicas de acción

6.7.1. Líneas estratégicas del recurso hídrico

Esta estrategia orienta disminuir el riesgo de contaminación actuando sobre las principales causas y fuentes de contaminación del recurso hídrico originadas por las actividades económicas. Para esta línea estratégica se proponen lo siguiente:

- Gestión de la demanda de los recursos hídricos.
- Gestión de prácticas eficiente de riego.
- Saneamiento básico rural con énfasis en las zonas de recarga al acuífero.
- Seguimiento y control de vertidos.

6.7.2. Gestión de la demanda del recurso hídrico subterráneo.

Con esta estrategia se busca disminuir los posibles impactos de la sobreexplotación del agua subterránea, efectos del cambio climático, esto se logrará mediante medidas de mitigación que se mencionan a continuación:

- Caracterización e inventario de la demanda
- Estimación de la oferta
- Plan de uso eficiente y ahorro del agua.
- Sistema de seguimiento de los diferentes usos del recurso.

6.7.3. Generación de condiciones para la participación y gestión social.

Con esta estrategia se busca crear fortalecimiento social que permita la participación activa y calificada en la gestión del agua y su valoración entre los actores, mejorando el conocimiento sobre la dinámica de la misma, los riesgos que pueden afectar su calidad y cantidad, así como prevenir o mitigar dichos riesgos, además de la importancia de un uso adecuado y sostenible del recurso.

Para esta línea estratégica se proponen las siguientes actividades:

- Capacitación de las comunidades y líderes.
- Educación para el manejo y uso adecuado del recurso.

6.7.4. Generación de instrumentos y herramientas para el fortalecimiento institucional.

Se busca con esta estrategia fortalecer las acciones de las autoridades ambientales en la planeación, administración, monitoreo y control del recurso hídrico, así como su capacidad para vincular los principales actores sociales en el trabajo coordinado de la gestión del agua.

- Identificar, definir, zonificar y reglamentar los usos de las áreas de recarga del acuífero.
- Red de monitoreo y calidad del agua.
- Evaluación de riesgo por cambio ambiental.

6.7.5. Plan estratégico

El plan estratégico del acuífero del valle de Sébaco, constituye un instrumento, para alcanzar los objetivos propuestos y las actividades a establecer a corto y mediano plazo y que coordine a todos los actores en la gestión integrada del recurso hídrico.

Tabla XXVIII. Plan estratégico

Objetivos	Actividades	Responsables	Resultados Esperados	Línea de Tiempo
Identificar a los usuarios del agua en el acuífero del valle de Sébaco	Realizar un inventario de todos los usuarios presentes y actividades relacionadas al recurso.	Autoridad Nacional del Agua y Gobierno Municipal, y ONGs interesadas.	Se obtiene una base de datos actual y completa de todos los usuarios y el uso que se le da al agua para mejorar la gestión.	Corto plazo

Objetivos	Actividades	Responsables	Resultados Esperados	Línea de Tiempo
Regulación de las extracciones de agua mediante la legalización de usuarios	Promover mediante el conocimiento de la Ley 620 la legalización de los usuarios del agua.	Autoridad Nacional del Agua, ANAR, Usuarios del agua y Gobierno Municipal.	Se legalizan e inscriben en el Registro Público Nacional de Derechos de Agua todos los usuarios del agua.	Mediano plazo
Mejorar técnicas de riego	Impulsar el manejo eficiente de la inundación y lámina de agua para evitar el gasto innecesario del recurso.	ANAR, Usuarios del Agua, Gobierno Municipal y productores del área.	Se reduce notablemente la cantidad de agua que es utilizada para el cultivo del arroz y costos de producción.	Mediano plazo
Regulación en el uso de agroquímicos altamente tóxicos en la agricultura	Promover mediante la Ley 274 Ley Básica para la regulación y control de plaguicidas y sustancias tóxicas el uso moderado de agroquímicos.	Ministerio de Agricultura y Ganadería, ANAR, Productores agrícolas, MINSA y Gobierno Municipal.	Se, crean practicas amigables con el medio ambiente y sus recursos naturales.	Corto plazo
Promover la participación de los usuarios del agua y población en general en la gestión integrada de los recursos hídricos	Conformación del comité de cuenca del acuífero del valle de Sébaco.	Autoridad Nacional del Agua, ANAR, Usuarios del agua y Gobierno Municipal.	Crear interés en los usuarios del agua en la planificación para la sostenibilidad del recurso.	Corto plazo
Integración de las instituciones del estado en la gestión integrada de los recursos hídricos	Promover la cooperación y participación interinstitucional asuntos relacionados en la protección uso adecuado de los recursos hídricos.	Instituciones del estado y gobierno municipal	Hay una articulación entre las distintas instituciones en la toma de decisiones orientadas a la protección del recurso.	Corto plazo

