

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**Situación del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del río Aguas Calientes,
Nicaragua**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Cuencas Hidrográficas

Por:

Fredy Octavio Obando Soriano

Turrialba, Costa Rica, 2005

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Hernán Solís, Ph.D
Consejero Principal.



Francisco Jiménez, Dr.Sc
Miembro Comité Consejero



Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Fredy Octavio Obando Soriano
Candidato

DEDICATORIA

A Dios Padre que me dio fortaleza en todos los instantes en que me sentí solo.

A mis padres Esther Soriano y Ernesto Obando por su incondicional apoyo, confianza y por el sacrificio que han hecho en su vida para ayudarme a crecer en mi vida profesional y espiritual.

A mi esposa Leslie Moncada Sotelo por su inspiración en cada momento para realizar este triunfo profesional.

A mis hermanos Edgardo, Gustavo, Dania, Wendy, José Luis por ser parte de mi gran familia, compartir conmigo este triunfo.

A mi Hermano Edgardo por ayudarme en momentos difíciles en esta etapa de mi formación profesional.

A mis Abuelas Dominga (q.e.p.d) y Adela Vásquez por sus consejitos de siempre.

A todas las personas Somoteñas y miembros de cada una de las comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes por brindarme confianza y solidaridad.

A Jorge Moncada y Azucena Sotelo, por su confianza y apoyo en momentos difíciles.

A mis Amigos Alba Alejandra Roque, Orlando Caballero, Ramón Salgado y Marlon López.

Fredy....

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas y organizaciones por su apoyo y orientación en este período de estudio.

A los miembros del comité de tesis Dr. Hernán Solís, M.Sc. Sergio Velásquez, Dr. Francisco Jiménez por sus orientaciones para lograr finalizar esta investigación.

Al proyecto FOCUENCAS-CATIE-ASDI, por darme el apoyo económico para realizar esta maestría.

Al personal de postgrado CATIE, Biblioteca Conmemorativa Orton.

A mis amigos Ing. Orlando Caballero, Lic. Alba Alejandra Roque, Ing. Andrés López, Ing. Manuel Ruiz por ayudarme en mi investigación y orientación en mis estudios.

A don Pedro Pérez, Alcalde de San Lucas y el Ing. Efrén González Vice - Alcalde de Somoto por facilitarme mi estudio con sus gestiones.

A CATIE por la oportunidad que me brindó para la realización de mi sueño como Magister.

A M.Sc. Sergio Velásquez por orientarme en mis primeros pasos de investigación y selección del tema de investigación.

A los productores de la subcuenca del río Aguas Calientes que siempre estuvieron anuentes a brindarme información para la realización de este estudio.

A todas las instituciones de Somoto que de una u otra forma hicieron posible este estudio con su colaboración (MARENA, SILAIS-MADRIZ, ENACAL, INTA, ALCADIAS "SAN LUCAS, SOMOTO", CIDES).

A INETER, DEPARTAMENTO EXPLORACIONES DE ENACAL, MANAGUA.

Agradecimiento sincero a todos, esto fue muy difícil, pero su ayuda incondicional fue muy acertada.

QUE DIOS LOS BENDIGA Y NOS PROTEJA

BIOGRAFÍA

El autor Fredy Obando nació en la ciudad de Somoto, Madriz, Nicaragua el 19 de mayo de 1976. Egresado de la Universidad Nacional Agraria de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, con el título de Ingeniero Forestal en el año 2000. Trabajó en Honduras y el Salvador con PERFORACIONES ALLAN en 1995; actualmente con Perforaciones Centroamericanas, en Nicaragua.

En el año 2001 trabajó como técnico de proyecto para la alcaldía de San Lucas - IDR (Instituto de Desarrollo Rural); posteriormente en el 2002 como supervisor de proyecto para la Alcaldía de San Lucas y Pueblo Nuevo, Departamento de Estelí. En el 2005 obtiene su título de Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en el CATIE.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA.....	VI
CONTENIDO	VII
RESUMEN.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
LISTA DE ANEXOS.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación	3
1.2 Objetivo general.....	5
1.2.1 Específicos	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Contaminación de manto acuífero	6
2.2 Vulnerabilidad a contaminación de un acuífero.....	6
2.3 Contaminación hidrogeológica	7
2.4 Contaminación agrícola	8
2.5 Fertilizantes como contaminantes del agua.....	9
2.6 El agua a través del suelo.....	9

2.7	Definiciones importantes	10
2.7.1	Cuenca hidrográfica	10
2.7.2	Cuenca hidrológica.....	10
2.7.3	Riesgo.....	11
2.7.4	Vulnerabilidad.....	11
2.7.5	Amenaza.....	11
2.7.6	Agua subterránea.....	12
2.7.7	Transmisibilidad hidráulica T	12
2.7.8	Producción específica.....	12
2.7.9	Anisotropía de la conductividad hidráulica (K)	12
2.7.10	Andesita	13
2.7.11	Basalto	13
2.7.12	Ignimbrita	13
2.8	Clasificación de los acuíferos	13
2.9	Descripción del método DRASTIC	14
2.10	Contaminación antropogénica y vulnerabilidad del acuífero	17
3.	METODOLOGÍA.....	18
3.1	Descripción del área de estudio	18
3.1.1	Pendiente de la subcuenca.....	18
3.1.2	Condiciones climáticas.....	19
3.1.3	Características socioeconómicas	19
3.1.4	Población.....	19

3.1.5	Salud.....	20
3.1.6	Drenaje, agua y saneamiento.....	20
3.1.7	Aspectos institucionales.....	20
3.2	División de la subcuenca.....	21
3.2.1	Zonas de vida.....	22
3.2.2	Suelos.....	22
3.3	Proceso metodológicos por objetivos.....	24
3.3.1	Objetivo 1.....	24
3.3.2	Objetivo 2.....	26
3.3.3	Objetivo 3.....	28
3.4	Parámetros DRASTIC.....	30
3.4.1	Profundidad de agua (Depth).....	30
3.4.2	Recarga (Recharge).....	32
3.4.3	Tipo de acuífero.....	35
3.4.4	Impacto en la zona no saturada (Impact Vadose zone).....	36
3.4.5	Tipo de Suelo.....	37
3.4.6	Topografía (Topographic).....	38
3.4.7	Conductividad hidráulica (Hydraulic conductivity).....	39
3.5	Sistema numérico de clasificación para los parámetros del método DRASTIC.....	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1	Objetivo 1.....	42
4.1.1	Identificación y ubicación de pozos.....	42

4.1.2	Sensibilidad a contaminación.....	43
4.1.3	Fuentes de contaminación en la subcuenca del río Aguas Calientes.....	46
4.1.4	Áreas de protección.....	49
4.2	Objetivo 2	51
4.2.1	Análisis bacteriológico.....	52
4.2.2	Análisis físico químico.....	55
4.3	Objetivo 3	58
4.3.1	(D) Profundidad del agua (Depth).....	58
4.3.2	(R) Recarga (Recharge).....	60
4.3.3	(A) Tipo de acuífero (Aquifer).....	62
4.3.4	(S) Tipo de Suelo (Soil).....	64
4.3.5	(T) Topografía (Topographic).....	65
4.3.6	(I) Impacto en la zona no saturada (Impact vadose zone).....	66
4.3.7	(C) Conductividad hidráulica (Hydraulic conductivity).....	68
4.3.8	Índice DRASTIC a Pesticida.....	70
4.3.9	Índice DRASTIC no Pesticida	72
4.4	Relación de características hidrogeológicas de la subcuenca y la vulnerabilidad a contaminación del recurso hídrico subterráneo.	73
5.	CONCLUSIONES.....	78
6.	RECOMENDACIONES.....	81
7.	LITERATURA CITADA	84
8.	ANEXOS	88

Obando Soriano, F. O. 2005. Situación del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis M.Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 131 p.

RESUMEN

Palabras claves: Vulnerabilidad, agua subterránea, método de Porchet, DRASTIC, sistema de información geográfica, conductividad hidráulica, recarga neta, balance hídrico de suelo, Nicaragua, Somoto- Madriz.

Mediante el uso del modelo DRASTIC, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos se evaluó la vulnerabilidad ambiental del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del río Aguas Calientes en Somoto – Madriz, Nicaragua.

Para la elaboración de esta investigación se implementó cartografía en forma digital por medio del Programa Arc View 3.3. El índice generado por el modelo indica el grado de vulnerabilidad de contaminación del agua subterránea, clasificada en tres rangos: Baja, Media y Alta. El objetivo principal fue identificar zonas donde el recurso agua subterránea es más susceptible a contaminación, determinándose áreas prioritarias de protección. En el estudio se utilizó el mapa geológico de la zona de Madriz, el registro de pozos perforados de ENACAL, Perforaciones Centroamericanas, el mapa de suelos de la subcuenca del río Aguas Calientes, el modelo de elevación digital, datos de conductividad hidráulica del acuífero y determinando recarga a través de balance hídrico de suelo. En cuanto a vulnerabilidad a pesticidas un 8,58% del territorio de la subcuenca del río Aguas Calientes posee una vulnerabilidad baja, en tanto que el 27,81% posee una vulnerabilidad moderada y el 10,98% posee una vulnerabilidad alta, está última zona ubicada específicamente en las comunidades de Aguas Caliente y la parte baja de Santa Rosa. Encontrando que la mayor cantidad de agua proviene del Río Coco a través de terrazas aluviales y fallas geológicas que se interconectan en el área de alta vulnerabilidad a pesticidas.

Fredy Obando, S. 2005. Underground water resources situation of the Aguas Calientes river watershed, Nicaragua, M.Sc., Thesis, Turrialba, C.R. CATIE. 131 p.

Keywords: Vulnerability, underground water, Porchet method, DRASTIC model, geographic information system, hydraulic conductivity, net recharges, underground water budget, Nicaragua, Somoto - Madriz.

SUMMARY

The environmental vulnerability of the underground water of the Aguas Calientes river watershed was evaluated in Somoto - Madriz, Nicaragua using the DRASTIC model developed by the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States. This model generates a vulnerability index ranging from low, medium, to high vulnerability. Also digital cartography and geographic information systems were used to model this study. The main objective was to identify areas where the underground water is more vulnerable to contamination. The information used for the study was the geological map from the area of Madriz, ENACAL registry of perforated wells, Central American Perforations, soil maps of the Aguas Calientes river watershed, digital elevation model, hydraulic conductivity data of the aquifer and recharge capacity. The vulnerability to pesticides where low in about 8,58% of the territory, 27,81% has a moderate vulnerability and the communities of Aguas Calientes and the lower part of Santa Rosa has a high vulnerability level, representing 10,98% of the territory. The main recommendation of this research, is that there is an important need to develop a hydro-meteorological monitoring system for the watershed. With that information the local government would be able to take the best decisions related to the management of this important resource in the area.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. La exactitud de la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a contaminación	7
Cuadro 2. Microcuencas que conforman la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	21
Cuadro 3. Valor de profundidad del agua y clasificación correspondiente según el método DRASTIC	31
Cuadro 4. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA para profundidad de agua	32
Cuadro 5. Clasificación de uso del suelo, área y porcentaje de la subcuenca del río Aguas Calientes.	33
Cuadro 6. Componentes del coeficiente de infiltración y factores de ponderación.....	34
Cuadro 7. Recarga Neta (R) y clasificación correspondiente en el método DRASTIC	34
Cuadro 8. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA para el parámetro de recarga neta.....	35
Cuadro 10. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA para medio del acuífero	36
Cuadro 11. Impacto de la zona no Saturada (I), rangos de clasificación del medio del acuífero, y el valor típico según el método DRASTIC.....	36
Cuadro 12. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA, para el medio del acuífero	37
Cuadro 13. Medio del suelo (S), tipo de suelos y rangos de clasificación según el método DRASTIC	37
Cuadro 14. Valor de ponderación para el tipo de contaminación en suelos según la EPA	38
Cuadro 15. Topografía (T) y clasificación según método DRASTIC	38
Cuadro 16. Valores de ponderación para el tipo de topografía de acuerdo a la EPA	39
Cuadro 17. Conductividad hidráulica (C) metros por día, centímetros por segundo y clasificación de acuerdo al método DRASTIC	40
Cuadro 18. Valor de ponderación para el tipo de conductividad hidráulica según la EPA	40
Cuadro 19. Vulnerabilidad relativa, rangos de índice DRASTIC y porcentaje de cada categoría para el mapa de pesticida.....	41
Cuadro 20. Vulnerabilidad relativa, rangos de índice DRASTIC y porcentaje de cada categoría para el mapa de no pesticida.....	41

Cuadro 21. Censo de pozos y porcentajes poblacional por comunidad en la subcuenca del río Aguas Calientes.	42
Cuadro 22. Características de la situación de pozos en la subcuenca del río Aguas Calientes.....	46
Cuadro 23. Análisis de calidad físico – químico en tres comunidades de la subcuenca de el río Aguas Calientes	56
Cuadro 24. Rangos de profundidad de agua y calificación asignada, según los datos obtenidos en campo en la subcuenca del río Aguas Calientes	59
Cuadro 25. Valor de ponderación por tipo de contaminación a profundidad según la EPA	59
Cuadro 26. Recarga potencial esperada en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	61
Cuadro 27. Rangos de recarga neta (mm) del acuífero Aguas Calientes y su correspondiente calificación en el método DRASTIC.....	61
Cuadro 28. Valor de ponderación para recarga a pesticida y no pesticida se acuerdo por la EPA.....	61
Cuadro 29. Litología de la zona de estudio (m) rango de calificación y calificación típica de impacto en la zona vadoza, subcuenca del río Aguas Calientes	63
Cuadro 30. Valor típico por contaminación al medio del acuífero, según EPA	63
Cuadro 31. Tipo de suelo, espesor determinado y calificación correspondiente en el método DRASTIC para la subcuenca del río Aguas Calientes.	64
Cuadro 32. Valor de ponderación por tipo de de suelo a contaminación, según la EPA.....	65
Cuadro 33. Escala y calificación para topografía (grados) según área de estudio.....	66
Cuadro 34. Tipo de calificación a contaminación por el grado de topografía, según EPA	66
Cuadro 35. Tipo de material y calificación para el medio del acuífero de acuerdo al material del área de estudio	67
Cuadro 36. Tipo de calificación a contaminación para el medio del acuífero, según la EPA	67
Cuadro 37. Escala de calificación para conductividad hidráulica en metros por día según área de estudio.....	69
Cuadro 38. Tipo de calificación por contaminación de acuerdo al grado de conductividad hidráulica, según la EPA	69
Cuadro 39. Descripción de pozos, propietarios y ubicación según perfil litológico parte baja en la subcuenca del río Aguas Calientes.....	75
Cuadro 40. Descripción de pozos, propietarios y ubicación según perfil litológico parte alta media en la subcuenca del río Aguas Calientes	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Descripción esquemática del método DRASTIC	16
Figura 3. Ubicación geográfica del área de la subcuenca río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	18
Figura 4. Proceso metodológico para la concretización del objetivo 1	24
Figura 5. Proceso esquemático para la concretización del objetivo 2	27
Figura 6. Descripción esquemática del método DRASTIC a realizar con ArcView	29
Figura 7. Modelo de elevación digital de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	33
Figura 8. Distribución de 264 pozos en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	43
Figura 9. Situación de pozos en la subcuenca del río aguas calientes, Somoto, Nicaragua	44
Figura 10. Relación entre el tipo de bomba y comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	45
Figura 11. Causa de conflictos comunales en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	48
Figura 12. Capacitación en comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	49
Figura 13. Cultivos anuales, bosque de galería, pasto mejorados y con maleza en el área de alta vulnerabilidad a pesticida en la subcuenca del río Aguas Calientes.....	50
Figura 14. Laguna de construcción artesanal en la parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	51
Figura 15. Ubicación de pozos afectados por coliformes fecales en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	52
Figura 16. Correspondencias múltiples coliformes fecales y comunidad de la subcuenca del río Aguas Caliente, Somoto, Nicaragua	53
Figura 17. Afectación de enfermedades en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	54
Figura 18. Disponibilidad de agua en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	55
Figura 19. Foto Roca Andesita fracturada parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	58
Figura 20. Mapa de niveles freáticos (m) de los pozos perforados en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	60
Figura 22. Mapa de zona vadoza de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	64
Figura 23. Mapa de suelos subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	65

Figura 24. Mapa de pendiente subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	66
Figura 25. Mapa de zona no vadoza subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	68
Figura 26. Mapa de conductividad hidraulica de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua ..	70
Figura 27. Índice DRASTIC vulnerabilidad a pesticida de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	72
Figura 28. Índice DRASTIC no Pesticida de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	73
Figura 29. Mapa de fallas geológicas parte baja subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	74
Figura 30. Perfil litológico parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua	75
Figura 31. Perfil litológico de la parte alta, media de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.....	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis físico químico de pozos perforados en las comunidades de Mansico, Uniles centro y Uniles Suyapa de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	89
Anexo 2. Análisis de metales pesados para pozos perforados de la parte alta y media de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	90
Anexo 3. Formato de encuestas utilizadas para caracterizar aspectos hídricos en la subcuenca del río Aguas Caliente.....	91
Anexo 4. Censo poblacional en 10 comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	93
Anexo 5. Conductividad del manto acuífero de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	93
Anexo 6. Profundidad de pozos perforados en comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	94
Anexo 7. Litología de la Zona vadoza o medio del acuífero por cada uno de los pozos perforados por comunidad en la subcuenca del río Aguas Calientes.....	95
Anexo 8. Pozos afectados por coliformes fecales en las 10 comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	96
Anexo 9. Inventario de los sistemas de abastecimiento de agua en la subcuenca aguas calientes, Somoto, Nicaragua.....	97
Anexo 10. Litología de pozos en la en la parte alta y media de la subcuenca del río Aguas Calientes.....	111

1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de nuestro Planeta está cubierto por el agua de los océanos, lagos, ríos y arroyos, además de las corrientes de agua subterránea. Sólo una pequeña parte de esta agua es dulce. El agua de los océanos, ríos y lagos contiene gran diversidad de vida tanto vegetal como animal. El problema es que los usamos como vertederos para nuestras basuras, alcantarillas o lugares donde se pueden tirar productos químicos venenosos procedentes de industrias. El agua subterránea aunque no se ve, es muy importante porque la usamos para cubrir nuestras necesidades, sobre todo, cuando hay sequía.

La reserva natural de agua subterránea del mundo, de la que dependen unos 2.000 millones de personas, se está reduciendo de manera alarmante según un informe de Naciones Unidas; los niveles de agua bajan unos tres metros cada año en la mayoría de países desarrollados (Leader, 2003).

Alrededor del mundo se han propuesto diferentes modelos para la determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Estos son modelos matemáticos y hacen uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar los mapas de vulnerabilidad y de esta forma, tomando en cuenta la amenaza, estimar el riesgo de contaminación. Estos mapas forman parte de un conjunto mayor de información, necesaria para el manejo racional de los recursos hídricos. En las últimas décadas ha tenido lugar un notable incremento de la demanda de agua debido en parte a la mejora de la calidad de vida y en parte al mayor desarrollo industrial y agrícola. Como contrapartida a esto se ha ido produciendo una notable modificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua (Ambientum, 2002).

Las cuencas hidrográficas de Nicaragua presentan problemas de degradación de sus recursos naturales principalmente el recurso hídrico, lo cual repercute en forma negativa en las actividades productivas y consecuentemente, en el nivel de vida de los habitantes de las áreas rurales y urbanas.

La vulnerabilidad a la contaminación es una característica de los acuíferos, difícil de determinar ya que la interacción entre diferentes factores, como profundidad del nivel freático

del acuífero, la capacidad de atenuación de las capas litológicas sobrepuestas al acuífero y la tasa de recarga, a través de la infiltración dependiente del tipo de suelo.

La intensificación agrícola de nuestro país es una consecuencia de la evolución de su contexto socioeconómico. Esta intensificación conlleva la introducción creciente de fertilizantes y plaguicidas en los sistemas de cultivo, excediendo límites por uso de agroquímico. De esta manera aumentando el nivel de riesgo a contaminación de suelos y aguas subterráneas, resultando de la carga contaminante y de la vulnerabilidad natural del ambiente a dicha contaminación. De estos dos factores, solamente la carga contaminante puede ser controlada o modificada por medio de educación ambiental y la aplicación de dosis adecuadas por cultivo fomentando el uso de pesticidas orgánicos.

Es aproximadamente entre 700 y 800 mm al año. El manejo del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca Agua Calientes está siendo explotado, extrayendo un 51% equivalente ha 727.187,00 El municipio de Somoto Madriz es un área de trópico seco donde la pluviosidad anual m^3 al año para el abastecimiento de agua potable a la población de urbana de Somoto Madriz. Esta explotación esta incrementando el riesgo a contaminación al exponer tal acuífero a posibles contaminaciones por actividad antrópica, cultivos anuales (hortalizas) y excavaciones de pozos cerca de fuentes contaminantes.

Es importante que las comunidades locales estén concientes del peligro del agua de riego a que está expuesto el manto acuífero para que puedan tomar decisiones de protección y mitigación de posibles contaminantes vertidos a la superficie del suelo que se infiltra por percolación de forma acumulativa.

1.1 Justificación

La contaminación y la escasez de agua para la alimentación y la higiene provocan la muerte de 12 millones de personas en el mundo al año. Además, el problema del agua atrapa a millones de personas en la pobreza, porque gastan mucho tiempo en buscar agua limpia. En la Conferencia sobre Agua Dulce, realizada en Bonn (Alemania). El Programa PNUMA estableció en 50 litros por persona por día, la necesidad básica de agua. Sin embargo, las personas más pobres cuentan con 10 litros de agua diaria por persona para sobrevivir y, en el otro extremo, las personas de países desarrollados utilizan 250 litros o más día por persona, (PNUMA, 2004).

El uso intensivo del agua subterránea se está convirtiendo en una situación común en muchas áreas del mundo, especialmente en las áridas y semiáridas, lo cual refleja las diferentes situaciones con las que se enfrentan distintas regiones a causa de sus distintas condiciones climáticas, hidrogeológicas, económicas, sociales y políticas.