Objetivos	Actividades	Responsables	Resultados Esperados	Línea de Tiempo
Desarrollar planes de reforestación de las zonas de recarga del acuífero y el establecimiento de áreas de bosque.	Implementar mediante incentivos la reforestación del acuífero del valle de Sébaco incluyendo la regeneración natural.	Usuarios del agua del sector, Gobierno municipal e instituciones del estado y población en general.	Se crea una cultura de reforestación de las áreas intervenidas por la población y a largo plazo el aumento de la vegetación que va a favorecer a la recarga hídrica.	Mediano y largo plazo.
Desarrollar campañas de educación ambiental	Implementar campañas de educación ambiental a diversos sectores de la población para la protección de los recursos naturales y su medio ambiente.	Gobierno Municipal, Instituciones del Estado, ONG, s, Colegios y Universidades.	Se obtiene una conciencia ambiental de conservación y protección de los recursos naturales de la población en general.	Mediano plazo.
Realizar análisis en pozos de abastecimiento público y privados	Desarrollar un plan de monitoreo semestral de la calidad del agua para conocer la calidad de la misma.	Gobierno Municipal, Instituciones del Estado y usuarios del agua,	Obtención una base de datos actual de la calidad del recurso.	Corto y mediano plazo.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Mediante la caracterización de los aspectos biofísicos, y socioeconómicos del acuífero, se identificaron varios problemas de índole social y de infraestructura, mismos que afectan al acuífero, entre ellos se encuentran: deforestación, contaminación del agua superficial y subterránea, crecimiento poblacional, demanda de área para cultivos, cambio de uso de la tierra, uso irracional de plaguicidas y la escasa participación social.
2. En el acuífero, la actividad que mayor volumen de agua demanda es el uso agrícola con el 98 % de extracción, por lo tanto, si se disminuye la lámina de riego a 5 -7 cm se obtienen mejores beneficios que láminas de riego actual que es mayor a los 10 cm/año, con esta práctica se reduciría aproximadamente la demanda de riego en un 44 %.
3. En estudios anteriores en el valle de Sébaco, indican que se está extrayendo agua de las reservas que tiene el acuífero sin un debido control del aprovechamiento, este dato fue confirmado por medio de la comparación de niveles de los pozos monitoreados en el 2002 y los pozos monitoreados en el presente estudio 2017, donde se observó un leve aumento en la profundidad de los niveles estáticos, con un descenso promedio de 6 m a 20 m.
4. Según los resultados del método DRASTIC la zona predomina una moderada vulnerabilidad ante la contaminación con 138 km² de la

superficie del acuífero que pertenece al 52 %, localizado en la parte central del valle. Por lo tanto, se valida la hipótesis planteada en este estudio.

5. El método DRASTIC, es un instrumento idóneo para la planificación y establecer medidas de protección para los acuíferos, ya que resulta ser efectivo en la unificación de todos sus parámetros o variables, que determina cuan sensible puede ser un acuífero a un contaminante, lo que resulta muy útil para establecer líneas de acción o mitigación ante la contaminación.

6. La priorización de las categorías del plan de manejo para el acuífero, se basaron en el problema detectado, así como en sus causas y efectos, resultado del diagnóstico. Para ello, se establecieron líneas estrategias, de carácter ambiental y planificación social, a la conservación, y gestión de la demanda del recurso hídrico subterráneo.

7. A pesar de los diversos esfuerzos por aplicar políticas de agua en el país, con los arreglos normativos y estructurales que soportan cada concepción, en el acuífero se evidencia una crisis de gobernabilidad que no favorece la gestión integral de los recursos hídricos.