La demanda por agua potable de origen subterráneo está aumentando aceleradamente por parte de la población rural y urbana en el municipio de Somoto, en su mayoría para autoconsumo. La época seca, durante los últimos años, ha sido muy prolongada en esta zona, disminuyendo la recarga al manto acuífero y bajando su nivel debido a la demanda creciente de la población urbana.

El uso intensivo del agua subterránea puede producir algunos efectos colaterales negativos. Estos efectos negativos se refieren en su mayor parte al descenso del nivel freático y la reducción de la calidad.

Debido a que en el municipio de Madriz, se está explotando el recurso hídrico subterráneo, extrayéndosele el 45% de agua para consumo urbano, es necesario buscar formas de sostener este manto acuífero, con la ayuda de las instituciones y las ONG que trabajan con las comunidades en la subcuenca.

La fuerte presión por las poblaciones comárcales en la subcuencas Aguas Calientes ha originado un creciente aumento de pozos perforados y excavados. Estos pozos no reúnen las normas de calidad estipuladas por la Organización Mundial de la Salud para los usuarios, produciendo una alta vulnerabilidad a la contaminación del manto acuífero por la actividad antrópica.

Un papel fundamental del agua de calidad para consumo humano es la disminución de enfermedades de origen intestinal y viral como por ejemplo la hepatitis A, producto del deficiente saneamiento ambiental.

La deforestación desmedida en las laderas de la parte alta y media de la subcuenca, que comprende el área de recarga, está originando mayor escorrentía superficial, acumulándose mayor sedimentación en la parte baja y causando menor infiltración. Sin embargo uno de los desastres naturales que han causado más daño en el municipio de Somoto, en agricultura y a la recarga del manto acuífero, es la sequías prolongadas. Esta situación genera gran impacto negativo, principalmente en la población rural, debido a que sus actividades económicas están basadas principalmente en la agricultura; en muchos de los casos el cultivo se pierde por falta de agua en los momentos críticos del crecimiento.

Para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo es necesaria una adecuada protección, conociendo las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación. Con esta base se puede establecer en ellas programas específicos de inspección y monitoreo sobre posibles fuentes de contaminación y buscar soluciones para su mitigación.

El recurso hídrico en la región Norte del País es limitado, principalmente en la subcuenca del río Aguas Calientes, surgiendo la necesidad de una gestión integral en la que estén representados todos los usuarios de agua, mediante el manejo efectivo, para prevenir la contaminación y reducir los conflictos que usualmente se generan al acceder a este vital líquido.

1.2 Objetivo general

Analizar la situación del recurso hídrico subterráneo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Madriz, Nicaragua.

1.2.1 Específicos

- Identificar y caracterizar la situación de los pozos de agua para consumo humano en la subcuenca del río Aguas Calientes.

- Analizar la calidad físico - química y bacteriológica del agua subterránea para consumo humano, a fin de determinar los niveles de contaminación en la subcuenca del río Aguas Calientes.

- Analizar la vulnerabilidad a contaminación del manto acuífero mediante la aplicación del modelo DRASTIC.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contaminación de manto acuífero

Las aguas subterráneas son parte del ciclo hidrológico, que comprende el movimiento continuo de agua entre la tierra y la atmósfera por medio de la evaporación y la precipitación. Parte del agua que cae por la precipitación de lluvia y nieve se incorpora a lagos, ríos, arroyos y océanos. Otra parte se infiltra en la zona radicular y es evapotranspirada por la vegetación. El resto del agua se filtra a través del subsuelo y pasa a formar los acuíferos subterráneos (Umaña y Mendoza, 2000).

Debido al lento ritmo de renovación de las aguas subterráneas, una vez contaminadas, su depuración es complicada, lenta y costosa. Los procesos naturales de autodepuración son limitados, consistiendo en filtración a través del subsuelo, además de procesos naturales de neutralización, oxidación, reducción, etc. que degradan los agentes contaminantes. Estos procesos dependen de la geomorfología del terreno. Por ejemplo, los terrenos arcillosos son más resistentes a la contaminación que los calcáreos (Ambientun, 2002).

2.2 Vulnerabilidad a contaminación de un acuífero

El término vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es usado 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.

Según Foster y Hirata (1988), la vulnerabilidad es primeramente una función de:

- a) La inaccesibilidad de la zona saturada, en sentido hidráulico, a la penetración de contaminantes;
- b) 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.

La exactitud de la evaluación de vulnerabilidad depende, sobre todo, de la cantidad y calidad de los datos tal como se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. La exactitud de la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a contaminación

El grado de vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación por nitratos depende:		
Factores de carácter endógeno	Características litoestratigráficas del acuífero	Espesor
		Textura
		Contenido de materia orgánica
		Permeabilidad
		Grado de fisuración
Factores de carácter exógeno	Características de la carga contaminante	
	Forma de incorporación del contaminante al terreno	
	Régimen pluviométrico y su relación en zonas de cultivo con los sistemas de abonado y riego	
	Temperatura del agua que se infiltra	
	Condiciones de construcción de los pozos de explotación	

El termino “vulnerabilidad” es usado para identificar un conjunto de factores del complejo hidrogeológico que marcan la susceptibilidad de recibir y difundir un contaminante soluble o transportable 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.

2.3 Contaminación hidrogeológica

La contaminación del agua subterránea puede ser producida por agentes biológicos (organismos patógenos) y por sustancias químicas, introducidas al suelo por las diferentes actividades antropogénicas, deforestación, cambio de uso de la tierra que reducen la recarga y/o cambia su calidad, al igual que el uso disperso de agroquímicos utilizados en agricultura intensiva como café e impermeabilización de áreas de recarga por la ganadería extensiva.

2.4 Contaminación agrícola

Las prácticas agrícolas siempre ejercen una gran influencia sobre la calidad del agua subterránea y pueden causar problemas serios bajo ciertas circunstancias. Su influencia es grande porque normalmente se realiza sobre áreas de recarga de acuíferos (CEPIE, 1987), ya que los suelos agrícolas deben tener una conductividad hidráulica media.

La diferencia esencial entre otras fuentes de contaminación y la de prácticas agrícolas es que éstas son fuentes no puntuales. Los contaminantes potenciales son: los residuos animales, las sales en el agua de irrigación y toda la gama de diferentes compuestos químicos, aplicados a las cosechas. Entre éstos se encuentran los pesticidas y los compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos, de nitrógeno, fósforo y potasio, todos ellos presentes en fertilizantes comerciales (FAO, 1981).

Se suele distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal. Las actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de purines procedentes de las granjas.

La contaminación difusa suele ser provocada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas.

2.5 Fertilizantes como contaminantes del agua

La agricultura intensiva conlleva a la utilización de volúmenes elevados de agua para riego por prácticas inadecuadas empleando una variedad de fertilizantes y productos fitosanitarios, que aplicados sin control adecuado, pueden ser lixiviados en el suelo y pueden contaminar por infiltración las aguas subterráneas (Faustino,1987).

Un problema frecuente cuando se aplica agua de riego al suelo, es la saturación que puede llegar a alcanzar. El volumen de agua sobrante, se infiltra en la zona no saturada, pudiendo contener potencialmente fertilizantes y productos fitosanitarios que pueden llegar a contaminar el manto acuífero (Calvo, 1999).

Independientemente del origen de la fuente de contaminación, la cantidad de nitrato que se incorpora a las aguas subterráneas está controlada por un complejo conjunto de procesos biológicos, químicos e hidrológicos que se desarrollan en el medio subterráneo. Para explicar dichos procesos se hace necesario conocer las relaciones entre las distintas fases del ciclo del nitrógeno (Ambientun, 2002).

La cantidad de nitratos que se lixivian hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo. La mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas, cargadas negativamente, con lo que repelerán a los aniones, y como consecuencia, estos suelos lixiviarán con facilidad a los nitratos (Calvo, 1999).

2.6 El agua a través del suelo

El movimiento del agua a través del suelo está asociado a un arrastre de productos orgánicos e inorgánicos que van siendo absorbidos, en mayor o menor cuantía, según el producto de que se trate y según el tipo de suelo. Esta capacidad de absorción es mayor en los

suelos de textura fina, aumentando en función del mayor contenido de materia orgánica del suelo receptor. La profundidad a que penetran los productos químicos aportados por un vertido depende del volumen de agua infiltrada y del coeficiente de absorción del compuesto (Calvo, 1999).

Una parte del agua infiltrada se puede mover más rápidamente en sentido horizontal, en la parte superior del suelo, siguiendo macroporos, canalículos y grietas., La tasa de infiltración viene limitada por la permeabilidad intrínseca del suelo y su estado de humedad (Custodio, 1998).

2.7 Definiciones importantes

2.7.1 Cuenca hidrográfica

Cuenca hidrográfica es una unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas". El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior (INE, 2004).

2.7.2 Cuenca hidrológica

La definición de cuenca hidrológica es más integral que la de cuenca hidrográfica. Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo (INE, 2004). En la cuenca hidrológica el parteaguas se define en función de las aguas subterráneas. Con frecuencia la cuenca hidrológica coincide aproximadamente con la cuenca hidrográfica, excepto en las formaciones kársticas, tanto las cuencas hidrográficas como las hidrológicas se pueden subdividir en tres zonas de funcionamiento hídrico principales, tal como se muestra en la Figura 1:

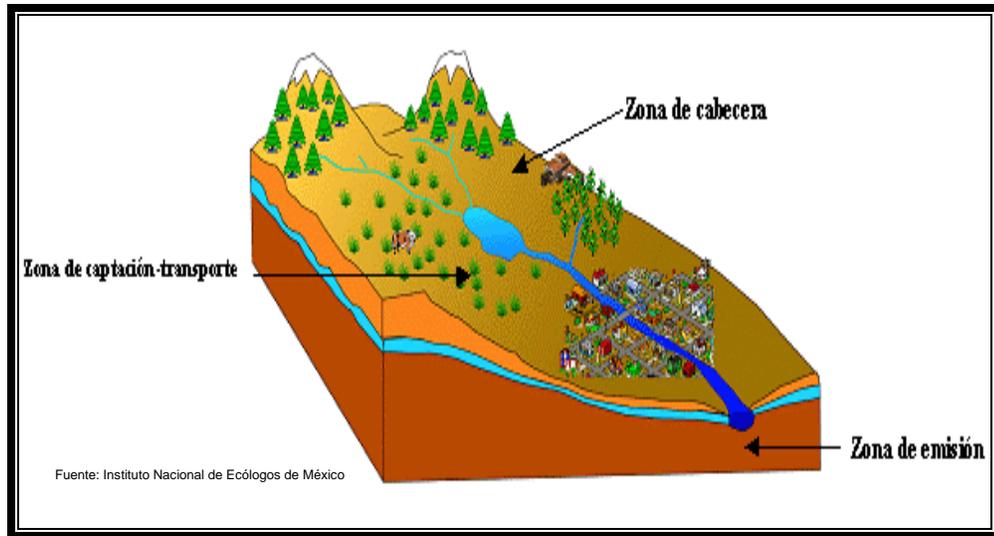


Figura 1. Partes de cuenca hidrográfica (para fines de estudio)

2.7.3 Riesgo

El Riesgo, o daño, es la destrucción o pérdida esperada obtenida de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo (Spence, 1990).

2.7.4 Vulnerabilidad

Vulnerabilidad como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 con pérdida total (Darío, 2002). El concepto de Riesgo y vulnerabilidad están intrínsecamente relacionados.

2.7.5 Amenaza

La amenaza o peligro, o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como

la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo (Darío, 2002).

2.7.6 Agua subterránea

Se entiende por aguas subterránea el agua que ocupa parcial o totalmente los vacíos dentro del estrato geológico. En la zona saturada todos los poros, macro y microsporos, están llenos de agua. En la zona no saturada, los macrosporos están vacíos, y los microsporos pueden estar llenos o parcialmente llenos. El nivel freático es la línea divisoria entre los dos tipos de zona.

2.7.7 Transmisibilidad hidráulica T

La transmisibilidad (T) se define como el caudal o flujo de agua subterránea que pasa a través de una sección vertical del acuífero, de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del manto, bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad, expresándose en $m^2/día$ o en $cm^2/día$ (Llamas, 2002).

2.7.8 Producción específica

Es el cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso de nivel producido. El caudal específico de un pozo no es constante para un determinado caudal ya que con el tiempo el descenso aumenta, sin embargo los descensos tienden a estabilizarse y por lo tanto el caudal específico también (Llamas, 2002).

2.7.9 Anisotropía de la conductividad hidráulica (K)

Es una propiedad en los suelos de variar la conductividad hidráulica K en función de la dirección del flujo., siendo la conductividad hidráulica el caudal por unidad de área y con un gradiente unitario.

2.7.10 Andesita

Es una lava andesítica medianamente fluida, dependiendo de su contenido en sílice (52-63% SiO₂) y contenido de cristales. Tienen espesores que llegan hasta 60 m. (Clavelo, 2003).

2.7.11 Basalto

Es una lava basáltica generalmente muy fluida debido a su bajo contenido en sílice (48-52% SiO₂), bajo porcentaje de cristales y alto grado de desgasificación (los gases escapan fácilmente al tener baja viscosidad). Debido a su alta fluidez la lava resultante es de poco espesor (menor a un par de metros), pero puede alcanzar grandes distancias y/o extensiones. Habitualmente presentan formas superficiales tipo cordadas o trenzas, muy suaves y lisas (Clavelo, 2003).

2.7.12 Ignimbrita

Es el término que señala un depósito de flujo piroclástico de gran volumen. Antiguamente se asociaba el término ignimbrita a una composición ácida del magma (dacita a riolita) y soldamiento del depósito (compactación y aplastamiento de las pómez por diversos factores). En volcanología moderna, sólo se refiere a un volumen importante (generalmente mayor a 1 km³), ya que se ha descubierto recientemente numerosos depósitos de flujo piroclástico de composición básica (basaltos y andesitas) (Clavelo, 2003).

2.8 Clasificación de los acuíferos

➤ Acuífero

Es aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Custodio, 1998). Es una estructura geológica estratigráfica sedimentaria, cuyo volumen de poros está ocupado por agua en movimiento o

estática, capaz de ceder agua en cantidades significativas ya sea por afloramiento en manantiales o por extracción mediante pozos teniendo como recarga el agua de percolación.

➤ Acuífero libre

Es también llamado acuífero freático y es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable; el límite superior está formado por la tabla de agua, la que se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica (Villón, 2002).

➤ Acuífero confinado

Un acuífero confinado es una formación permeable completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables, la presión del agua es mayor que la atmosférica, por tal razón, el agua en pozos que penetran tales acuíferos se le denomina agua confinada o artesiana (Villón, 2002).

➤ Acuífero semi confinado

Es una formación permeable saturada, cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable, en la capa superior se encuentra la tabla de agua, cuya altura difiere de la carga piezométrica (Villón, 2002).

2.9 Descripción del método DRASTIC

El método DRASTIC fue desarrollado en los Estados Unidos de Norte América, con el objeto de crear una herramienta para evaluar sistemáticamente el potencial de contaminación del agua subterránea de cualquier ambiente hidrogeológico con la información existente. Para ser aplicada, esta metodología debe reunir las siguientes condiciones:

1. Que el contaminante sea introducido en la superficie del terreno.
2. Que el contaminante penetre con el agua de recarga.
3. Que el contaminante tenga la movilidad del agua.
4. Que el área evaluada sea mayor o igual a 45 ha.

Cuando no se cumplen estas condiciones, la evaluación del potencial de contaminación del agua subterránea mediante este método, no es confiable.

DRASTIC es una herramienta del Sistema de Información Geográfica (SIG) siendo la base de entrada, con manipulación de grandes volúmenes de información espacial para la generación de mapas. El método DRASTIC es un método empírico desarrollado por Aller et al. en 1987 y patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Este método busca sistematizar la determinación del potencial de los contaminantes de alcanzar la zona saturada. Esta técnica es denominada así, por los siete factores que se toman en cuenta para la determinación de la vulnerabilidad figura 2.

Estos factores son:

D	(depth - profundidad del agua freática)
R	(recharge - recarga neta)
A	(aquifer - litología del acuífero) tipo de acuífero
S	(soil - tipo de suelo)
T	(topography - topografía)
I	(impact - litología de la sección subsaturada) impacto de la zona vadosa no saturada.
C	(hydraulic conductivity – conductividad hidráulica).

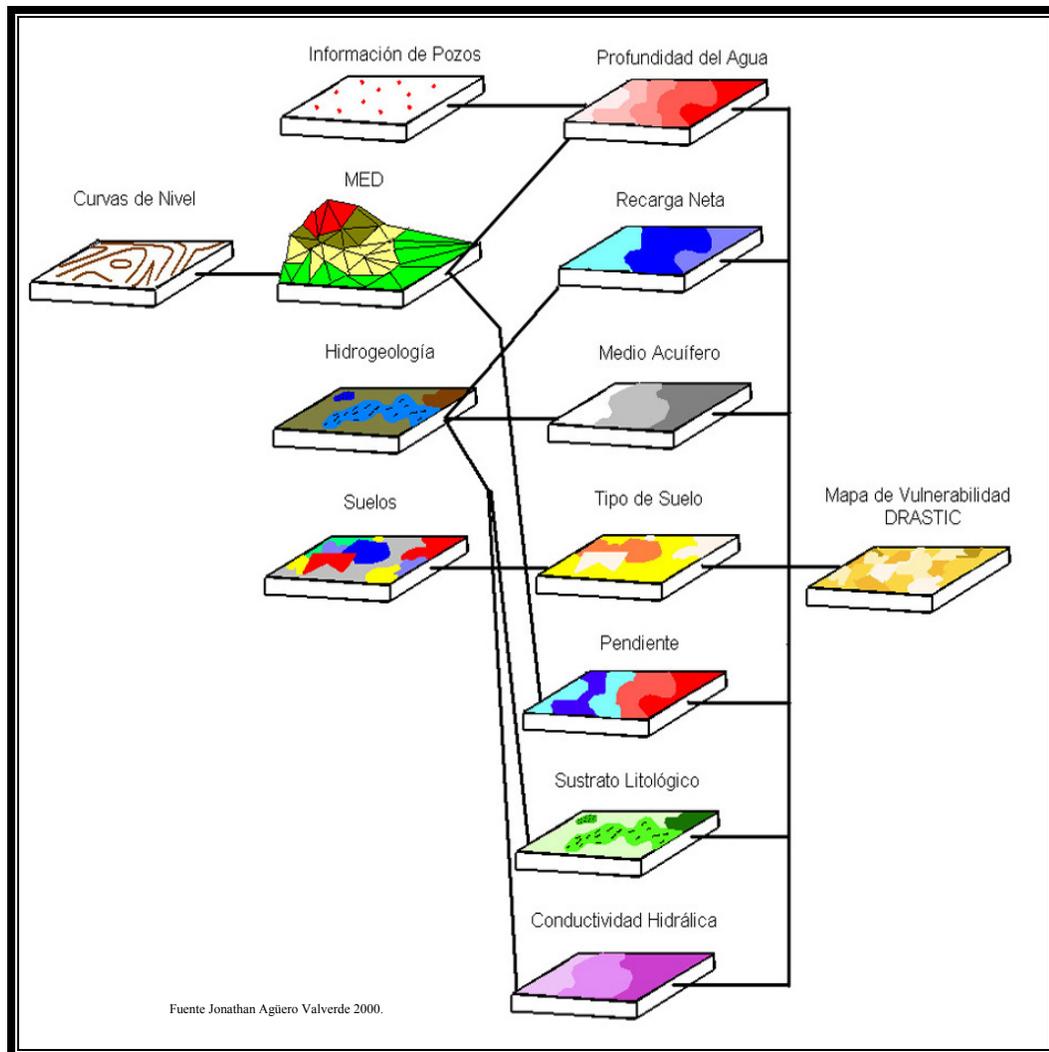


Figura 2. Descripción esquemática del método DRASTIC

El índice DRASTIC es calculado con los factores de la ecuación siguiente:

Ecuación No. 1.

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = CP$$

CP = contaminación potencial

r = factor de clasificación

w = factor de ponderación

Este método provee una forma simple de asignar la susceptibilidad de ciertas áreas a la contaminación. Los factores de clasificación se establecen del 1 al 10, mientras los factores de ponderación varían según el factor implicado. Los factores más importantes son la

profundidad del nivel de agua, el tipo de suelo y el impacto de la zona no saturada. Además los factores de ponderación cambian cuando se trata de agentes contaminantes pesticidas. Estas diferencias se deben a que los pesticidas resultan menos volátiles y más persistentes en el ambiente.

La utilización de esta metodología con ponderaciones y rangos se utilizó con base a característica de acuíferos de los Estados Unidos de Norte América, los cuales se adaptaron a los parámetros de pendiente, litología, tipo de suelo, recarga y conductividad hidráulica según el área de estudio.

2.10 Contaminación antropogénica y vulnerabilidad del acuífero

El empleo de fertilizantes, la aplicación de plaguicidas y el uso inadecuado de las aguas de riego, son las principales causas de la contaminación del agua subterránea por actividad antropogénica.

La ganadería puede contaminar la fuente de agua subterránea por residuos de origen líquido (purines), por materia orgánica sólida y es por ello que toda sustancia orgánica e inorgánica que tiene efectos indeseables en el agua debe ser controlada, impidiendo que lleguen al acuífero.

En el área urbana y rural, el agua subterránea, frecuentemente constituye un importante recurso de abastecimiento de agua para distintos usos. En algunas ocasiones, las características propias del sistema natural determinan que la cantidad, accesibilidad y en especial la calidad del agua subterránea, se torne inadecuada para algunos, o todos los usos requeridos. Por lo tanto, es importante dejar claro que el agua subterránea no siempre es sinónimo de recurso disponible. En muchas ocasiones, los recursos hídricos subterráneos suelen perder tal categoría al estar afectados por distintas actividades contaminantes que incorporan al agua subterránea una variedad de sustancias tóxicas (metales pesados, compuestos orgánicos, organismos patógenos).

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La subcuenca del río Aguas Calientes se localiza en la región de Las Segovias, al Norte de Nicaragua, (figura 3). Está conformada por cuatro afluentes: Aguas Calientes, La Sierpe, Los Copales y Susuba. Limita al Norte con un sector del Río Coco, al Sur con el municipio de San Lucas, al Este con la subcuenca del Río Somoto y la ciudad de Somoto y al Oeste con la Subcuenca del Río Inalí. Comprende diez comunidades distribuidas en dos municipios. Tiene un área de 47 km² (Martínez y Granado, 1998).

Geográficamente está comprendida entre las coordenadas 13°24'10" y 13°29'28" Latitud Norte y 86 ° 34'12" y 86 ° 39'39" Longitud Oeste (Umaña y Mendoza, 2000).

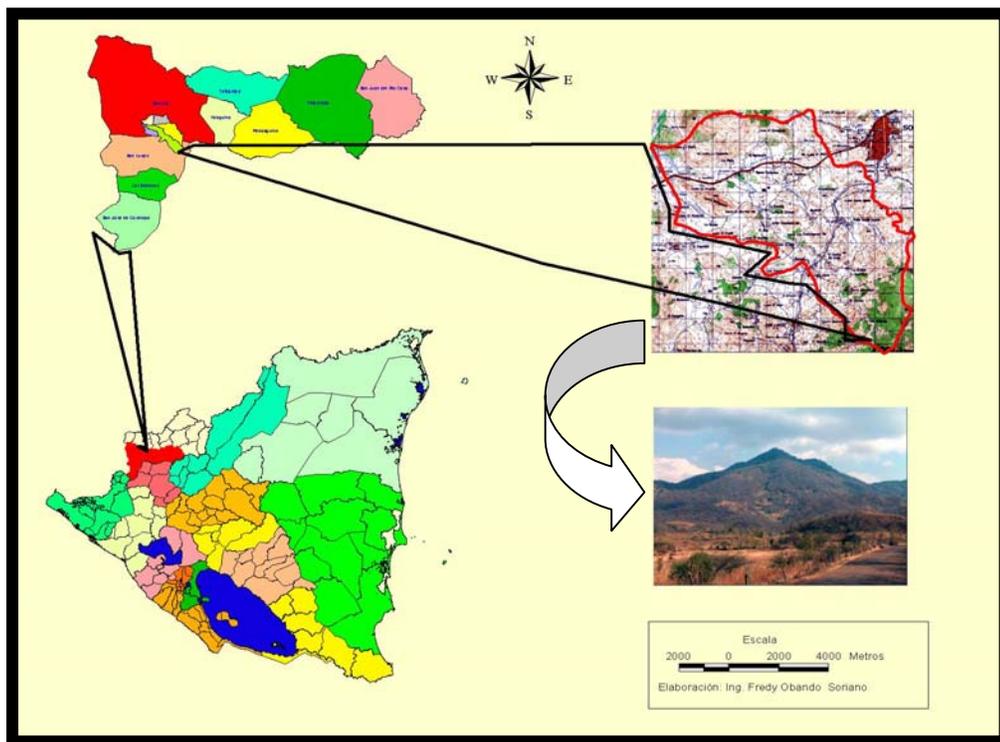


Figura 3. Ubicación geográfica del área de la subcuenca río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua.

3.1.1 Pendiente de la subcuenca

El 38,25% del área de la subcuenca tiene una pendiente de 0 a 2% y que comprende gran sector de la parte baja y media de la subcuenca. El 24% del área tiene pendiente mayor de 15%; con poca o ninguna cobertura vegetal, podrían estar propenso a severos daños por erosión hídrica, La pendiente media de la de la subcuenca es aproximadamente de 9% (Umaña y Mendoza, 2000).

3.1.2 Condiciones climáticas

El clima del municipio es variado. En las partes bajas es de tipo trópico seco y en la parte elevada y montañosa es húmedo. La temperatura oscila entre los 24 y 25 °C. Las precipitaciones varían desde 630 mm hasta 800 mm por año, con una distribución irregular, iniciando el período lluvioso en junio y concluyendo en noviembre, con un período canicular seco bien marcado, comprendido entre los meses de julio y agosto (Martínez y Láinez, 1998).

3.1.3 Características socioeconómicas

La subcuenca ha tenido como base económica la producción agropecuaria, principalmente los cultivos de granos básicos (frijol, sorgo, maíz) en mayor medida para autoconsumo y un porcentaje menor para la venta al mercado local. También hay cultivo de henequén y café en las subcuencas media y alta, hortalizas de riego en la subcuenca baja (FNUAP et al; 2000).

3.1.4 Población

En la subcuenca habitan aproximadamente 6.694 habitantes. La subcuenca está conformada por 10 comunidades en las que habitan 1.479 familias. En la parte baja habitan 2.001 personas equivalente al 29,89%. En la parte media es donde se encuentra concentrada la mayor parte de la población, habitan aproximadamente 2.711 personas, lo que representa el 40,5% de la población total. En la parte alta se concentra una población de 1.982 habitantes, representando el 29,61% del total de habitantes. De las 10 comunidades que forman la subcuenca, ocho comunidades pertenecen geográficamente al municipio de Somoto donde

habitan un total de 5.610 personas, y dos comunidades correspondientes al municipio de San Lucas donde habitan un total de de 1.084 personas.

3.1.5 Salud

El sector salud en el municipio de Somoto cuenta con cinco unidades de atención médica, entre ellos un hospital general; las restantes se localizan en comunidades rurales. Estas unidades son las encargadas de brindar seguimiento a mujeres embarazadas, lactantes y llevar los registros de enfermedades producto de agua contaminada por agentes externos (INIFON- FNUAP; 1998).

3.1.6 Drenaje, agua y saneamiento

La subcuenca del río Aguas Calientes está conformada por una red de drenaje como son la quebrada Aguas Calientes, que nace al Noreste de la Loma el Camaleón; su recorrido es aproximadamente de 8 km. A esta quebrada le tributan La Sierpe, La Susuba, y Los Copales; finalmente tributa al Río Coco (ENACAL, 2003).

Es la parte baja de la subcuenca se encuentran los pozos de ENACAL que producen el 50 – 51 % del agua que se consume en el Municipio de Somoto, equivalente a 619.509 m³ al año, de un total de 1.215.252 m³ que produce el Guayabo y los pozos ubicados en la subcuenca baja (ENACAL, 2004).

3.1.7 Aspectos institucionales

La subcuenca Aguas Calientes comenzó su fortalecimiento después del proceso participativo de formulación del Plan Rector de Producción y Conservación de la Subcuenca. Dicho proceso fue auspiciado por TROPISSEC (Proyecto de Capitalización de Pequeños Productores del Trópico Seco) con el apoyo de entidades presentes en la zona entre las cuales se describen: INTA (Instituto de Tecnología Agropecuaria), MCN (Movimiento Comunal Nicaragüense), Alcaldía de Somoto, Alcaldía de San Lucas, CopHema (Cooperativa de Henequeneros de Madriz), APODESO (Asociación de Pobladores por el Desarrollo de Somoto), MARENA (Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente), ACH (Acción

Contra el Hambre), ANASAN (Asociación Nicaragüense de Agua y Saneamiento), PCAP (Programa Campesino a Campesino), Policía Nacional, INAFOR (Instituto Nacional Forestal), MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal) y el Ministerio de Educación San Lucas (Alcaldía, 2000). Actualmente 20 (veinte) instituciones se han sumado en pro del fortalecimiento y desarrollo local, teniendo como base el comité de cuencas impulsado por el Programa Focuencias II del CATIE.

3.2 División de la subcuenca

La subcuenca se divide en tres zonas bien diferenciadas:

Parte baja: comprende desde la desembocadura del cauce principal en el Río Coco con las comunidades de Aguas Calientes, Los Copales y Santa Rosa, desde una elevación 620 m.s.n.m hasta la cota 700 m.s.n.m., y tiene un área de 12,56 km².

Parte media: comprende desde la cota 700 m.s.n.m. hasta la cota 900 m.s.n.m con un área de 26,71 km², ubicándose las comunidades de Santa Isabel y Uniles.

Parte alta: comprende desde la cota 900 m.s.n.m hasta la cota 1700 m.s.n.m correspondiente a un área de 8,09 km², ubicándose las comunidades de El Rodeo, Quebrada de Agua, Mansico, El Volcán y El Porcal.

La subcuenca está conformada por cinco microcuencas. Esta información se resume en el cuadro 2.

Cuadro 2. Microcuencas que conforman la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

<i>Microcuencas</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Comunidades</i>
<i>La Sierpe</i>	<i>4,68</i>	
<i>Los Copales</i>	<i>14,84</i>	<i>Los Copales</i> <i>Santa Isabel</i> <i>El Rodeo #2</i>

		<i>Quebrada de Agua Mansico</i>
<i>Aguas Calientes</i>	6,95	<i>Aguas Caliente</i>
<i>La Chata</i>	4,41	
<i>La Susuba</i>	16,48	<i>Santa Rosa</i> <i>El Porcal, el Volcán, Uniles</i>

3.2.1 Zonas de vida

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), se definen en la subcuenca dos zonas de vida:

Bosque Seco Subtropical (BSSt): ocupa la mayor parte del área con 4.263 ha, lo que representa el 90% de la superficie total, comprende la parte cuenca baja, media y alta.

Bosque Seco Subtropical Premontano (BSStP): comprende la parte alta de la subcuenca, con una superficie de 47 km², correspondiente a un 10% del área total (MAGFOR, 2001).

3.2.2 Suelos

Los suelos de la subcuenca se caracterizan por ser moderadamente profundos, con textura de franco a franco arcilloso, de colores oscuros en la parte baja y rojizos, principalmente en la parte alta. En la subcuenca se identifican dos órdenes de suelos: Molisoles e inceptisoles, describiéndose a continuación sus características.

Molisoles: ocupan la mayor parte de la superficie de la subcuenca, aproximadamente 4.466 ha, que representan el 94% del total. Estos son suelos que tienen un desarrollo juvenil (A-B-C) con un horizonte superficial “A” de color oscuro, alto en saturación de bases, con gran afluencia orgánica; “B” enriquecido, producto de la eluviación de las capas superiores y “C” material parental afectado por los procesos de intemperización de suelo. Se ubican en la subcuenca baja y media (Umaña y Mendoza, 2000).

El orden Molisoles es uno de los suelos más importantes para la agricultura y se caracterizan por un horizonte superficial el cual es grueso oscuro y dominado por cationes divalentes. Estos suelos se caracterizan por tener un horizonte nítrico, cámbico, argílico o albico pero nunca óxico o espódico, (Textura migajón. Al menos 30 cm de espesor con oxidación de compuestos de Fe y sólo trazas de Al y silicatos). El horizonte superficial tiene estructuras granulares.. (Brady, 1984).

Inceptisoles: ocupan una pequeña parte de la subcuenca, aproximadamente 2,7 km², que representan el 6% del área total. Se ubican en la parte más alta de la subcuenca zona conocida como El Volcán. Estos suelos presentan un grado de evolución incipiente con un perfil tipo (A-B-C). Se identifica en este orden únicamente el grupo Eutropepts que son suelos que se distribuyen en relieves accidentados, tiene con texturas medias y son poco a moderadamente profundos (Alcaldía de Somoto, 2000).

Estos suelos pueden alcanzar horizontes que resultan de la alteración del material parental, con horizontes de marcada acumulación de arcilla y hierro (Brady, 1984).

3.3 Proceso metodológicos por objetivos

3.3.1 Objetivo 1

Identificar y caracterizar la situación de los pozos de agua para consumo humano en la subcuenca del río Aguas Calientes.

En la figura 4 se presta en esquema del procedimiento utilizado para cumplir con este objetivo.

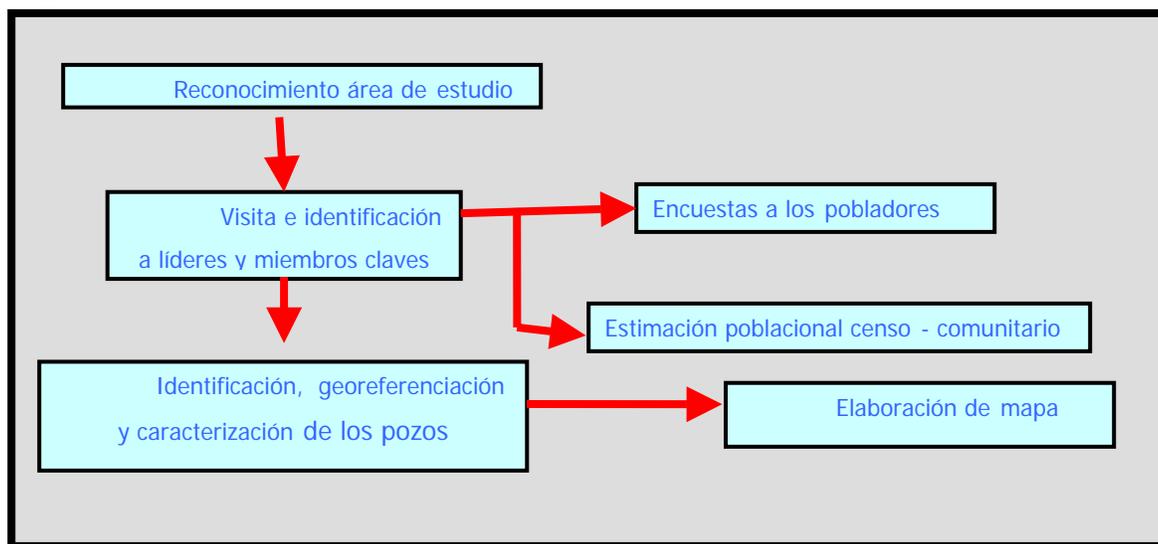


Figura 4. Proceso metodológico para la concretización del objetivo 1

Para el desarrollo del mismo fue necesario ejecutar las siguientes actividades:

1. Realizar un recorrido por cada una de las comunidades
2. Visitar a los miembros y líderes comarcales.
3. Capacitar los líderes para la realización de encuestas y la realización de un censo comunitario.
4. Finalmente verificar el censo con el registro digitalizado por las alcaldías de Somoto y San Lucas.

Luego de conocer la cantidad de pozos por comunidad en la subcuenca Agua Calientes se procedió a realizar un recorrido con el líder de la comunidad para establecer su ubicación y distribución de los pozos dentro del área de estudio con el sistema de posicionamiento global (GPS – Garmin); recopilándose información in situ de el tipo de pozo, tipo de bomba de succión, estado actual del sistema y su respectiva posición geográfica, para posteriormente realizar un mapa de la distribución espacial de los pozos y sus respectivos dueños.

En la encuesta realizada se incluyeron los siguientes componentes: caracterización del sistema de agua, tipos de bombas en pozos, infraestructura del sistema, tipo de cultivo, calidad de agua, organización local, usos del agua, fuentes contaminantes, conocimiento local y alternativas para abastecimiento de agua.

Las familias representan la población total, estadísticamente el universo de la muestra. Para realizar la encuesta se llevó a cabo un pre-muestreo diferenciando dos estratos; (familias capacitadas: al menos un miembro capacitado y familias no capacitadas) La unidad de muestreo la familia y la unidad de medición, el responsable de hogar. Para cada estrato se aplicaron 30 encuestas como pre-muestras para poder inferir en la varianza y reducir al máximo el error. El muestreo aplicado fue bietápico, completamente al azar para cada estrato. Producto de la aplicación de este procedimiento se determinó no estratificar para la aplicación de las restantes encuestas.

Una vez ejecutado el muestreo se calculó el tamaño de la muestra total. Para ello se escogió una pregunta, cuya respuesta fue que el 50% de los encuestados habían recibido capacitación en manejo y cloración de agua para consumo humano.

Según este resultado, no fue necesario estratificar por ser variables homogéneas, las restantes encuestas fueron realizadas al azar en cada una de las comunidades por su similitud; Se encuestaron 162 productores, jefes de familia, entre capacitados y no capacitados, pero lo recomendado para el tamaño de la muestra era de 141 encuestados.

A partir de la información brindada por el pre-muestreo se estimó el tamaño final de la muestra, mediante la ecuación siguiente:

$$n = \frac{N \sigma^2}{(N - 1) * \frac{B^2}{4} + \sigma^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población (1479 familias)

σ^2 = Varianza (0,25)

β^2 = Límite del error de estimación (0,08)

4 = nivel de confianza (95%)

Sustituyendo

$$n = \frac{149 \times 0.25}{(1478) \times 0,08^2 + 0.25} = 141 \quad \text{Muestras}$$

Para el tamaño de la muestra se seleccionó una estimación de 8% de error.

3.3.2 *Objetivo 2*

Analizar la calidad físico - química y bacteriológica del agua subterránea para consumo humano, a fin de determinar los niveles de contaminación en la subcuenca del río Aguas Calientes.

En la figura 5 se presenta en diagrama del procedimiento metodológico utilizado para este objetivo.

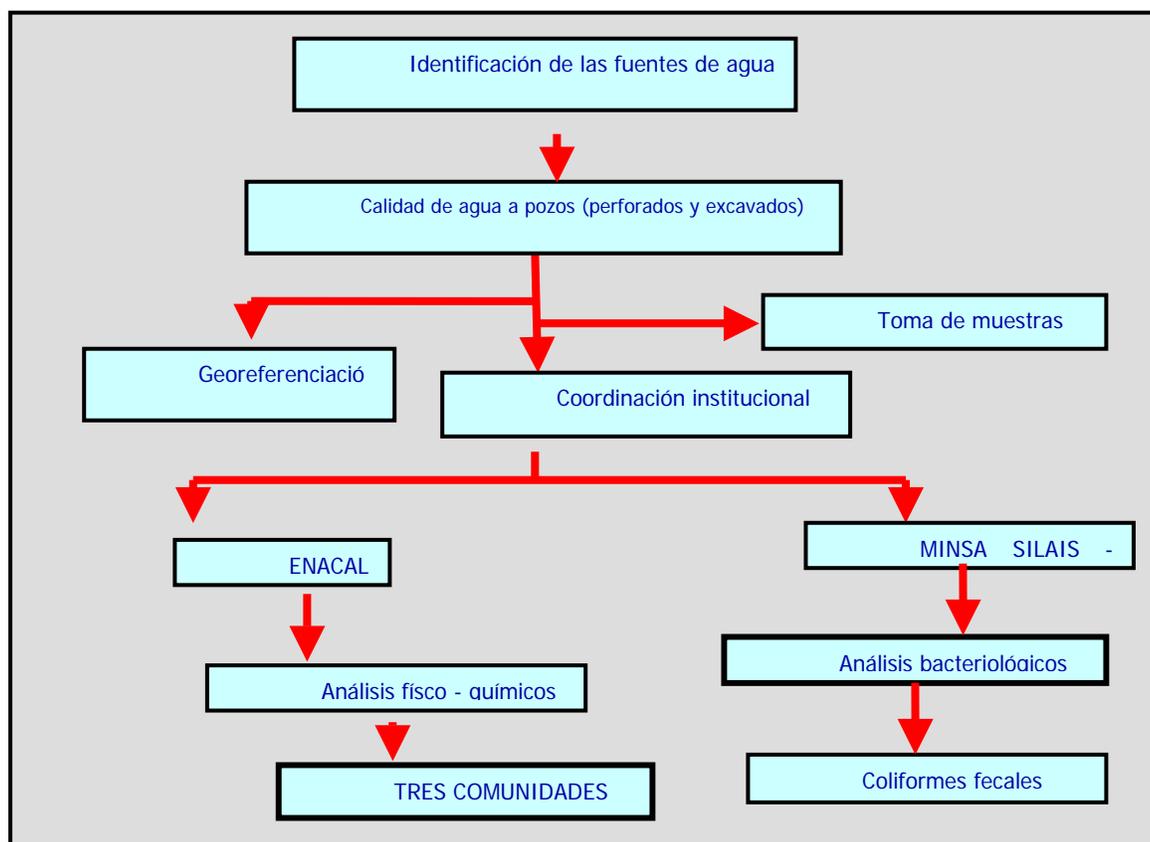


Figura 5. Proceso esquemático para la concretización del objetivo 2

Se desarrollaron una serie de visitas a los líderes de cada comunidad con el objetivo de ubicar con el sistema de posicionamiento global (GPS) los pozos excavados y perforados, logrando georreferenciar 264 pozos para posteriormente identificar los que son utilizados para extracción de consumo humano, en las 10 comunidades de la subcuenca del río Aguas Caliente (84 pozos en total). En coordinación con el MINSA-SILAIS SOMOTO y el Departamento de Epidemiología del Ministerio de Salud, se realizaron análisis bacteriológicos (coliformes fecales) a través del método de filtración por membrana. Todos estos análisis fueron realizados entre marzo y mayo del 2005.

Para la recolección y traslado de las muestras se utilizaron bolsas plásticas de 100 ml de agua de uso exclusivo del MINSA; inmediatamente se almacenaron las muestras en un

termo con hielo para evitar alteración en la muestra, luego se llevaron, en un lapso de tiempo no mayor a tres horas, hacia el laboratorio, lo que garantizó la estabilidad de cada una de las muestras.

Para obtener los análisis físico químicos se realizó una recopilación de información con el MCN y ENACAL, obteniéndose resultados de pozos en la parte alta, media y baja, de la subcuenca, realizados en el (CIRA-UNAN) Departamento de Aseguramiento y Control de Calidad.

Se procedió a realizar una encuesta con los siguientes componentes: frecuencia de análisis bacteriológicos, enfermedades producto del agua contaminada, recipientes en que transporta el agua y disponibilidad de agua. Todos estos parámetros fueron analizados con el programa estadístico INFOSTAT, por medio de análisis de correspondencia múltiple; para ello se realizó una prueba de independencia utilizando tablas de contingencia con el estadístico Chi cuadrado, comparando la hipótesis de independencia con la variable coliformes fecales y comunidad ($P < 0.0306$), por lo que se realizó un análisis de correspondencia simple para encontrar las asociaciones.

3.3.3 Objetivo 3

Analizar la vulnerabilidad a contaminación del manto acuífero mediante la aplicación del modelo DRASTIC.

En la subcuenca de río Aguas Calientes existen instituciones gubernamentales y ONG que están trabajando con proyectos de agua y saneamiento como son: ENACAL, Movimiento Comunal Nicaragüense, Perforadora Centroamericana y Acción Contra el Hambre, las cuales tienen un registro de pozos excavados y perforados de cada una de las diez comunidades de la subcuenca. Por tal razón se coordinó con estas instituciones para obtener litología de pozos perforados y análisis físico - químico de la calidad de agua de las perforaciones

- ENACAL: es la institución de gobierno que lleva el registro, control y conducción de agua en el área rural y urbano.