RECOMENDACIONES

1. Se debe de realizar un inventario de los principales usuarios del recurso hídrico, así como la demanda de agua y los usuarios del riego en el acuífero.
2. Realizar un diagnóstico en el cual se pueda identificar las fuentes de contaminación de aguas subterráneas. Esto con el fin de establecer acciones específicas que contrarresten la contaminación del manto acuífero.
3. Es recomendable que las instituciones responsables del manejo de las aguas subterráneas concentren sus esfuerzos para establecer medidas que prevengan la contaminación de este recurso, priorizando los pozos de abastecimiento público.
4. En la metodología DRASTC se utilizaron los datos más confiables dentro de la información disponible. Sin embargo, es recomendable realizar más investigaciones hidrogeológicas que permitan reconocer mejor el comportamiento del acuífero para obtener resultados más preciosos para la planificación y conservación de las aguas subterráneas.
5. Si bien es cierto en el acuífero del valle de Sébaco se refleja una moderada vulnerabilidad ante la contaminación es necesario establecer medidas de protección del recurso subterráneo.

6. Debe de implementarse programas de educación ambiental, enfocados en promover la deposición de los desechos sólidos en lugares autorizados, a no tirar los desechos en los cuerpos de agua, y manejar los problemas socioambientales.

7. Se debe desarrollar mayores capacidades en las instituciones para lograr que la gestión en beneficio de la prosperidad de los habitantes sea más positiva, otorgue mayores beneficios; en definitiva, cambiar para lograr resultados esperados o deseados, hacer mejoras implica partir, de lo que existe, porque el cambio significativo no comienza con volver a estructurar una institución, sino por reconstrucción de lo existente, ósea mejorando capacidades desde adentro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PNUD; GMP . (2004). Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD.

A, Plata. (1988). Hidrología Isotópica del Acuífero aluvial del Valle de Sébaco. Organismo Internacional de Energía atómica. Wagramerstrasse 5, C.P. 100, 1400.

Albinet, M. y Margat, J. (1970). Cartografía de la vulnerabilidad contaminación del agua subterránea. Boletín de la Oficina de Investigaciones G'eologiques et Mini'eres segundo sirve , 3: 13 - 22 de .

Arumí, J., Martin, D., & Watts, D. (2001.). Modelación del impacto de prácticas de manejo agrícola en aguas subterráneas. II Encuentro de las Aguas: Agua, Vida y Desarrollo.

Beck Inge, M. (1996). Registro, importación, uso y riesgos de plaguicidas en Nicaragua (1985-1995). Proyecto de ampliación del servicio de protección vegetal.

Castillo. et al. (1995). Manual de Plaguicidas: Guía para América central. Heredia Costa Rica. : editorial de la Universidad Nacional Campus "Omar Dengo".

CENAGRO. (2013). Departamento de Matagalpa y sus municipios uso de la tierra el agua en el sector agropecuario . INIDE-MAGFOR.

CENUMA. (1992). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo .

Consult, GWK. (1998). Material para el revestimiento de los pozos de explotación en los Valles de Sébaco y Apanás. Ingenieros Consultores, República Federal.

Custodio. (1995). Vulnerabilidad de los Acuíferos a la Polución; Seminario Internacional de aguas subterráneas,. Santiago de Chile. Custodio J. E., (1986).

ENACAL. (2013). Saneamiento ENACAL: Programa de control de Vertidos Industriales y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Managua. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/Enacal/Enacal0075/Saneamiento%20ENACALyamil.pdf

Escobar López; Rodríguez Juárez. (2017). calidad de las aguas subterráneas en el municipio de San Pedro la laguna y sus efectos sobre el cuerpo de agua del lago de Atitlán. Guatemala.

Espinoza, M. A. (2005). Distribución de la Contaminación Natural por Arsénico en el Agua Subterránea de la Subcuenca Suroeste del Valle de Sébaco. Matagalpa.

Ferrer, A. (2003). Pesticide poisoning.

Flores Meza, Y. (2004). Criterios Hidrogeológicos para la Formulación del Plan de Gestión en el Acuífero del Valle de Sébaco. Managua.

- Foster S. y Hirata R. (1991). Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, Perú, 81p.
- Foster, S, Hirata, R. (1988). Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Lima (Perú): CEPIS/PAHO-WHO Technical Report.
- Gogu y Dessargues. (2000). GIS–based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan,. Rev. mex. cienc. Geol. v.23 n.3 México.
- González Tapia, R. M. (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 Sébaco. Managua.
- GWP. (2000). Gestión integrada de recursos hídricos.
- GWP. (2003). GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (GIRH).
- IARH. (2003). Instituto Argentino de Recursos Hídricos.
- IEA-MARENA. (2001). Informe Estado del Ambiente en Nicaragua . Managua.
- INETER. (2016). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- J, Vargas. (2002). Manejo Integrado de Aguas Subterráneas: Un reto para el futuro. San José Costa Rica.: EUNED,.
- Konikow , LF y JD Bred, ehoeft. (1992). Modelos de agua subterránea no pueden estar validado, Advances in Water Recurso.

L., A., Bennet, T., & Petty, J. H. (1987). DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting U.S. EPA Report 600/2-87-035 Ada, Oklahoma.

M, Auge. (2006). "Aguas Subterráneas Deterioro de Calidad y Reserva".

MARENA. (2000). Vulnerabilidad Hidrogeológica del acuífero de Managua.

MARENA. (2003). Estado del Ambiente en Nicaragua 2003, segundo informe.

MARENA. (2008). Evaluación de la Vulnerabilidad Actual de los Sistemas Recursos Hídricos y Agricultura ante el Cambio Climático en la Cuenca No.64. Managua.

OPS. (2000). Control de contaminación de recursos hídricos. (Organización Panamericana de la Salud).

Pulido Bosch, A. (1985). L'exploitation minière de l'eau dans l'aquifère de la Sierra de Crevillente et ses alentours (Alicante, Espagne). Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería (España).

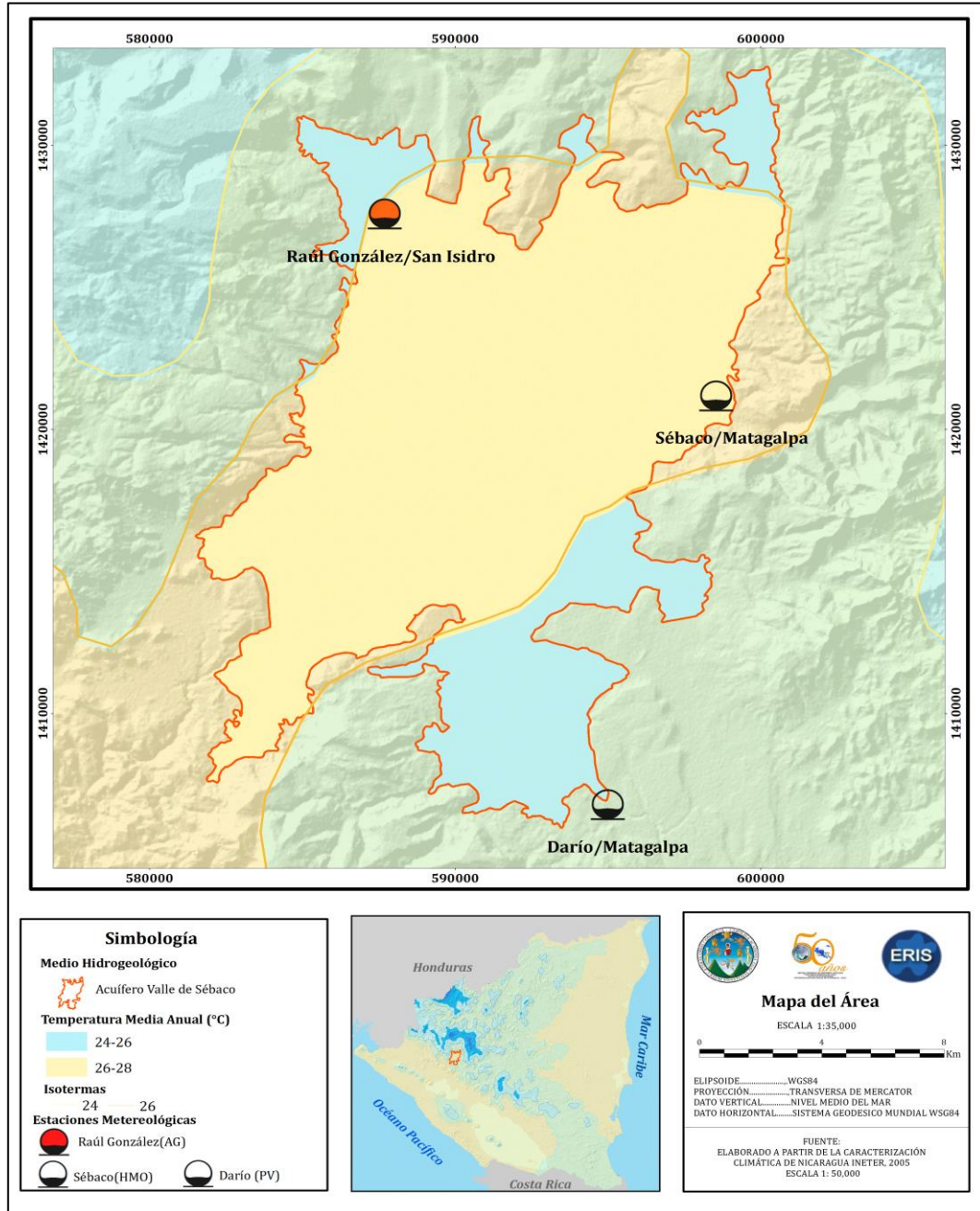
Pulido Bosch, A. (2001). Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible. (U. d. Almería, Ed.) Departamento de Hidrogeología. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=2138050>.