- Movimiento Comunal Nicaragüense: es una institución que realiza pozos en comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes.
- Acción Contra el Hambre (ANASAN¹): ejecuta proyectos de agua y saneamiento en las comunidades rurales.
- Perforaciones Centroamérica, empresa de servicios de perforación.

Posteriormente se delimitó el área de estudio mediante la implementación de un SIG (Sistema de Información Geográfica) con ArcView, realizándose la espacialización de las variables mediante datos puntuales. De esta forma se generó diferentes mapas de acuerdo al tipo de clasificación y ponderación del modelo DRASTIC para luego ser sumados con el calculador de mapas y obtener un mapa como producto final por cada agrupación aritmética (figura 6).

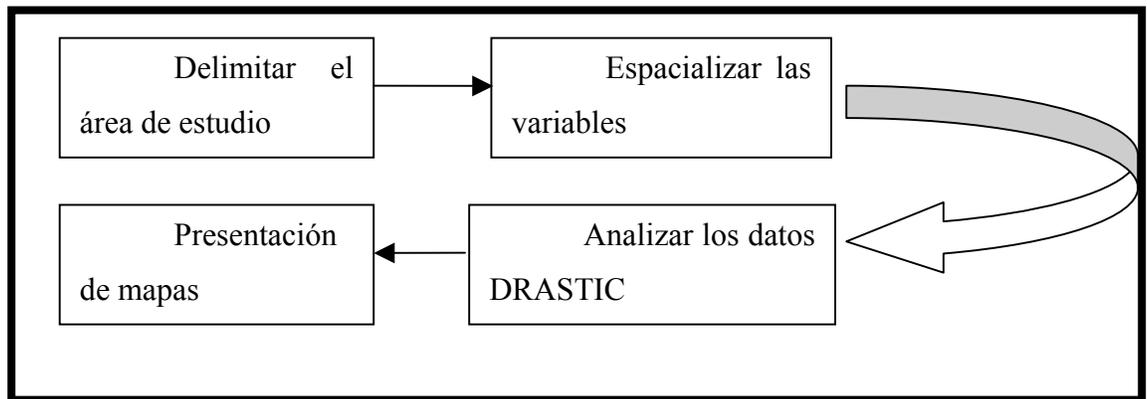


Figura 6. Descripción esquemática del método DRASTIC a realizar con ArcView

Para la obtención de la información litológica se visitó a ENACAL-Central, Perforadoras-Centroamericanas, M.C.N. (Movimiento Comunal Nicaragüense), asistiendo y participando durante algunas perforaciones. Posteriormente, para las pruebas de bombeo se recopiló las realizadas por CARE-INTERNACIONAL. Para estas pruebas escalonadas se utilizó una bomba sumergible Goulds de 3HP, con planta eléctrica GENERAC de 19 HP y

¹ Anasan : Asociación Nicaragüense para el Agua y Saneamiento.

bomba sumergible de 3 pulgadas de 40HP, con una planta de 460 Voltios con motor 400 CATERPILAR, durante 2 y 30 horas, respectivamente. Luego fueron analizadas con el programa G.W.W. (Ground Water Software for Windows) de las Naciones Unidas.

En los afloramientos en la parte baja de la subcuenca, que corresponden a la producción de agua para irrigación y abastecimiento de la ciudad de Somoto, se observó que es aquí donde están los pozos perforados de mayor caudal, nivel estático (NEA) y dinámico, logrando obtener rendimientos de producción desde 2,5 a 28,5 l/s.

3.4 Parámetros DRASTIC

Son las capas a generar, resultado de la combinación de información de pozos perforados, modelo de elevación digital, tipo de hidrología y el tipo de suelo (figura 2), para finalmente realizar la sumatoria mediante la siguiente ecuación:

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = CP$$

CP = Contaminación Potencial

r = factor de clasificación

w = factor de ponderación

3.4.1 Profundidad de agua (Depth)

Este parámetro toma en cuenta el nivel de agua subterránea; es una variable que indica la distancia y tiempo requerido por el contaminante para desplazarse a través de la zona no saturada del acuífero.

Según Martínez (1998^a), este parámetro considera la profundidad del nivel piezométrico en el caso de un acuífero libre o el techo del acuífero para uno confinado. La vulnerabilidad disminuye con la profundidad. En su valoración se emplearon datos de puntos ubicados con GPS de pozos perforados, estudios hidrogeológicos y medidas de campo sobre la napa freática del acuífero.

- Para la realización del mapa de profundidad se necesitó medir los parámetros de profundidad, diámetro del pozo, columna de agua y columna vacía del pozo.
- Se midió el nivel estático en tres períodos (marzo, abril y mayo) y sus valores se promediaron. Se utilizó una cinta piezométrica de 80 metros de longitud, que tiene un electrodo en un extremo que indica a qué profundidad se encuentra el agua.

La información arriba mencionada se insertó en ArcView como una hoja electrónica en forma de tabla de Excel; la cual fue transformada a un archivo de formato “Shape” de ArcView y a un archivo tipo “grid”, unidad con base al cuadro 3, metodología DRASTIC, Se realizó la clasificación de profundidad del agua y su correspondiente valoración. Luego, con base en el cuadro 4, se determinó el valor de ponderación según el tipo de contaminación, ya sea pesticida o no pesticida. Finalmente se realizó la interpolación de los datos utilizando el procedimiento IDW (Inversa a la Distancia Ponderada, por sus siglas en inglés) de ArcView, para obtener el mapa de profundidad de agua, este mapa se multiplico por la ponderación para pesticida y no pesticida, De esta manera se obtuvo el mapa de profundidad del nivel freático de la subcuenca.

Cuadro 3. Valor de profundidad del agua y clasificación correspondiente según el método DRASTIC

Valores para cada factor	
Profundidad (m)	Clasificación 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

Cuadro 4. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA para profundidad de agua

Tipo de contaminación	Valor de ponderación D_w
Pesticida	5
No pesticida	5

3.4.2 Recarga (Recharge)

La recarga se estimó mediante un procedimiento con una hoja electrónica de un modelo para balance hídrico de suelo (Losilla y Schosinsky 2000)., Con este modelo se determinó la infiltración potencial:

$$I = 0,88 * C * P$$

donde:

I = infiltración potencial

C= coeficiente de infiltración dado = $K_p + K_v + K_{fc}$

K_p = efecto de la pendiente

K_v = efecto de la vegetación

K_{fc} = efecto por textura del suelo.

P = Precipitación.

3.4.2.1 Factor efecto de la pendiente (K_p)

Para obtener este factor se utilizaron las curvas de nivel cada 20 m de hoja topográfica escala 1:50.000 de la cartografía generada por el INETER en 1960. Se transformaron las curvas de nivel de líneas a puntos y, con la red de drenaje, se procedió a estimar el modelo de elevación digital mediante el procedimiento (IDW) de ArcView.

En la figura 7. Se muestra un detalle del modelo de elevación digital y cada uno de los pozos perforados, incluye una delimitación del área de la subcuencas del río Aguas Calientes.

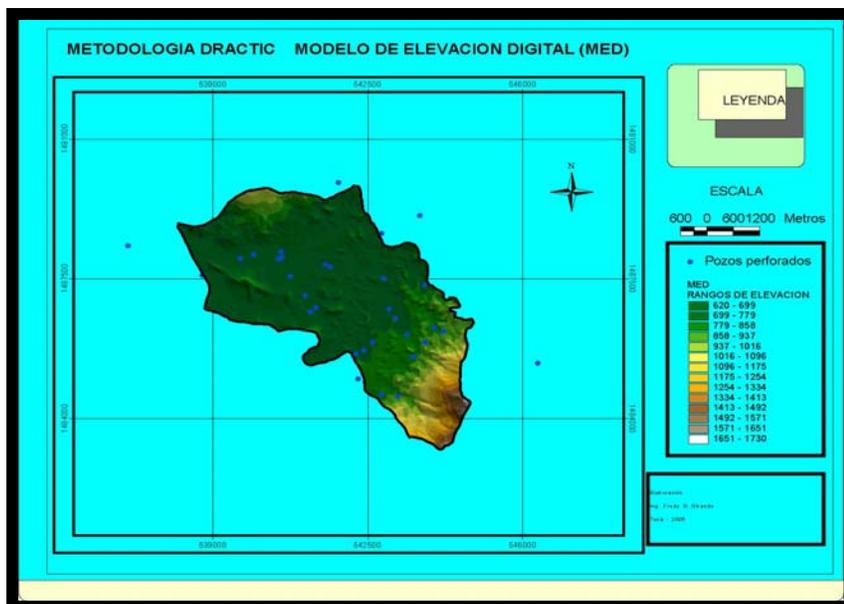


Figura 7. Modelo de elevación digital de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

3.4.2.2 Factor efecto de la vegetación (Kv)

Para determinar Kv se utilizó el mapa de cobertura vegetal realizado por la UNA (Universidad Nacional Agraria, 1999). Se aplicó un proceso de comprobación en campo, sólo en el área de estudio, el cual demostró una excelente coherencia con la clasificación realizada, en el cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de uso del suelo, área y porcentaje de la subcuenca del río Aguas Calientes.

Actividad de uso del área	Área (ha)	Área (%)
Bosque de galería	14,0	2,90
Pasto mejorado	22,8	4,80
Bosque más café con sombra	37,0	7,80
Cultivos anuales	107,2	22,60
Pasto con árboles	5,4	1,10
Vegetación con arbustos	27,8	5,90
Bosque latifoliado	39,4	8,30
Pasto con malezas	220,0	46,50

3.4.2.3 Factor efecto por textura del suelo (Kfc)

La textura es un factor que ayuda a la estimación del coeficiente de infiltración. Para su cálculo se utilizó el mapa de suelos del INETER y se reclasificaron los tipos de suelo de acuerdo a los coeficientes de infiltración sugeridos en el Manual de Estudios Hidrológicos (ONU, 1972) citado por (Losilla y Schodinsky, 2000), según se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Componentes del coeficiente de infiltración y factores de ponderación

<i>K_{fc}</i>	<i>Coeficiente de infiltración</i>
<i>Arcilla compacta impermeable</i>	<i>0,10</i>
<i>Combinación de limo y arcilla</i>	<i>0,20</i>
<i>Suelo limo arenoso no muy compacto</i>	<i>0,40</i>
<i>K_p</i>	
<i>Plana 0,02% - ,.06%</i>	<i>0,30</i>
<i>Moderada 0,3% - 0,4%</i>	<i>0,20</i>
<i>Colinas 3% - 4 %</i>	<i>0,10</i>
<i>K_v</i>	
<i>Terrenos cultivados</i>	<i>0,10</i>
<i>Bosques</i>	<i>0,20</i>

Fuente: ONU, 1974 (citado por Losilla y Schodinsky, 2000)

Al calcular el valor de infiltración mensual y con ayuda de una hoja en Excel para balance hídrico creada por Schosinsky (2000), se digitalizó la precipitación mensual y la evaporación, para obtener la recarga neta (milímetros de agua por año). Luego se procedió a reclasificar estos valores de acuerdo a los indicados por los autores de DRASTIC (cuadro 7 y 8) se multiplicaron por el valor de ponderación, según el tipo de contaminación. Luego se realizó una interpolación con la extensión de “Polígonos de Thiessen” en ArcView, para encontrar áreas de igual recarga bajo características similares, y obtener un mapa de recarga del acuífero de la subcuenca del río Aguas Calientes, para pesticida y no pesticida.

Cuadro 7. Recarga Neta (R) y clasificación correspondiente en el método DRASTIC

Recarga (mm)	Clasificación R _r
0 – 50	1
50 – 103	3
103 – 178	6

Recarga (mm)	Clasificación R _r
178 – 254	8
> 254	9

Cuadro 8. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA para el parámetro de recarga neta

Tipo	Ponderación R _w
Pesticida	4
No pesticida	4

3.4.3 Tipo de acuífero

Para definir el tipo de acuífero se contó con la información litológica de la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Perforaciones Centroamericana y Perforaciones del Movimiento Comunal Nicaragüense.

Se utilizó información litológica de 32 pozos perforados, cuyos valores fueron reclasificados de acuerdo a los parámetros dados en el (cuadro 9), multiplicándose respectivamente, por el factor de ponderación (cuadro 10), para contaminante pesticida y no pesticida, obteniendo como producto, el mapa de tipo de acuífero de la subcuenca del río Aguas Calientes.

Cuadro 9. Tipo de acuífero, rangos de clasificación, litología y valor típico según DRASTIC

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

Cuadro 10. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA para medio del acuífero

Tipo	Ponderación Aw
Pesticida	3
No pesticida	3

3.4.4 Impacto en la zona no saturada (*Impact Vadose zone*)

Para poder obtener la litología de cada pozo se procedió a contactar la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Perforadora Centroamericanas y Perforaciones del Movimiento Comunal Nicaragüense para tener acceso a los informes técnicos. Digitalizándose una base de datos en una hoja de Excel para reclasificar las litologías obtenidas de cada lugar bajo la asesoría de un geólogo realizando la equivalencia litológica (cuadro 11) del área de estudio a la establecida por la “EPA”.

Al momento de la espacialización de las litologías se crearon dos mapas o capas en ArcView, utilizándose el método de polígonos de “*thiessen*”, multiplicándose con una ponderación a pesticida y no pesticida, según (cuadro 12), obteniendo el mapa de zona no saturada del acuífero presente en la subcuenca del río Aguas Calientes.

Cuadro 11. Impacto de la zona no Saturada (I), rangos de clasificación del medio del acuífero, y el valor típico según el método DRASTIC

Tipo de medio	Rango de clasificación Ir	Valor típico Ir
Capa confinante	1	1
Cieno – arcilla	2 – 6	3
Lutita	2 – 5	3
Caliza	2 – 7	6
Arenisca	4 – 8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 – 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8	6

Metamórfica/Ígnea	2 – 8	4
Arena y grava	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Caliza kárstica	8 – 10	10

Cuadro 12. Valor de ponderación para el tipo de contaminación de acuerdo a la EPA, para el medio del acuífero

Tipo	Ponderación Iw
Pesticida	4
No pesticida	5

3.4.5 Tipo de Suelo

Se partió de la información del mapa de suelos de INETER (2004), obteniéndose la clasificación de los suelos en la zona de estudio.

Esta descripción de suelos fue reclasificada de acuerdo a la clasificación Sr (cuadro 13), luego se multiplicó con los valores de ponderación para contaminante pesticida y no pesticida (cuadro 14), obteniéndose el mapa de dos tipos de suelos en la subcuenca del río Aguas Calientes.

Cuadro 13. Medio del suelo (S), tipo de suelos y rangos de clasificación según el método DRASTIC

Tipo de suelos	Clasificación Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5

Tipo de suelos	Clasificación Sr
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol – cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Cuadro 14. Valor de ponderación para el tipo de contaminación en suelos según la EPA

Tipo	Ponderación Sw
Pesticida	5
No pesticida	2

3.4.6 Topografía (Topographic)

La pendiente se calculó por medio del modelo de elevación digital, a través de una rutina en SIG que permite establecer la pendiente de cada celda y luego reclasificar el ‘Grid’ en las clases correspondientes. Para establecer la pendiente en cada celda el algoritmo calcula las diferencias de elevación entre la celda objetivo y las ocho celdas inmediatamente contiguas; de esta forma establece la máxima pendiente y asigna el valor a la celda.

A partir de la curvas a nivel cada 20 metros digitalizadas en ArcView de la hoja cartográfica de la zona, se procedió a elaborar el modelo de elevación digital y es de aquí que se derivó la pendiente, como capa reclasificada de acuerdo a los valores propuestos (cuadro 15). Luego se multiplicó por el contaminante pesticida y no pesticida (cuadro 16).

Cuadro 15. Topografía (T) y clasificación según método DRASTIC

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

Cuadro 16. Valores de ponderación para el tipo de topografía de acuerdo a la EPA

Tipo	Ponderación Tw
Pesticida	3
No pesticida	1

3.4.7 Conductividad hidráulica (*Hydraulic conductivity*)

La conductividad hidráulica del acuífero se estableció a través de pruebas de bombeo en el campo. En esta prueba se aísla la sección del acuífero que va a ser analizada y por medio de una carga constante se establece un flujo dentro del acuífero. La conductividad se establece a partir de la presión con la que el flujo ingresa a la formación rocosa. Las pruebas de bombeo se obtuvieron después de trabajar en la extracción de agua del pozo durante 30 a 25 horas para estar seguros de la conductividad hidráulica, calculándose mediante la fórmula siguiente.

$$K = T/B$$

Donde

K: Conductividad hidráulica (m/día)

T: Transmisibilidad (m²/día)

B: Ancho del acuífero (espesor saturado en metros)

T = calcula por el método de Jacob

$$T = 0.183 * Q / \sqrt{\Delta S}$$

Q = Caudal

S = Abatimiento

Se realizaron pruebas de bombeo en la comunidad de Mansico, Uniles, Los Copales en la subcuenca alta, media y baja, respectivamente.

En la comunidad de Mansico se realizó una prueba de bombeo a descarga libre con un caudal de 1,57 l/s. En la comunidad de Uniles se realizaron dos pruebas de bombeo, una en Uniles la Grama, prueba a descarga libre 0,25 l/s, con un abatimiento de 10,29 m y en Uniles Centro de forma escalonada con un abatimiento de 14,05 m con un caudal recomendado de

1,32 l/s. Las pruebas de bombeo se realizaron en los meses de abril a mayo, para poder obtener la conductividad hidráulica del manto acuífero (CARE, 2003).

En la parte baja se realizaron dos pruebas de bombeo en los pozos de los Copales I y II por un tiempo de 32 horas, obteniendo un rendimiento de 22,49 l/s (ENACAL, 2005). Los datos se analizaron con en el programa GWW de Naciones Unidas.

Después de obtener los datos se procedió a clasificar (cuadro 17) por el factor de clasificación y el tipo de ponderación de pesticida y no pesticida, (cuadro 18), obteniéndose el mapa de conductividad hidráulica del acuífero presente en la subcuenca del río Aguas Calientes.

Cuadro 17. Conductividad hidráulica (C) metros por día, centímetros por segundo y clasificación de acuerdo al método DRASTIC

Conductividad Hidráulica		Clasificación Sr
(m/día)	(cm/s)	
0,04 – 4,08	$4.6 \times 10^{-5} - 4.7 \times 10^{-3}$	1
4,08 – 12,22	$4.7 \times 10^{-3} - 1.4 \times 10^{-2}$	2
12,22 – 28,55	$1.4 \times 10^{-2} - 3.4 \times 10^{-2}$	3
28,52 – 40,75	$3.4 \times 10^{-2} - 4.7 \times 10^{-2}$	6
40,75 – 81,49	$4.7 \times 10^{-2} - 9.5 \times 10^{-2}$	8
> 81,49	$> 9.5 \times 10^{-2}$	10

Cuadro 18. Valor de ponderación para el tipo de conductividad hidráulica según la EPA

Tipo	Ponderación Cw
Pesticida	2
No pesticida	3

3.5 Sistema numérico de clasificación para los parámetros del método DRASTIC

El sistema numérico utilizado en DRASTIC, permite la identificación relativa de la vulnerabilidad del acuífero. Este sistema numérico consta de tres partes principales: peso ponderado, valor típico y rango de calificación.

- a) **Peso ponderado:** es un valor numérico relativo que se le asigna a cada parámetro con relación a la importancia que tiene en el proceso de mitigación

de un acuífero. Se otorga el máximo valor a los de mayor incidencia y menor peso a los menos significativos (estos pesos son establecidos por la metodología y no pueden ser modificados). Estos valores de ponderación se encuentran descritos en cada uno de los cuadros de los parámetros de DRASTIC.

- b) Valor típico: son los valores asignados a las subdivisiones por rango que se realizan por parámetro, brindando un valor de peso en condición natural que se encuentra el medio por orden de importancia.
- c) Rango de calificación: son subdivisiones de cada parámetro, de acuerdo a las condiciones naturales en que se encuentra el medio y el impacto que está asociado con la vulnerabilidad natural del acuífero.

Finalmente, después de la suma de los siete mapas, los valores numéricos originan el mapa de índice DRASTIC de pesticida y no pesticida. Para la obtención de resultados finales de investigación se estableció la siguiente escala de vulnerabilidad cuadros (19 y 20).

Cuadro 19. Vulnerabilidad relativa, rangos de índice DRASTIC y porcentaje de cada categoría para el mapa de pesticida

Vulnerabilidad relativa	Índice DRASTIC	% del área total
Baja	46- 107	18,10
Media	108-138	58,74
Alta	139-169	23,16

Cuadro 20. Vulnerabilidad relativa, rangos de índice DRASTIC y porcentaje de cada categoría para el mapa de no pesticida

Vulnerabilidad Relativa	Índice DRASTIC	% del área total
Baja	45- 113	28,42
Media	114-147	58,82
Alta	148-182	12,75

Este método se aplica sobre los denominados “ambientes hidrogeológicos”, unidades cartográficas con características hidrogeológicas e hidrodinámicas similares.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Objetivo 1

Identificar y caracterizar la situación de los pozos de agua para consumo humano en la subcuenca del río Aguas Calientes.

4.1.1 Identificación y ubicación de pozos

Los resultados del censo de pozos indica que realmente existen 264 pozos en la subcuenca de los cuales 32 son perforados y 232 son excavados que se 87% del total. En el cuadro 21 presenta la distribución por comunidad del número pozos y la población que se abastece de los mismos. Llamando la atención el fuerte incremento en la construcción de pozos figura 8, ya que los datos de Castellón (2004) a medidos de ese año, el número de pozos era de 193. Esto posiblemente se debe a la disminución del nivel freático en la época seca, principalmente en los pozos excavados lo que reduce la oferta hídrica.

Comunidad	No. pozos	No. familias	Total habitantes	No. casas	Porcentaje de familias	Porcentaje de pozos	porcentaje de habitantes
El Volcán	6	114	568	86	7,7	2,27	8,49
El Porcal	10	122	516	85	8,2	3,79	7,71
Rodeo	3	48	238	48	3,2	1,14	3,56
Quebrada de Agua	8	76	370	72	5,1	3,03	5,53
Mansico	6	82	290	75	5,5	2,27	4,33
Uniles	62	262	1.275	262	17,7	23,48	19,05
Sta. Isabel	38	334	1.436	243	22,6	14,39	21,45
Los copales	12	77	409	67	5,2	4,55	6,11
Sta. Rosa	45	186	872	132	12,	17,05	13,03
Aguas Calientes	74	178	720	175	12,0	28,03	10,76
TOTAL	264	1.479	6.694	1245	100	100	100

Cuadro 21. Censo de pozos y porcentajes poblacional por comunidad en la subcuenca del río Aguas Calientes.

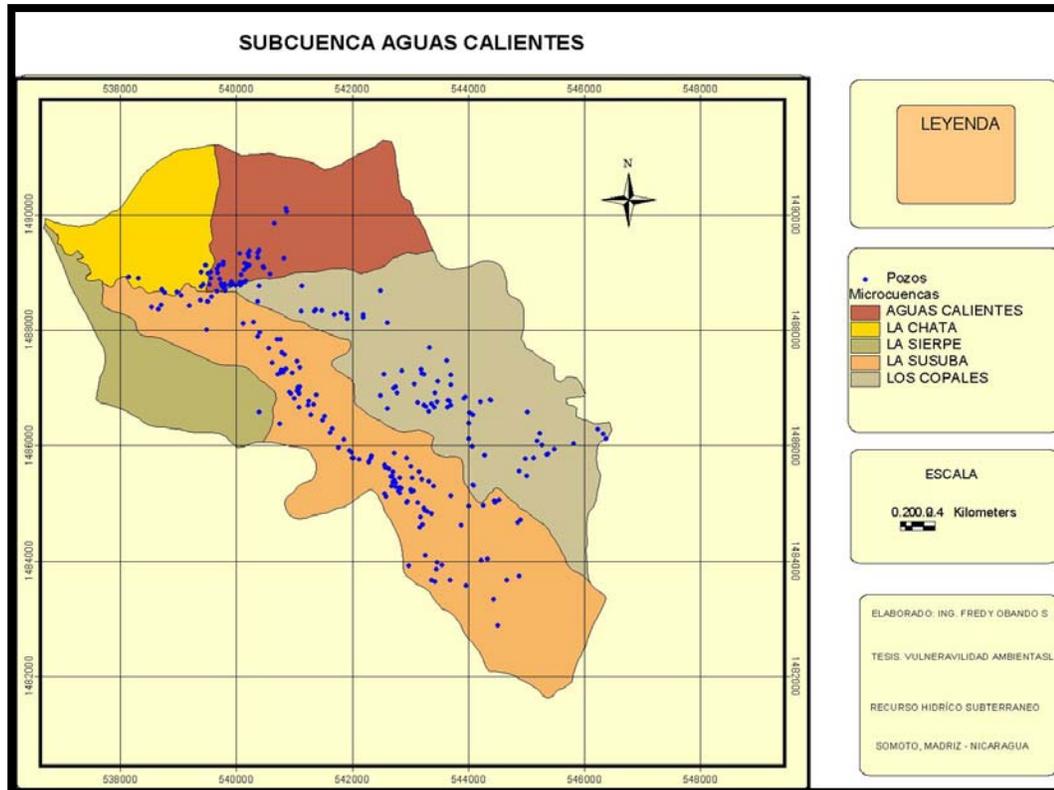


Figura 8. Distribución de 264 pozos en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.1.2 Sensibilidad a contaminación

La mayor contaminación en los pozos y su manejo ocurre en la parte media de la subcuenca que es donde está concentrada la mayoría de la población. Para la extracción de agua se usan bombas de mecate en mal estado, sin condiciones higiénicas adecuadas, aumentando el riesgo a contaminación por manipulación de agua.

La figura 9 muestra el número de pozos cuya agua se utiliza para consumo humano en cada comunidad y el número de esos pozos que tiene contaminación con coliformes fecales por encima estándar permisible establecido por la OMS. Esto indica que esa agua debería ser desinfectada por ejemplo con cloro, para reducir el riesgo a enfermedades gastrointestinales de origen hídrico como por ejemplo cólera, hepatitis A etc. Se observa en la figura que las comunidades que tienen mejor calidad de agua son Mansico y el Rodeo, posiblemente por que se abastecen de pozos perforados.

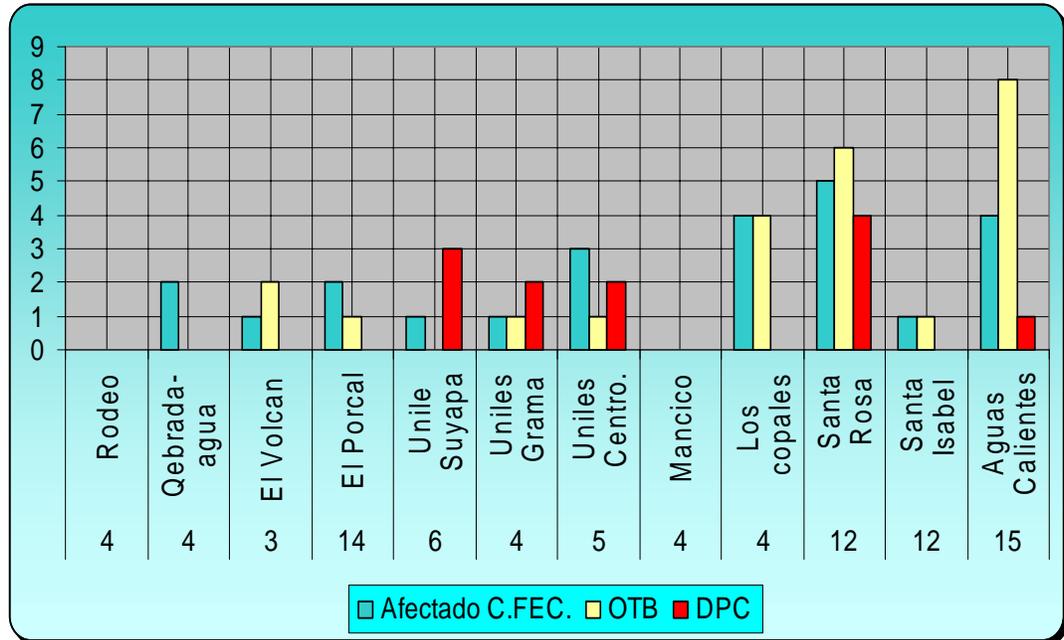


Figura 9. Situación de pozos en la subcuenca del río aguas calientes, Somoto, Nicaragua

La demanda poblacional de estructuras básicas de saneamiento, como son las letrinas, las que se ubican frecuentemente en sitios inadecuados, aumenta la contaminación de origen fecal con cantidades de colonias fecales DP (demasiado para contar) actualmente en la parte media. Por otra parte, producto de la acelerada deforestación en la parte alta, incentivada por el cambio de uso, está aumentando la escorrentía superficial transportando contaminantes no deseados a las fuentes de agua que no cuentan con protección o ademe.

Se realizó prueba de independencia (figura 10), utilizando tablas de contingencia con el estadístico Chi cuadrado para probar la hipótesis de independencia con la variable coliformes fecales y comunidad ($P < 0.0306$), por lo que se efectuó un análisis de correspondencia simple para encontrar las asociaciones,

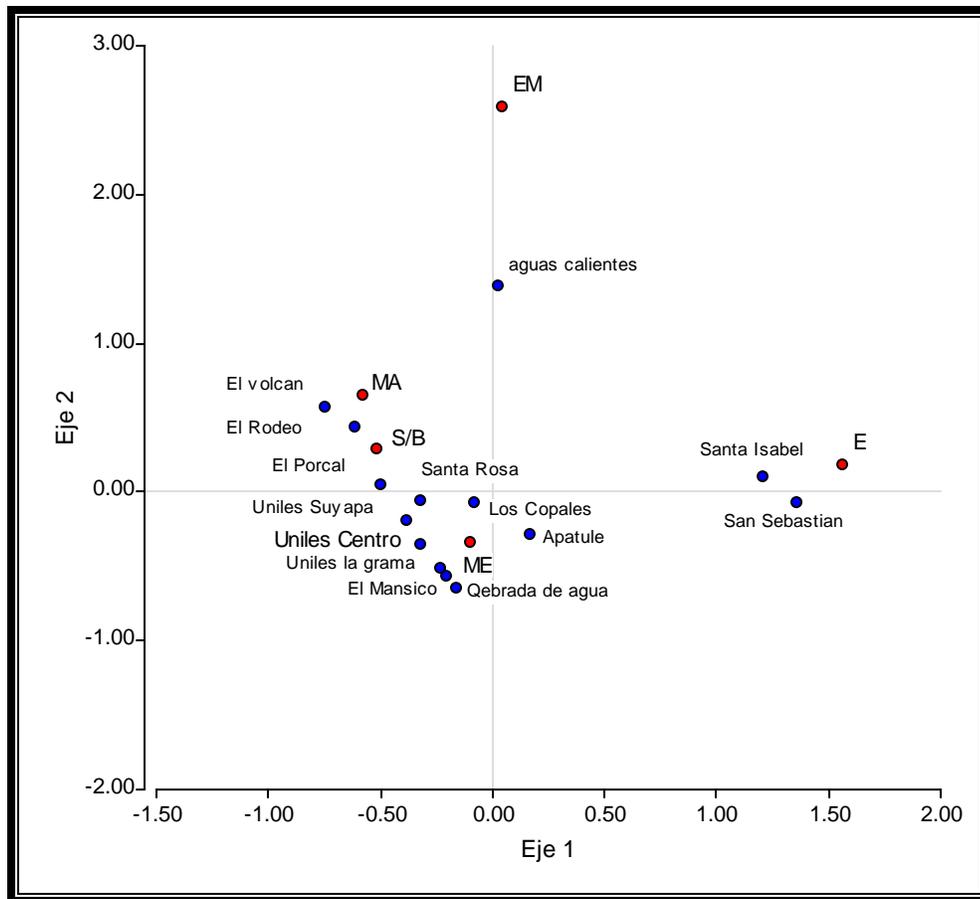


Figura 10. Relación entre el tipo de bomba y comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

Se observa en el Biplot, las dos primeras dimensiones del AC simple de la tabla de contingencia correspondiente a la asociación de las variables “tipo de bomba” y “comunidad”. La mayor parte se asocia con las bombas de mecate en las comunidades de (Uniles Centro, Uniles La Grama, Uniles Suyapa, Mansico, Quebrada de Agua, Apatule, Los Copales y Santa Rosa), con altos índices de contaminación por mal manejo de agua e infraestructura.

La comunidad de El Volcán y El Rodeo dependen básicamente de bomba Mark2, contando con una buena calidad de agua para consumo humano, mientras que en la comunidad de Aguas Calientes, encontramos una asociación de bomba Emas y pozos sin bomba de ninguna clase, contrario a las comunidades de Santa Isabel y Apatules que tienen una red de distribución de agua potable proveniente de bomba eléctrica. El cuadro 22 muestra la distribución del tipo de bomba utilizada para la extracción del agua, por comunidad. Resulta evidente que la mayoría de pozos utilizan bombas de mecate.

No.	Comunidad	Privado	Comunal	Tipo de bomba de extracción					Pozo	
				B. Mecate	Sin bomba	EMA	Eléctrica	Mark2	Excavado	Perforado
3	El Rodeo	1	2		1			2	1	2
6	Mansico	2	4	6					4	2
6	El Volcán		6	2	2	1		1	4	2
8	Quebrada de Agua	3	5	3	4			1	6	2
12	Los Copales	9	3	3	6	2	1		11	1
38	Santa Isabel	32	6	23	11	2		1	36	2
10	El Porcal	7	3	8	2				8	2
45	Santa Rosa	38	7	12	30	1	2		42	3
62	Uniles	39	23	39	20	1	1	1	57	5
74	Aguas Calientes	49	25	40	21	2	11	1	63	11
Total		180	84	136	97	9	15	7	232	32

Cuadro 22. Características de la situación de pozos en la subcuenca del río Aguas Calientes

La comunidad de El Rodeo cuenta con dos bombas Mark2, mientras que Santa Rosa y Uniles Suyapa en la época seca presentan crisis de agua y alto contenido de coliformes fecales, contaminando el acuífero somero o colgado, presentando un alto riesgo a contaminación en la parte media y baja de la subcuenca, ya que el nivel freático se encuentra a una profundidad de 12-27 m en la parte media y 3-12 m en la parte baja, con fisuras que fácilmente pueden transportar contaminantes no deseados al acuífero.

4.1.3 Fuentes de contaminación en la subcuenca del río Aguas Calientes

La contaminación está fuertemente asociada a la cantidad poblacional presente en la comunidad, manejo inadecuado del recurso hídrico y la calidad de infraestructura. El uso inadecuado de agroquímicos para agricultura. En el área de la subcuenca, ha originado zonas de contaminación puntuales que presentan un alto riesgo del recurso hídrico subterráneo. Entre estas fuentes se tiene:

a) Infraestructura de pozos

El 13,60% de los pozos son perforados, de los cuales el 3,40% no cuenta con las condiciones adecuadas de protección y no se les realizó ademe para que actúe como filtro de protección a contaminantes como coliformes fecales. Las comunidades de El Volcán, Uniles Centro y Uniles Suyapa presentan 1 (una) y 2 (dos) colonias de coliformes fecales por cada 100 ml de agua analizada en laboratorio. En el caso de pozos de ENACAL que tienen tubería de hierro presentan corrosión en la tubería de acero y hierro originando alto contenido de hierro en el agua para consumo humano, por encima de los estándares admisibles por la OMS, siendo pozos nuevos, que tienen dos y cuatro años de uso.

Con lo que respecta a los pozos excavados, que representan el 64% en la subcuenca, no cuentan con brocal adecuado y tapadera para evitar las fuentes de contaminación. En consecuencia, el 90% de las comunidades no cuentan con disponibilidad de agua para suplir sus necesidades (Alcaldía de Somoto, 2000). En la época de seca se fomentaron dos mini acueductos, que en etapas crítica estos pozos perforados no responden a la demanda hídrica doméstica, aumentando (figura 11) los conflictos internos en un 56% de la población a pesar de tener una sólida organización en un 42%. Esta situación fomenta a las personas que cuentan con tierra (2%) a realizar pozos excavados, incrementando con un 27% en tan solo 12 meses, pasando de 190 a 264 pozos, ocasionando mayor vulnerabilidad a contaminación del manto acuífero.

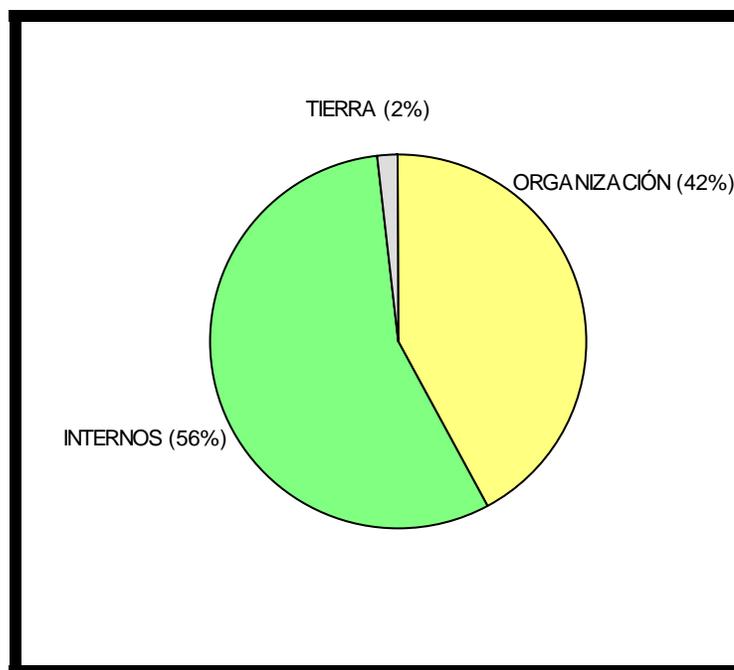


Figura 11. Causa de conflictos comunales en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

b) Uso de agroquímicos

Los agroquímicos en la subcuenca para fines agrícolas tienen un elevado uso, en control de plagas y enfermedades. Esta actividad conduce a una amplia contaminación difusa, resultado de una serie de actividades humanas en que los contaminantes no tienen un punto de ingreso específico al manto acuífero, por desplazamiento sobre la superficie terrestre, producto de la deforestación acelerada en la parte alta de la subcuenca, aumentando la escorrentía superficial. Por otra parte, debido a prácticas como la quema por la frontera agrícola y la presión demográfica sobre el bosque, disminuye la capacidad de almacenamiento del acuífero. Según (Larios, 2004) el 37% de los agricultores se dedican al cultivo de granos básicos (maíz, frijoles y sorgo).

Para mejorar la manipulación de agroquímicos es necesaria una capacitación adecuada, ayudando al desarrollo comunitario. Tal como se presenta en la (figura 12), se necesita una estrategia de capacitación bien organizada, ya que el 22% de población capacitada se realizó de forma deficiente por ejecutarse en momentos de actividades agrícolas. Tan solo un 19% se

ha realizado de forma óptima, pero un gran rango, el 59%, no ha tenido capacitación, o sea más de la mitad de las personas que trabajan la tierra y toman decisiones en la parcela.

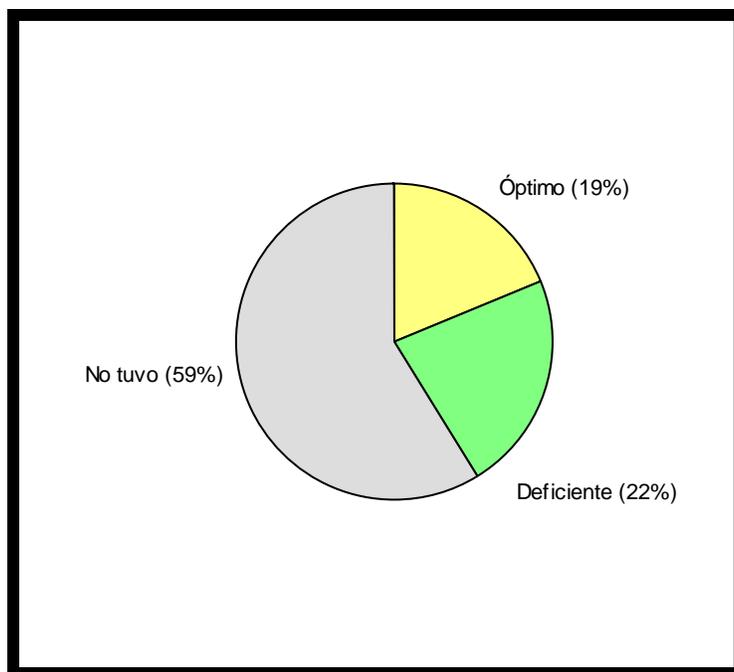


Figura 12. Capacitación en comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.1.4 Áreas de protección

- Parte alta

Es la zona de recarga que está siendo agotada producto de la tala indiscriminada por la población cercana dentro y fuera de la subcuenca. Esta área necesita prácticas agroforestales para recuperar la poca masa arbórea, ya que anualmente está aumentando la presión por el recurso maderable y exótico como orquídeas, musgo y helechos, reduciendo el área de amortiguamiento por la población de la parte media y baja de la subcuenca Aguas Calientes y la ciudad de Somoto.

- Parte media

El alto grado de contaminación, producto de letrinas mal ubicadas a escasos metros de pozos excavados, cerca del cauce natural de los tributarios del río Aguas Calientes, origina un

riesgo elevado en la parte baja por la acumulación paulatina de embases con residuos de agroquímicos.

A través de la educación ambiental masiva a tres niveles educativos (primaria, secundaria e institucional), se puede reducir la contaminación de agua para consumo humano de los pozos excavados, Este proceso debe estar fundamentado en la coordinación interinstitucional y multidisciplinaria, involucrando en el proceso a las comunidades, obteniendo resultados óptimos apoyados por sus habitantes.

- Parte baja

Es el área de mayor riesgo, principalmente la comunidad de Aguas Calientes es el sitio con mayor producción hortícola, práctica que se cultiva con una gran variedad de agroquímicos. La producción obtenida a través de agroquímicos constituye un gran riesgo por el grado de fracturamiento litológico presente en la zona de la comunidad de Aguas Calientes. (Figura 13). Esta situación se acentúa en los estratos menos profundos, por estar en contacto la roca fracturada con la superficie. Según los perfiles litológicos, los acuíferos más profundos y confinados solamente serán afectados por contaminantes persistentes y a largo plazo.



Figura 13. Cultivos anuales, bosque de galería, pasto mejorados y con maleza en el área de alta vulnerabilidad a pesticida en la subcuenca del río Aguas Calientes

De acuerdo con el rango de topografía, la pendiente oscila entre (0 – 10) grados en la parte baja, presentando las condiciones para la construcción de obras de captación de agua tal como lagunas, razón por la cual algunos productores con rango considerable de terreno en la parte baja, están comenzado a implementarse para ganado vacuno figura 14.



Figura 14. Laguna de construcción artesanal en la parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes

4.2 Objetivo 2

Analizar la calidad físico - química y bacteriológica del agua subterránea para consumo humano, a fin de determinar los niveles de contaminación en la subcuenca del río Aguas Calientes.

Debido a la naturaleza de protección con que se almacena el agua subterránea en el manto acuífero, se puede hablar con certeza que la mayor parte está constituida por agua de buena calidad, apta para el consumo humano, a excepción de cuando es sobreexplotada e intervenida antropogénicamente. Esta situación induce a induciendo su contaminación por

agroquímicos, material orgánico y manejo inadecuado de las fuentes de abastecimientos (pozos) que se comunican directamente con el nivel freático.

4.2.1 Análisis bacteriológico

En la parte alta y media de la subcuenca se encuentra el 70,1% de la población total (6,694 habitantes), distribuyéndose así 29,60% en la parte alta, 40,50% en la parte media y el 29,9% la parte baja. La parte media de la subcuenca constituye el área de mayor población con abastecimiento de agua mediante pozos excavados, comunales y privados. Estos pozos están afectados en gran medida por los programas de letrificación que son desarrollados en estas comunidades (anexo 8), amenazando la calidad de agua para consumo humano por su ubicación no adecuada, siguiendo un patrón muy cercano a las fuentes de agua y cauces de la quebrada, que fluye hacia la parte baja de la subcuenca (figura 15). Como se puede observar en esta figura la mayoría de los pozos con contaminación fecal están en la parte media baja de de la subcuenca.