Quezada, Valeria Delgado. (2014). Empleo de Isótopos en la Evaluación Hidrogeológica del Acuífero del Valle de Sébaco, Nicaragua. Managua: Revista Agua y Conocimiento.

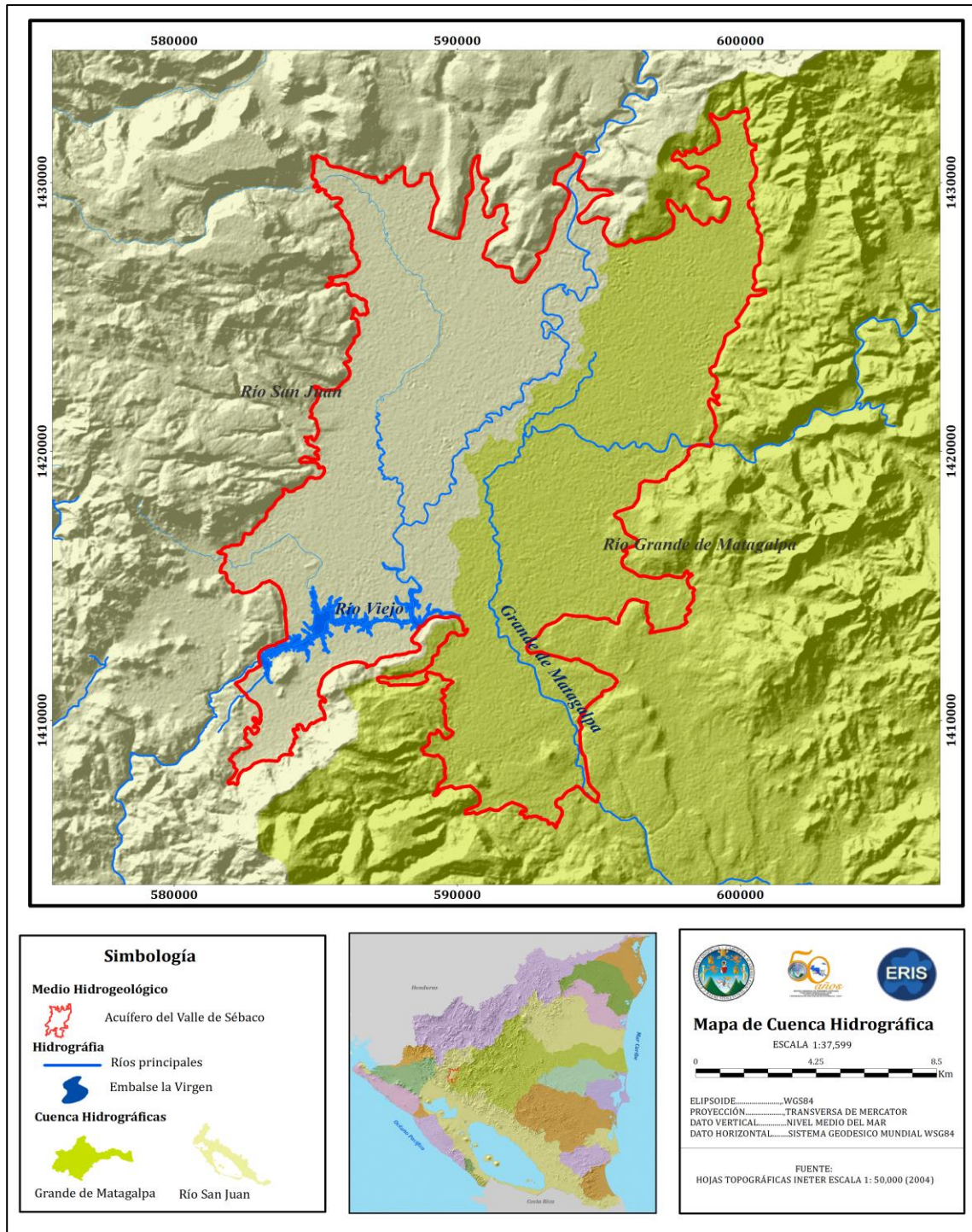
- Rahman, A. (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India.
- Ramos. (2007). Factores que efectúan la Vulnerabilidad de Sistemas Acuíferos de Salamanca Gto. pp 23-75.
- Ramos Valle, A. J. (2012). Estudio de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce usando el método Drastic.
- Ramos, R. (2005). Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic,. Mixco, Guatemala.
- REES, J. (2002). Global Water Partnership. Risk and Integrated Water Management .
- Salazar, M. (2001). Planes Directorios para la Gestión de los Recursos Hídricos en Chile. Departamento de Estudios y Planificación. Dirección General de Aguas. Morandé. Santiago .
- Sánchez San Román, F. (2008). Hidráulica subterránea: principios básicos. España: Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.
- SIASAR. (5 de Junio de 2017). Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural. Obtenido de <http://new.siasar.org/>
- Soriano, F. O. (2005). Situación del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del río Aguas Calientes. Nicaragua .
- Tahal Consulting Engineers Ltd. Tel Aviv. (1997). Proyecto de Desarrollo Agroindustrial Valle de Sébaco. Managua, Nicaragua.
- Wezel, F. (1985). Las condiciones geológicas del Valle de Sébaco.