Figura 15. Ubicación de pozos afectados por coliformes fecales en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

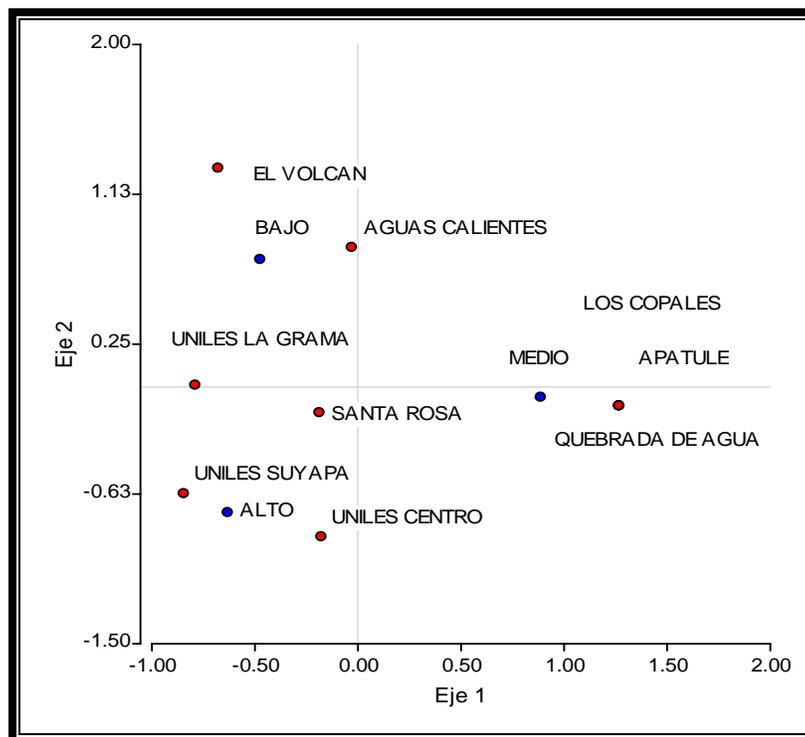


Figura 16. Correspondencias múltiples coliformes fecales y comunidad de la subcuenca del río Aguas Caliente, Somoto, Nicaragua

En el biplot de la figura 16 se observan las dos primeras dimensiones del AC simple de la tabla de contingencia correspondiente al cruce de las variables “coliformes fecales” y “comunidad”. La mayor parte de la incidencia se asocia con la parte media-baja de la subcuenca (Uniles Centro, La Grama, Suyapa y Santa Rosa) con un alto índice de coliformes fecales demasiado para contar en 100 ml de agua. Este resultado que concuerda con el estudio realizado por (Castellón, 2004) donde el mayor grado de contaminación está en la parte media de la subcuenca, producto de la concentración poblacional.

Para el caso específico de la contaminación media (Quebrada de Agua, Apatule y Los Copales) la cantidad de colonias de coliformes fecales encontradas fue de dos a cien colonias, agua de una mala calidad para consumo humano ya que según OMS (2004) el límite de tolerancia es cero. Para el caso de contaminación baja es de cero colonias por muestras

encontradas, siendo la mejor agua para consumo humano, sin provocar enfermedades de origen bacteriológico como el cólera.

La salud esta siendo afectada en un 18% de la población total, con diarreas y problemas estomacales tal como se observa en figura 17.

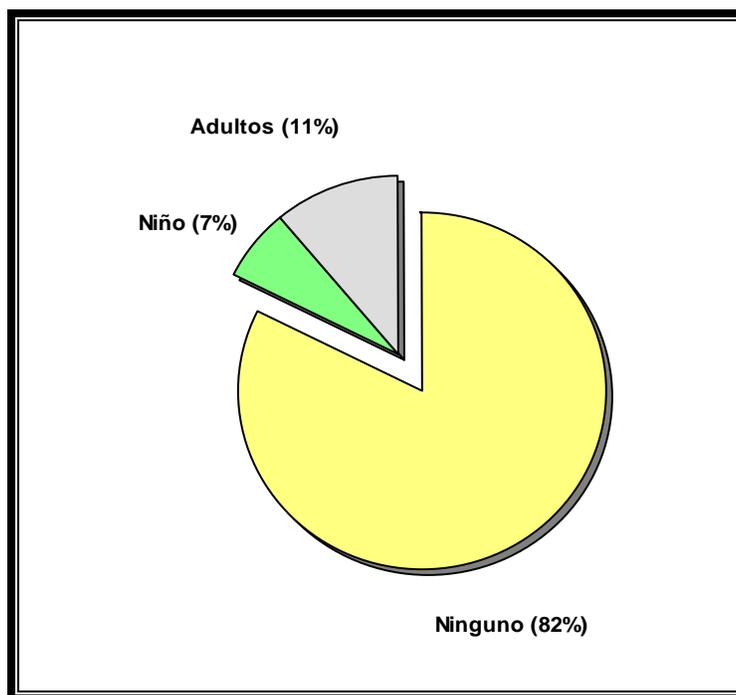


Figura 17. Afectación de enfermedades en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

Se observa en la figura 18 que la disponibilidad de agua es mala, en un 3%, se profundiza en los primeros meses del año. El 61% afirma que el agua es regular pues su disponibilidad baja al disminuir el nivel estático. En los primeros meses del año se mantiene un nivel de agua muy bajo, aumentando la manipulación y frecuencia de personas en una unidad hidrológica, aumentando la contaminación. El restante 36% de la disponibilidad de agua proviene de pozos perforados, que en época seca abastece las comunidades en la parte alta y media, equipados con bombas de mecate, en ocasiones en mal estado, pero con una disponibilidad de agua, aceptable en los meses críticos del año. Afirma INETER (2004) que en diciembre no se registran precipitaciones, iniciando el periodo seco del área de estudio. Por esta razón en los primeros dos meses del año se ve el cambio de niveles freáticos, presentando mayor cantidad de agua subterránea en la parte baja de la subcuenca.

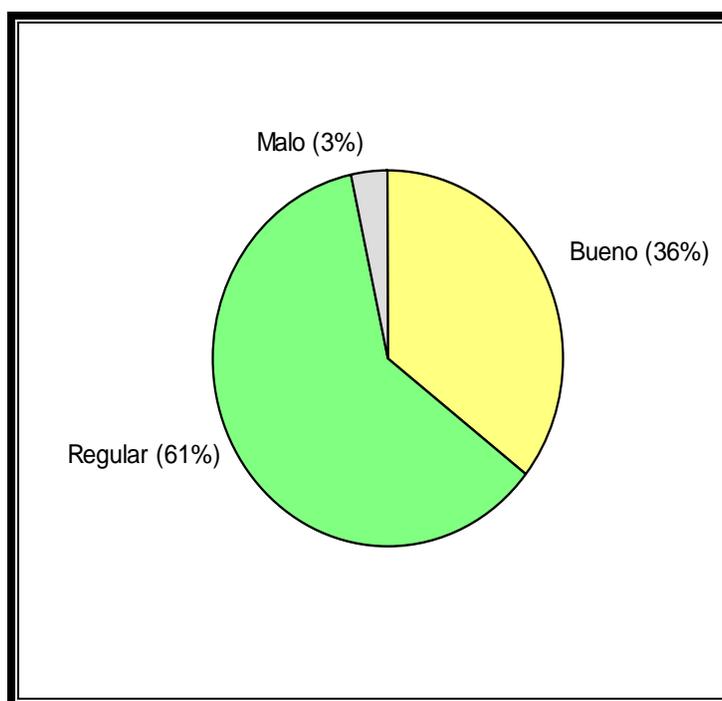


Figura 18. Disponibilidad de agua en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.2.2 Análisis físico químico

El cuadro 23 muestra los resultados del análisis físico – químico realizados por CARE-MCN en el año 2003; en pozos cuya agua se utiliza para consumo humano en las comunidades de El Mansico, Uniles la Grama, Uniles Centro. Sin embargo es necesario destacar que estos análisis se realizaron después de horas de bombeo, posterior a la perforación de los pozos. Se puede observar que los niveles de hierro, plomo y arsénico presentan niveles muy superiores al límite máximo permisible para agua de consumo humano, lo que podría poner en riesgo la salud de la población. Según CARE (2003), las netas concentraciones de hierro y plomo encontradas podrían deberse a la descomposición de rocas volcánicas del grupo Coyol Matagalpa existente en el área de estudio.

Parámetros	Medición	EL Mansico	Uniles La Grama	Uniles Centro	<i>CAPRE</i> ²
Turbidez	UNT	29,5	6,78	9,54	5
pH		7,70	7,34	7,84	8,5
Calcio	mg/l	77,37	91,26	28,96	100
Magnesio	mg/l	4,09	35,12	23,14	50
Sodio	mg/l	128,60	39,40	159,00	200
Nitratos	mg/l	<0,05	6,91	<0,05	50
Sulfatos	mg/l	47,41	16,16	46,4	250
Dureza total	mg/l	209,88	372,24	167,51	400
Nitritos	mg/l	0,006	0,015	0,48	1
Amonio	mg/l	0,045	0,006	0,363	0,5
Hierro Total	mg/l	2,26	0,83	1,73	0,3
Arsénico total	Ug/l	1,53	-	-	0,01
Plomo Total	Ug/l	26,02	16,02	11,94	0,01

Cuadro 23. Análisis de calidad físico – químico en tres comunidades de la subcuenca de el río Aguas Calientes

Según MCN-CARE, el tipo de químico que se utiliza en la perforación de pozos, esto es “jabón líquido industrial o espumante y aceite de transmisión 140” combinado con soda cáustica, es un contaminante, pero no peligroso como el Hierro y el Plomo; esté proceso de perforar con el químico indicado tiene gran incidencia sobre la calidad de agua, debido a que los estratos litológicos tienen fracturas, el aire comprimido se expande varios metros junto con el jabón industrial y el aceite que se utiliza para lubricación de barras brocas y martillo de fondo. Esta situación es agravada por el hecho que la extracción del espumante solamente se puede realizar con bombeo (bomba centrífuga) sumergible y requiere periodos largos de bombeo (al menos 30 horas) para extraer el jabón.

La presencia de hierro es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre, presente en el agua de bebidas, debido a la corrosión de tuberías de acero y hierro fundido en el proceso de distribución y perforaciones de pozo cuando estos tienen caudales muy

² *Comité coordinador regional de las instituciones de agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana.*

pequeños. Según ENACAL, (2003) es necesario revisar la calidad de análisis físico químicos del pozo de Aguas Calientes.

En consecuencia se decidió efectuar nuevos análisis entre de seis y ocho meses después de la perforación de los pozos, obteniendo resultados físico - químico con rangos permisibles para consumo humano, producto de la extracción de masiva de agua que se le realiza en le periodo seco, por parte de la población. Las pruebas se realizaron en laboratorio CIRA-UNA –Nicaragua. No fue posible obtener los resultados, pero a través de una entrevista privada se pudo constatar los resultados con funcionarios MCN- Somoto, Madriz. Dado el riesgo tan alto para la salud humana de niveles elevados de plomo, y otros metales pesados en el agua, es urgente realizar nuevos análisis y monitoreo frecuente a estos parámetros a fin de tener certeza que realmente el agua que está consumiendo la población es de calidad aceptable en términos de niveles a metales pesados.

En la parte baja de la subcuenca Aguas Calientes se ve el afloramiento de la formación geológica Coyol que no, presenta ningún interés hídrico para el almacenamiento de agua subterránea, pero si para el grado de vulnerabilidad a contaminación por pesticida y no pesticida por su fracturamiento, siendo una de las formaciones de mayor antigüedad y extensión en el área de estudio. La presencia de Andesitas (figura 19) con fisuras. Es la única formación geológica de interés por el movimiento de agua, razón por la cual es la única forma que brinde agua a través de sus fisuras rellenas de oxidantes, a pesar de que la parte recomendada para perforaciones es la Comunidad de Los Copales y Aguas Calientes; según el estudio hidrogeológico se refleja buenas perspectivas de perforación en esta área, ya que se registró una capa homogénea abriéndose a los 600 m; Esto que indica que las aguas son muy mineralizadas por la presencia de aguas termales (ENACAL 2004).



Figura 19. Foto Roca Andesita fracturada parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

Según Alcaldía Somoto (2000). Los suelos en la parte alta y media son de origen del período terciario y no almacenan agua en los estratos subterráneos, con gradiente del NEA (nivel freático) hacia la parte baja de almacenamiento de la subcuenca del río Aguas Calientes.

4.3 Objetivo 3

Analizar la vulnerabilidad a contaminación del manto acuífero mediante la aplicación del modelo DRASTIC.

4.3.1 (D) Profundidad del agua (Depth)

El cuadro 24 se presenta los rangos de profundidad de agua y su correspondiente calificación por el método DRASTIC, para todos los 32 pozos perforados identificados y georeferenciados en las 12 comunidades que conforman la subcuenca del río Aguas Calientes. El detalle de la ubicación de los pozos utilizados en la interpolación realizada para calcular la profundidad del agua se muestra en la anexo 6. A partir de esta interpolación, con el

procedimiento IDW se generó el mapa de niveles freáticos, de acuerdo a los valores de profundidad y ponderación (cuadro 25) del índice DRASTIC.

Cuadro 24. Rangos de profundidad de agua y calificación asignada, según los datos obtenidos en campo en la subcuenca del río Aguas Calientes

Rango de profundidad (m)	Calificación asignada
2 - 13	10
13 -27	7
27 -40	2
>46	1

Cuadro 25. Valor de ponderación por tipo de contaminación a profundidad según la EPA

Pesos	Calificación asignada
Pesticida	5
No pesticida	5

En la figura 20 se muestra el mapa de nivel freático en todo la subcuenca del río Aguas Caliente. La profundidad y el diámetro de los pozos está entre 4 y 121 m, con un promedio de 26 m, y una desviación estándar de 26,6 m.

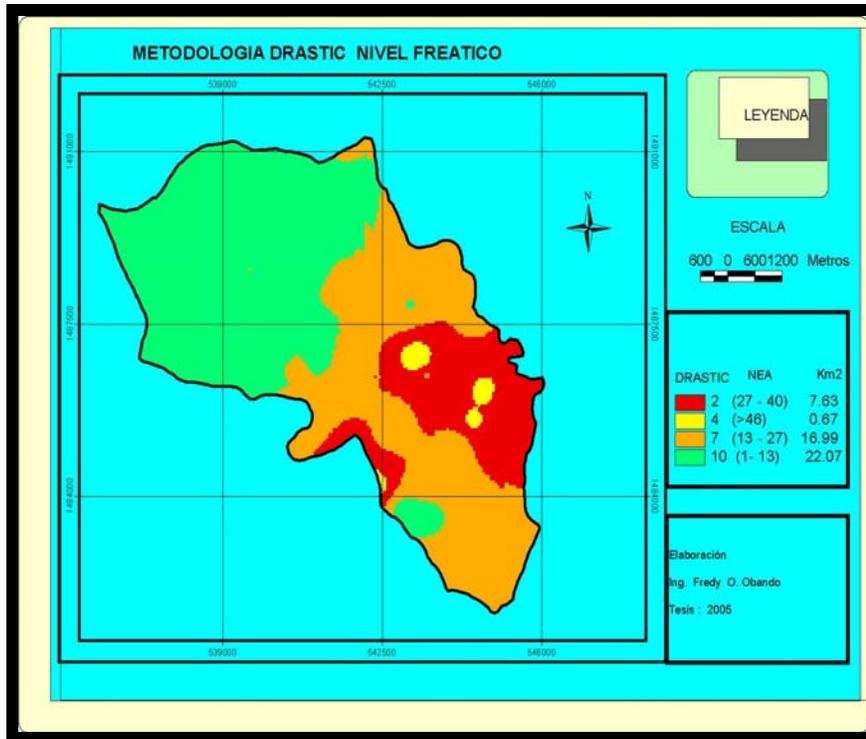


Figura 20. Mapa de niveles freáticos (m) de los pozos perforados en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

Se observa que el nivel freático está muy superficial en la parte baja comunidades de Aguas Calientes, Los Copales y Santa Rosa con niveles de 1 a 13 m que abarca un área de 22 km², mientras que en la parte alta de la subcuenca comunidades de Quebrada de Agua, El Porcal parte baja y El Rodeo el agua se encuentra a una profundidad que oscila entre los 27 y 40 m.

4.3.2 (R) Recarga (Recharge)

La recarga brinda una aproximación de la cantidad de agua que se infiltra en el acuífero; a mayor recarga mayor posibilidad de que los contaminantes ingresen al acuífero.

El cuadro 26 presenta los resultados de recarga potencial esperada en la subcuenca del río Agua Calientes y los cuadros 27 y 28 contienen los datos de calificación por recarga neta y tipo de contaminación utilizada para generar el mapa de vulnerabilidad de contaminación del acuífero.

Cuadro 26. Recarga potencial esperada en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

Área Km ²	Comunidad	Recarga en (mm/año)	Recarga m ³ /año/área
0,78	Rodeo	46	35.716
4,00	Rodeo sitio II	204	617.800
3,49	Mansico	57	190.623
7,12	Uniles	25	181.417
6,27	Chamboroto	67	52.793
6,14	Santa Rosa	179	61.277
10,95	Aguas Calientes	56	100.630
8,62	Los Copales	71	212.741
Total de Recarga			1.453.000

Cuadro 27. Rangos de recarga neta (mm) del acuífero Aguas Calientes y su correspondiente calificación en el método DRASTIC.

Recarga (mm)	Calificación
0 -50	1
50 -103	3
103- 178	6
>178	8

Cuadro 28. Valor de ponderación para recarga a pesticida y no pesticida se acuerdo por la EPA

Peso	Ponderación
Pesticida	4
No pesticida	4

El promedio de recarga indica que el área de la subcuenca del río Aguas Calientes tiene la capacidad de infiltrar aproximadamente por año 1.453.000 m³, recargando al acuífero básicamente en la parte baja.

En la figura 21 se muestran las áreas de recarga neta y el índice DRASTIC donde se observa que la mayor parte de la subcuenca presenta una mayor recarga 50 y 103 mm/año.

La contaminación que presentan mayor importancia para recarga la parte alta es El Rodeo y en la parte baja-media es Santa Rosa y Uniles posiblemente debido a que todavía conserva parte de bosque medianamente intervenido.

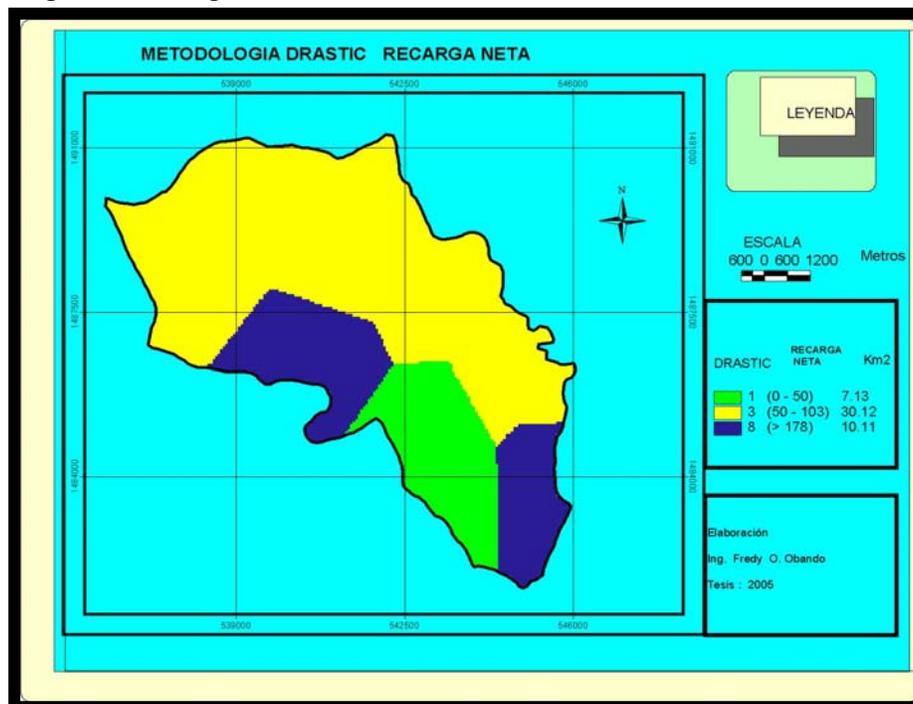


Figura 21. Recarga neta en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.3.3 (A) Tipo de acuífero (Acuifer)

De acuerdo a la litología encontrada en los pozos se pudo inferir el tipo de acuífero presente en las subcuenca Aguas Calientes; para ello fue necesario clasificar la litología (anexo 7, 10) de cada uno de los pozos perforados según se presenta en los cuadros 29 y 30.

Cuadro 29. Litología de la zona de estudio (m) rango de calificación y calificación típica de impacto en la zona vadoza, subcuenca del río Aguas Calientes

Tipo de litología según DRASTIC	Tipo de litología según área de estudio	Rango de calificación	Calificación típica
Ignimbrita fracturada	Arena y grava	4 - 9	9
Basalto fracturado	Basalto	6 - 9	9
Tobas	Tobas	6 - 9	8
Andesita fracturada	Ígnea metamórfica	3 - 5	4

Cuadro 30. Valor típico por contaminación al medio del acuífero, según EPA

Peso	Valor típico
Pesticida	3
No pesticida	3

En la figura 22 se muestra el mapa de zona vadoza en la subcuenca del río Aguas Calientes. Se observa que un alto porcentaje de basalto fracturado correspondiente a un área de 24 km², ignimbrita fracturada 13 km², andesita fracturada 6 km² y tobas 4 km². Las tobas ayudan al movimiento del agua subterráneo hacia la parte baja por ser muy fracturadas; de igual manera, ENACAL (2004) indica que en los suelos del área de estudio predominan materiales rocosos del Grupo Matagalpa. También se observaron rocas del grupo coyol compuesto por andesitas, dasitas y basalto, encontrando varias fracturas en el área de estudio.

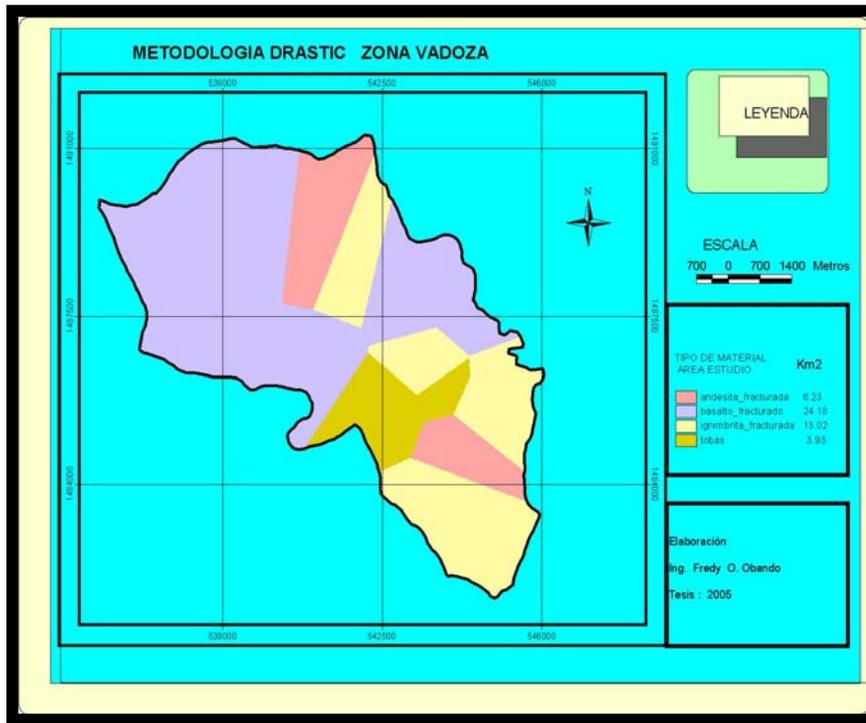


Figura 22. Mapa de zona vadoza de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.3.4 (S) Tipo de Suelo (Soil)

Se obtuvo a partir del mapa de suelos publicados por INETER (2004). El cuadro 31 presenta el tipo de suelo, el espesor medido y la calificación y en el cuadro 32 presenta el tipo de ponderación según los autores de DRASTIC, correspondiente para la subcuenca del río Aguas Calientes.

Cuadro 31. Tipo de suelo, espesor determinado y calificación correspondiente en el método DRASTIC para la subcuenca del río Aguas Calientes.

ESCALA DEL SUELO		
Tipo de material según área de estudio	Espesor (cm)	Calificación
Arcillosos	100 – 70 cm	3
Residuales	70 -60 cm	1

Cuadro 32. Valor de ponderación por tipo de de suelo a contaminación, según la EPA

Peso	Calificación
Pesticida	5
No pesticida	2

Según los resultados los suelos Mollisoles cubren un área de 44,68 km² (figura 23) el restante 2,66 km² está cubierto por el tipo de suelos Inceptisoles, ubicados en la parte alta de la subcuenca Aguas Calientes.

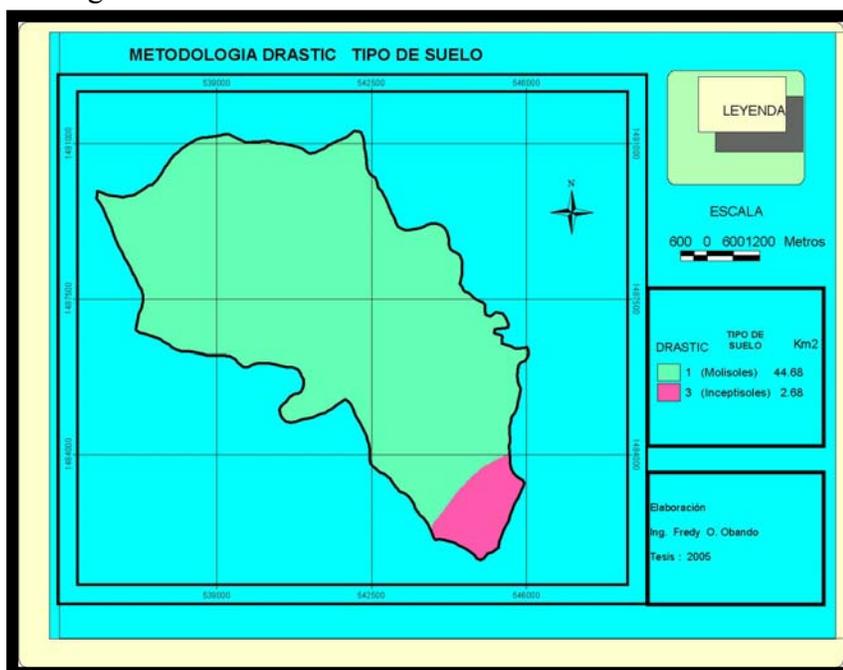


Figura 23. Mapa de suelos subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.3.5 (T) Topografía (Topographic)

Este es el parámetro que indica el grado de pendiente de la subcuenca, a partir del modelo de elevación digital y clasificada de acuerdo a los cuadros 33 y 34. La figura 24 muestra que la mayor parte de la subcuenca es plana con pendiente, de (0 – 10) grados, correspondiente a 33,42 km².

Cuadro 33. Escala y calificación para topografía (grados) según área de estudio

TOPOGRAFÍA	
ESCALA	CALIFICACIÓN
0 - 15	10
15 -31	9
31 -46	5
>61	1

Cuadro 34. Tipo de calificación a contaminación por el grado de topografía, según EPA

PESO	CALIFICACIÓN
Pesticida	3
No pesticida	1

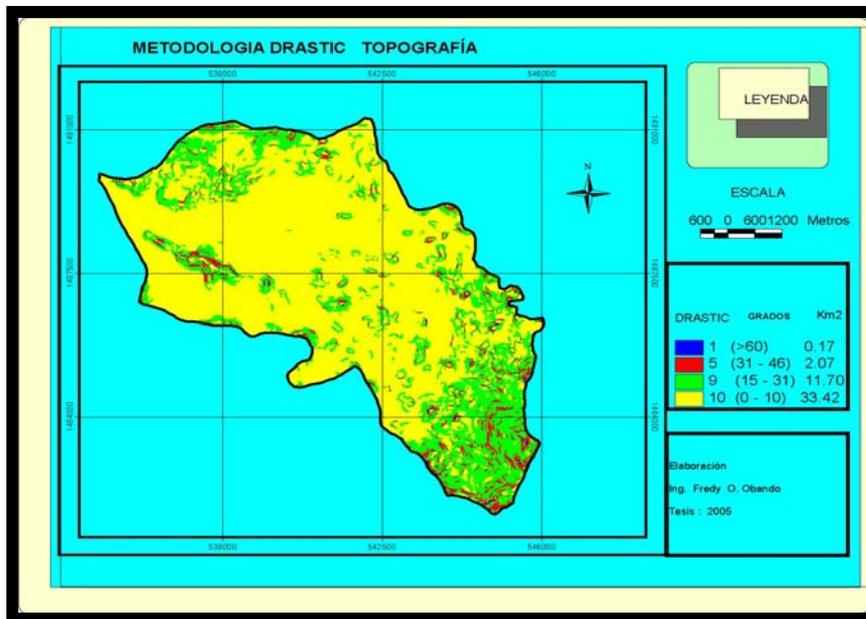


Figura 24. Mapa de pendiente subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.3.6 (I) Impacto en la zona no saturada (Impact vadose zone)

Es la zona subsuperficial sobre la tabla del agua y la franja capilar en la cual los poros dentro de la matriz geológica se llenan parcialmente de aire y agua. En esta zona la presión del líquido es menor que la presión atmosférica, correspondiente a una porción del suelo que se encuentra por encima de la tabla de agua (nivel estático). Para la realización de la espacialización del mapa de impacto de la zona no vadosa se logró mediante los cuadros 35 y

36 que indica la geología del área de estudio presentando andesitas, ignimbrita, basalto y tobas, con un buen grado de fracturamiento, tal y como se muestra en la figura 25.

Cuadro 35. Tipo de material y calificación para el medio del acuífero de acuerdo al material del área de estudio

(Adaptado a la geología del área de estudio zona no vadoza)

Medio del acuífero			
Tipo de material según DRASTIC	Material área de estudio	Rango general de calificación	Calificación
Basalto	Grupo coyol, Toba sedimentaria, Grupo Matagalpa	2 -10	9 7 (medianamente fracturado)
Arenisca masiva y grava	Flujo Andesítico, depósito piroclástico	2- 9	6
Arenisca y aluvión	Flujo Basáltico, Grupo Coyol, tobas	2 -9	4 6 (incipientemente fracturada)

Cuadro 36. Tipo de calificación a contaminación para el medio del acuífero, según la EPA

Peso	Calificación
Pesticida	4
No pesticida	5

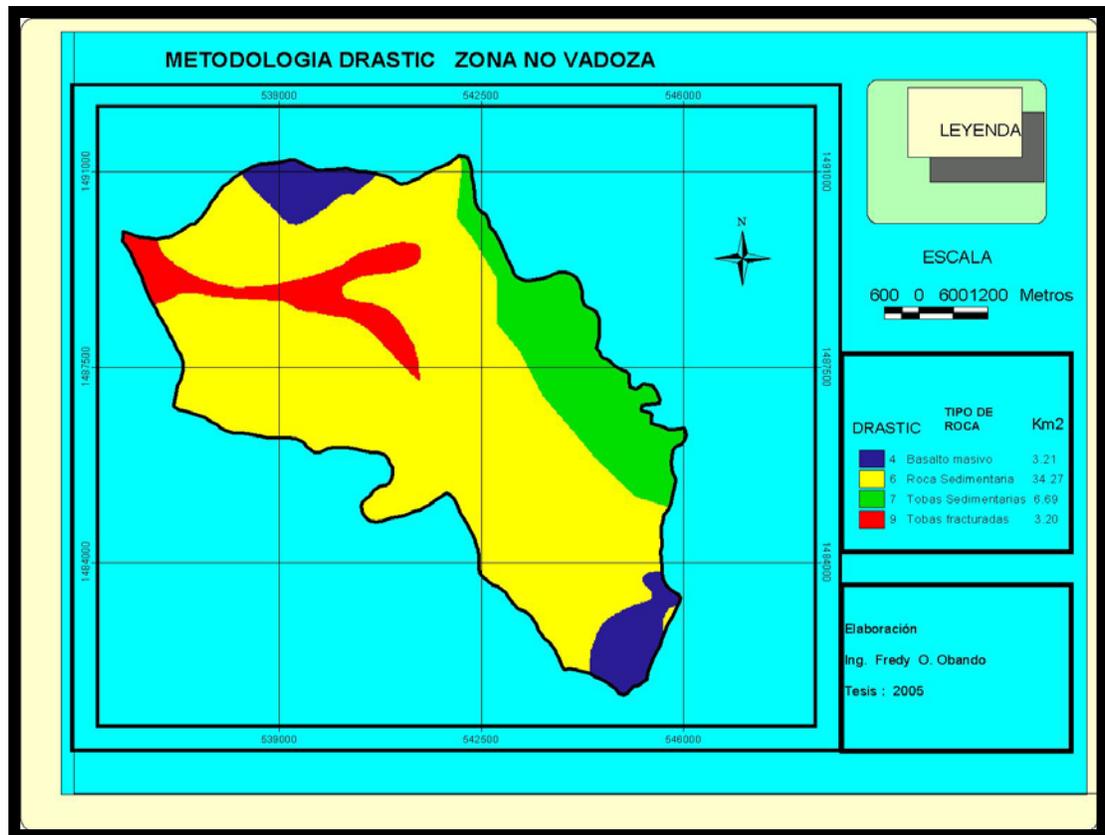


Figura 25. Mapa de zona no vadoza subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.3.7 (C) Conductividad hidráulica (Hydraulic conductivity)

La conductividad hidráulica se obtuvo a partir de las pruebas de bombeo en diferente sitios: El Mansico se realizó una prueba de bombeo a descarga libre con un caudal de 1,57 l/s; en la comunidad de Uniles se realizaron dos pruebas de bombeo: en Uniles La Grama una prueba a descarga libre con un abatimiento de 10,29 m y en Uniles Centro de forma escalonada con un abatimiento de 14,05 m, con un caudal recomendado de 1,32 l/s. Las pruebas se realizaron en los meses de abril a mayo, para poder obtener la conductividad hidráulica del manto acuífero (CARE, 2003). Los sitios anteriores corresponden a la parte baja y alta de la subcuenca del río Aguas Calientes.

En la parte baja de la subcuenca se realizaron dos pruebas de bombeo en los pozos de Los Copales I y II por un tiempo de 32 horas, obteniéndose un rendimiento de 22,49 l/s. (ENACAL 2005), Estos datos se analizaron con el programa GWB desarrollado por

Naciones Unidas, para obtener la transmisibilidad del acuífero por el método de “Jacob” (anexo 5).

Para obtener la espacialización se clasificaron las pruebas de bombeo de acuerdo con los cuadros 37 y 38, modificándose la escala del tipo de conductividad del acuífero, resultando la mejor transmisibilidad en las comunidades de Copales y Aguas Calientes (figura 26).

Cuadro 37. Escala de calificación para conductividad hidráulica en metros por día según área de estudio

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (m/d)	
ESCALA	CALIFICACIÓN
0.04 – 4	1
4 – 8	2
8 - 28	4

Cuadro 38. Tipo de calificación por contaminación de acuerdo al grado de conductividad hidráulica, según la EPA

PESO	CALIFICACIÓN
Pesticida	2
No pesticida	3

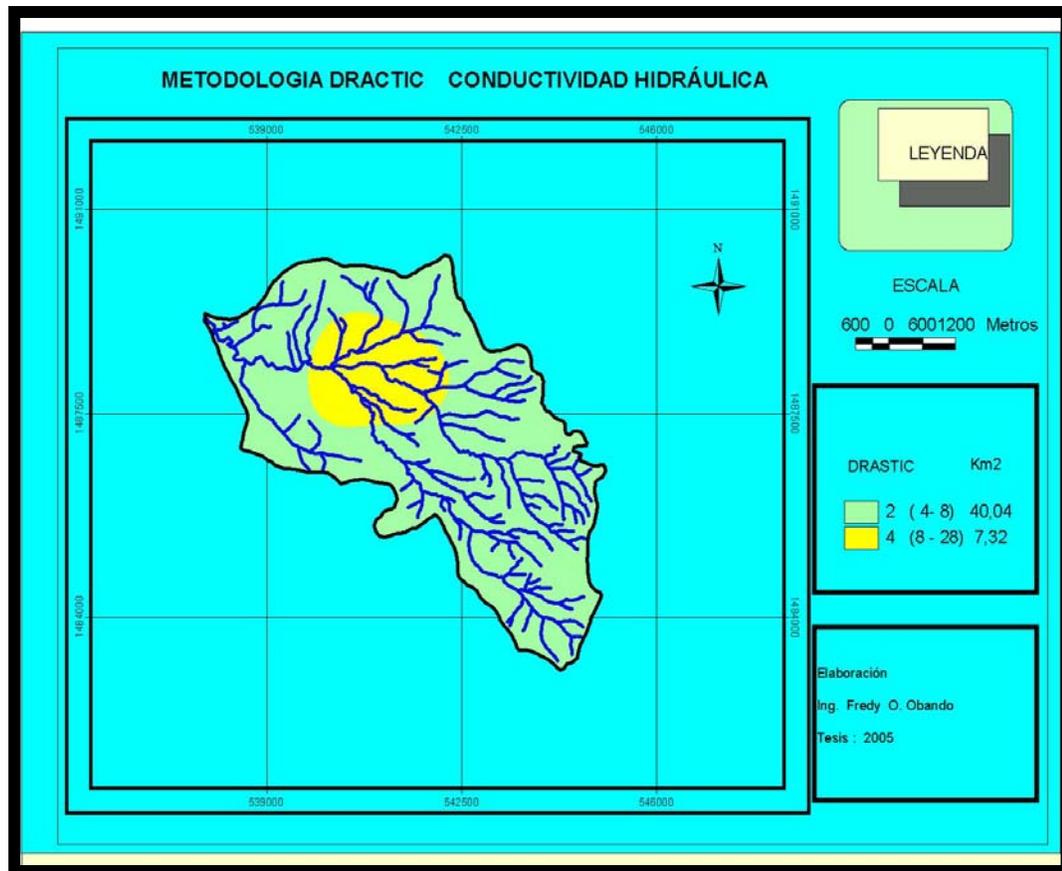


Figura 26. Mapa de conductividad hidraulica de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

Se observó que en la parte baja de la subcuenca existe mayor conductividad hidráulica, entre (8 y 28 m/d), principalmente en el área de 7,4 km², ubicada en las comunidades de aguas Calientes y Los Copales, lugar donde también convergen exactamente dos fallas geológicas que provienen del Río Coco (figura 29).

4.3.8 Índice DRASTIC a Pesticida

Para el Índice DRASTIC Pesticida el valor promedio ponderado fue de 107, con un máximo de 169, un mínimo de 46 y una desviación estándar de 10,67. En la figura 28 puede observarse que la categoría más grande es el área de índice a vulnerabilidad media entre 108 y 138, de un color amarillo, propensa a contaminación, producto de su grado de fracturas y fisuras presentes en esta zona, El área de baja vulnerabilidad es de 8,57 km² el área de

vulnerabilidad media es de 27,81 km² cubriendo el 58,72% del total de la subcuenca del río Aguas Calientes; finalmente, el área de alta vulnerabilidad tiene un abstención de 10,98 km².

Producto de la elaboración de dos perfiles hidrogeológicos, se reconoce que las fracturas o fallas, evidenciadas por la presencia de agua caliente, son las responsables de transmitir el agua al acuífero, encontrándose en un área muy vulnerable a la contaminación por infiltración a pesticidas.

La zona de alta vulnerabilidad, según se observa en la figura 27, está compuesta de dos subzonas, una zona más alargada correspondiente a terrazas aluviales, que tienen andesitas fracturadas a nivel superficial que facilita la infiltración y transmisibilidad hidráulica y con ello incrementa la vulnerabilidad de que los pesticidas puedan llegar hasta el acuífero; la otra subzona tiene presencia de roca volcánica y tobas sedimentarias que también facilitan la movilidad de contaminantes hasta el acuífero, debido a su gran permeabilidad.

Estos resultados sugieren la necesidad de proteger el acuífero en la parte baja de la subcuenca, ya que además, el nivel freático está muy superficial y la andesita fracturada está en contacto directo con la superficie, lo que aumenta la vulnerabilidad a que contaminantes ingresen hacia el manto freático.

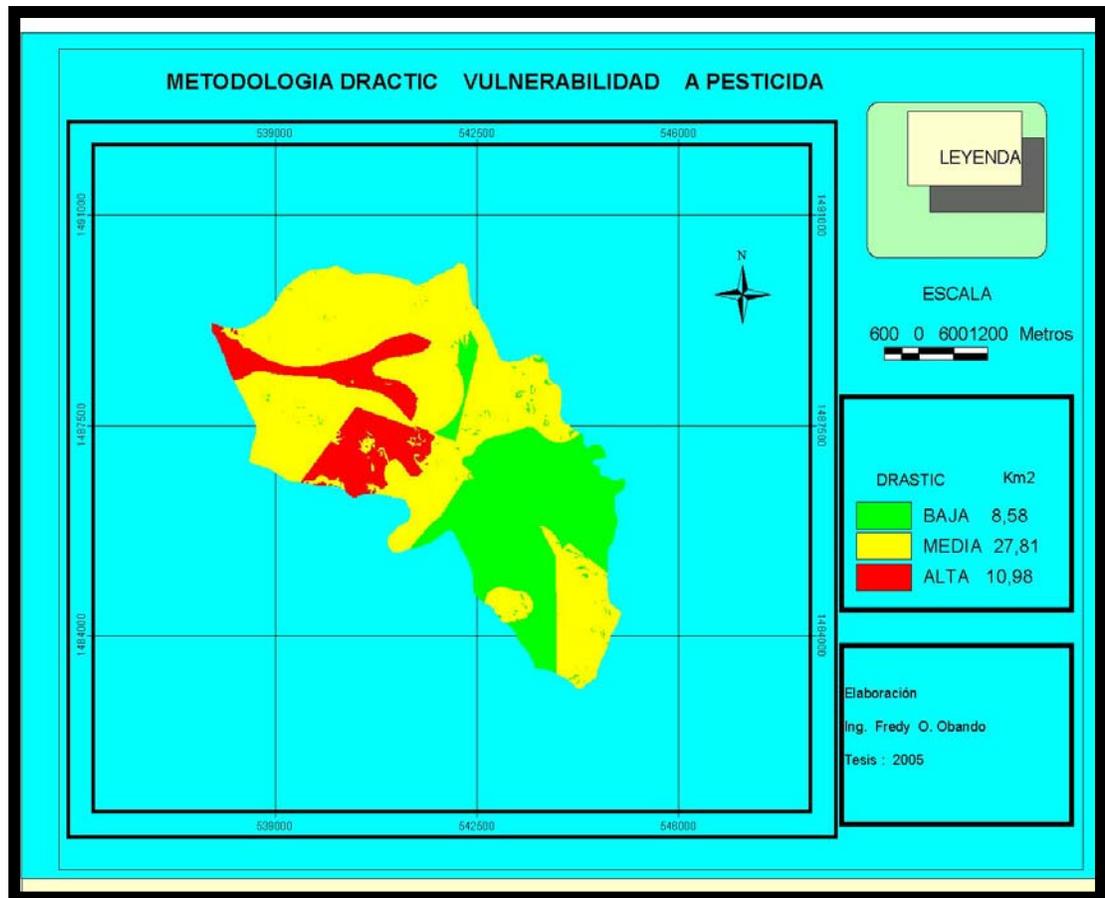


Figura 27. Índice DRASTIC vulnerabilidad a pesticida de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.3.9 Índice DRASTIC no Pesticida

Al sumar los siete parámetros de no pesticida de DRASTIC, da como producto final el mapa de no pesticida, con un valor promedio ponderado por área de 113, una desviación estándar de 9,33, un máximo de 182 y un mínimo de 45 como valor de clasificación.