ANEXOS

Anexo 1: Temperatura media anual



Anexo 2: Aguas superficiales



**Anexo 3. Inventario de pozo realizado en abril 2017, en el valle de
Sébaco.**

LOCALIZACIÓN	E	N	PROPIETARIO	ELEV (msnm)	NEA (msnm)
Coop. El Horno	588952	1417502	Comunitario	452.00	445.13
Paso las Brisas	593400	1425795	Comunitario	472.00	453.00
Pozo Público # 1	593566	1425463	Comunitario	473.00	452.75
San Pedro	594143	1425055	Comunitario	474.00	453.20
Las Conchitas	594640	1425434	Comunitario	475.00	459.62
PP16	594841	1426803	Comunitario	478.00	460.44
Pozo Comunal	586858	1422701	Comunitario	475.00	452.72
Majadas	587628	1417204	Francisco Sequeira	461.00	456.44
El paso (PP17)	594005	1423288	Comunitario	437.00	413.37
Paso Carreta	593831	1422934	Comunitario	453	428.86
Paso Real(Rigoberto)	592673	1421829	Privado	456	434.57
Paso Real	590688	1419935	Comunitario	456	440.12
Escuela Paso Real	590022	1419638	Comunitario	459	445.37
Arrocera Bomba #3	589655	1416780	Privado	459	449.57
Arrocera Bomba #4	590900	1418771	Privado	463	448.83
Pozo Lindo	590900	1418771	Privado	463	448.83
Las Tunas	594330	1415266	Privado	466	423.33
(PP1) Sabana Verde	593322	1415816	ENACAL	462	434.37
(PP2) Sabana Verde	593484	1415686	ENACAL	462	431.52
(PP3) Sabana Verde	593202	1416109	ENACAL	462	433.66
Sabana Verde	591820	1414336	Comunitario	462	443.00
Finca Abel Aguilar	592396	1415150	Privado	460	435.24
Finca Abel Aguilar#2	592528	1415670	Privado	462	433.86

Anexo 4. Recarga

Textura	Área Recarga (km ²)	Recarga (mm)	Recarga Anual (m ³)	Recarga Anual (Mm ³ /anual)
Franco arcilloso	210	52.00	10908455.51	10.91
Franco arenoso	16	153	2388846.67	2.39
Franco arcilloso, Arenoso	27.2	119	3235984.70	3.24
Franco arcilloso, Arenoso	9.3	150	1397181.45	1.40
Franco	1.4	100.0	143193.50	0.14
	263.3	68.6	18073661.83	18.07