Generalmente los valores del índice no pesticida resultan menores que el índice pesticida, sin embargo en este estudio no fue el caso, por el grado de fracturamiento de la zona. La figura 28 muestra el mapa de vulnerabilidad no pesticida, con los siguientes rangos y área por categoría:

- Vulnerabilidad baja, rango (46 – 113), correspondiendo a una área de 13,46 km².

- Vulnerabilidad media, rango (114 – 147), con una área de 27,87 km².
- Vulnerabilidad alta, rango (148 – 182), que es la zona de mayor riesgo a contaminación en la parte baja de la subcuenca, correspondiente a una área de 6,04 km².

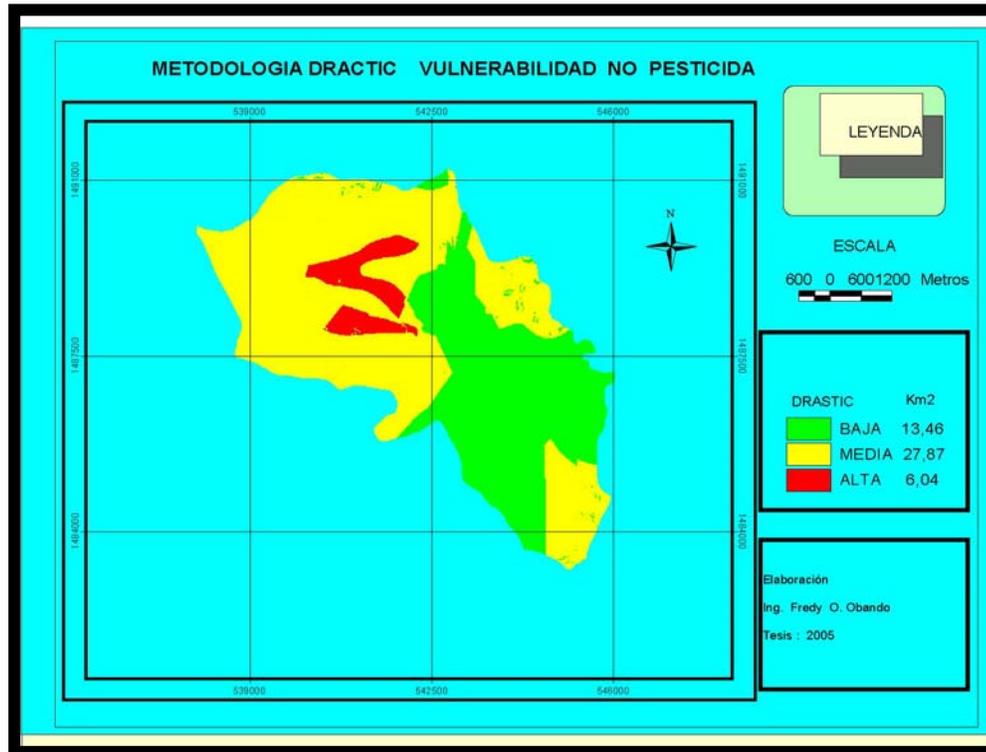


Figura 28. Índice DRASTIC no Pesticida de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

4.4 Relación de características hidrogeológicas de la subcuenca y la vulnerabilidad a contaminación del recurso hídrico subterráneo

Para tener mejor percepción acerca de la litología encontrada en el lugar se interpretaron los perfiles litológicos, realizando un transecto de los pozos de Aguas Calientes y Los Copales, ubicada en esta zona en terrazas aluviales (figura 29 y 30), el cual evidencia una falla geológica en la comunidad de Aguas Calientes, que según estudio de ENACAL (2004) en esta área se juntan dos fallas geológicas, razón por la cual en cierto momento el agua sale un poco caliente, producto de la combinación de metales como azufre y hierro por el contacto directo de la capa magmática.

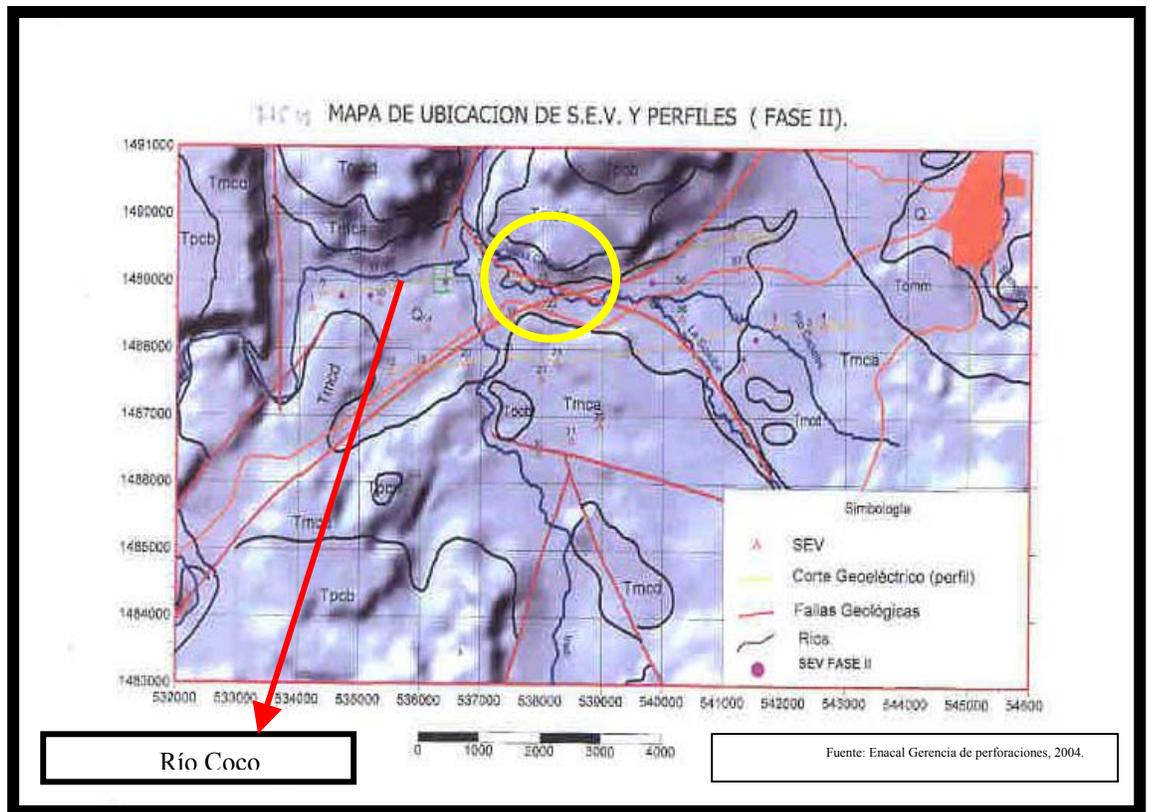


Figura 29. Mapa de fallas geológicas parte baja subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

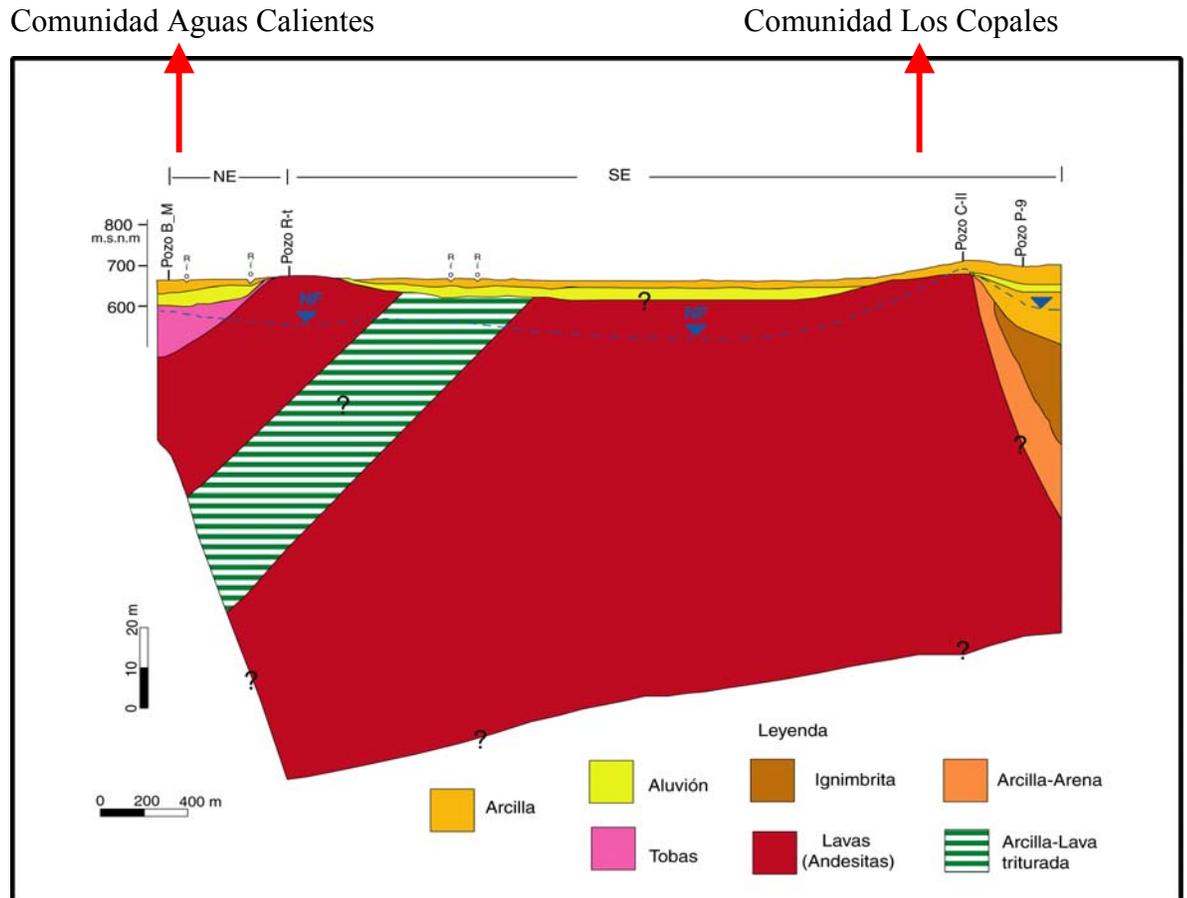


Figura 30. Perfil litol3gico parte baja de la subcuenca del r3o Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

En el siguiente cuadro 39 se muestra la cantidad de pozos utilizados para la elaboraci3n del perfil litol3gico de la parte baja de la subcuenca del r3o Aguas Calientes, realizando un transecto entre las comunidades de aguas Calientes y Los Copales.

Cuadro 39. Descripci3n de pozos, propietarios y ubicaci3n seg3n perfil litol3gico parte baja en la subcuenca del r3o Aguas Calientes

Comunidad Aguas Calientes	Propietario	Comunidad Los Copales	Propietario
Pozos B-M	Benito Mendoza	Pozo II	Pozo ENACAL 2005
Pozo R-t	Rene Tercero	Pozo P-9	Pozo ENACAL 1998
R3o	Red de drenaje	NF	Nivel freático
Arcilla Lava triturada	Falla geol3gica		

Los pozos de Quebrada de Agua, Mansico y el Porcal, se observó que la mayor cantidad de formación litológica está compuesta por ignimbrita y andesitas en la parte más baja del manto acuífero, con una cantidad de tobas presentes superficialmente; todo esto ayuda a que el agua infiltrada se mueva rápidamente por diferencia de gradiente a la parte baja de la subcuenca Aguas Calientes, aumentando la recarga en esta zona (figura 30).

La parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes presenta fallas geológicas (figura 31) dos de las cuales se interconectan con el Río Coco hasta el acuífero, esto explica en parte la alta disponibilidad de agua en esta zona baja, ya que la recarga del acuífero por infiltración de lluvia es limitada por el déficit hídrico que presenta la zona. Esta interpretación es reforzada por el hecho que las fallas geológicas coinciden espacialmente en la zona de terrazas aluviales, las cuales además de tener características que favorecen y facilitan la transmisibilidad hidráulica y la permeabilidad se interconectan con el Río Coco.

Sin embargo, no se debe descartar el aporte importante de agua al acuífero en parte baja proveniente de la zona de recarga en la parte media y alta de la subcuenca; en efecto el perfil litológico realizado en

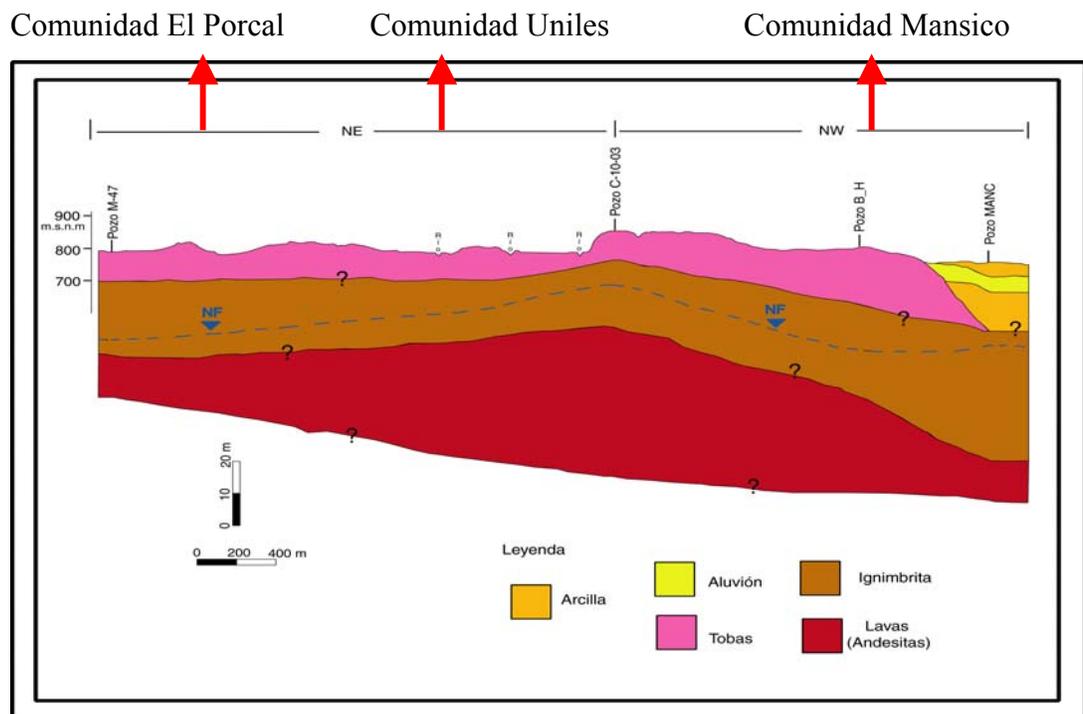


Figura 31. Perfil litológico de la parte alta, media de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

En el siguiente cuadro 40 se muestra la cantidad de pozos utilizados para la elaboración del perfil litológico de la parte alta y media de la subcuenca del río Aguas Calientes, realizando un transecto entre las comunidades de Mansico, Uniles y El porcal.

Cuadro 40. Descripción de pozos, propietarios y ubicación según perfil litológico parte alta media en la subcuenca del río Aguas Calientes

Comunidad El Porcal	Propietario	Comunidad Mansico - Uniles	Propietario
Pozo M-47	Comunal	Pozo C-10-03	Pozo comunal _Uniles
Río	Red de drenaje	Pozo B_H	Pozo comunal _ Mansico
NF	Nivel freático	Pozo MANC	Pozo comunal _ Mansico

En la parte baja de la subcuenca existen cuatro pozos perforados con un alto nivel de producción, oscilando entre 6,3 – 25,2 l/s; tal transmisibilidad tan elevada es posible porque estos pozos están ubicados en la formación de depósitos aluviales que se encuentra en la parte baja de la subcuenca, con rocas sedimentarias y con gran potencial de encontrar agua subterránea (figura 32).

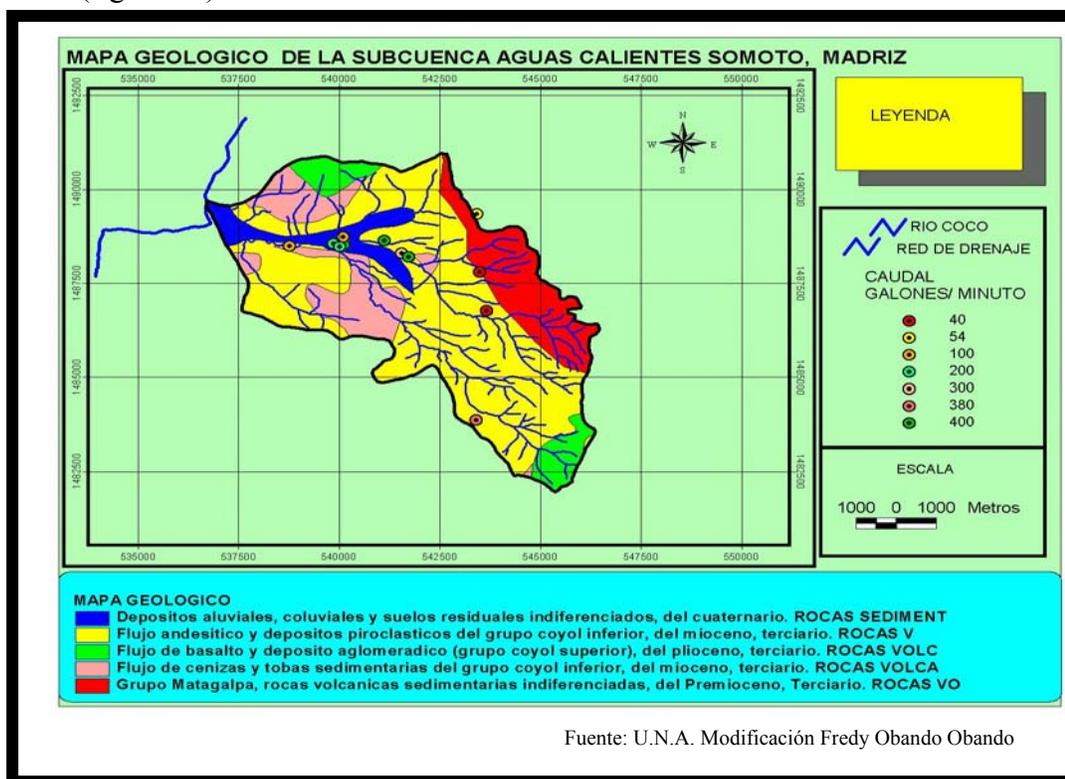


Figura 32. Mapa geológico de la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua

5. CONCLUSIONES

- El 87,5% de los pozos existentes en la subcuenca son excavados, que son los más vulnerables a la contaminación por el tipo de construcción y manejo que tienen.
- A pesar de que en las encuestas más del 95% de los usuarios consideran que la disponibilidad de agua durante la época seca es regular o buena, en el estudio se evidenció que el nivel freático de los pozos durante este periodo es muy bajo, principalmente en la parte alta y media. En estas zonas hay gran cantidad de pozos excavados, alimentados por un acuífero superficial y su formación geológica no es tan eficiente para almacenar agua como es el caso de las tobas.
- Se determinó que la actividad antropogénica que más contribuye a la contaminación es la excavación de pozos cerca de las letrinas, principalmente en el área de mayor concentración poblacional.
- Durante la época seca la extracción de agua de pozos excavados, en la parte alta y media de la subcuenca es muy baja, lo que crea dependencia de los pozos perforados y genera racionalización en el suministro de agua y con frecuencia crea conflicto por el recurso.
- En el período 2004 – 2005, hubo un incremento del 27% en el número total de pozos, pasando de 193 a 264; esto evidencia problemas en el descenso del nivel freático obligando a buscar nuevas fuentes.

- La mayor cantidad de contaminación por coliformes fecales se encuentra en la parte media de la subcuenca del río Aguas Calientes, producto de la mala ubicación de letrinas, manipulación de agua, estructura en mal estado sin ademe, que proteja los pozos de la escorrentía superficial y filtraciones muy superficiales.
- El 40% de los pozos muestreados presentaron contaminación bacteriológica con niveles inadecuados para consumo humano, sin embargo la población utilizan el agua sin previo tratamiento
- La calidad físico - química del agua de los pozos perforados en las comunidades de el Mansico, Uniles La Grama y Uniles Centro; presenta elevados niveles de plomo y arsénico lo que podría deberse a la inadecuada perforación con jabón líquido industrial.
- Tomando en cuenta el estudio hidrológico de (ENACAL 2004), en la parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes se encuentra la mayor cantidad de agua que se extrae para suplir la demanda a la ciudad de Somoto. El agua proviene significativamente del Río Coco, por tener comunicación a través de las fallas geológicas que se encuentran en las comunidades de Los Copales y Aguas Calientes, además de la existencia de terrazas aluviales que favorecen este comportamiento.
- Los resultados del método DRASTIC indican que la vulnerabilidad alta en el mapa de “no pesticida” se encuentra en la parte baja de la subcuenca, con una área de 6 km², ubicada en las comunidades de Aguas Calientes y parte baja de Santa Rosa, que es un área con formación geológica de tobas andesíticas fracturadas.
- Para el caso de contaminación por pesticidas, el área con vulnerabilidad más alta, identificada por el modelo DRASTIC, también está en la parte baja de la subcuenca, con un área de 11 km². esto indica que la planificación y toma de decisiones para prevenir la contaminación del acuífero debe concentrarse en la parte baja de la cuenca.

- LA formación litológica de Aguas Caliente está conformada por tobas y lavas (andesitas), expuestas a la parte superficial, siendo de alta vulnerabilidad a agroquímicos y otro tipo de contaminantes que pueden fácilmente percolarse al acuífero.

- De acuerdo a los pruebas de bombeo realizada a pozos perforados, el lugar que presenta mejor transmisibilidad y conductividad hidráulica del acuífero son las comunidades de Los Copales y Aguas Calientes por estar ubicadas en las terrazas aluviales de la subcuenca.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un adecuado uso de suelos en la parte baja y media de la subcuenca
 - Realizando prácticas agrosilvopecuarias
 - Cultivo de granos básicos resistentes a sequía (maíz, sorgo, millón).
- La limpieza y desarrollo de los pozos perforados junto a un monitoreo de los niveles estáticos, permitiría conocer el verdadero descenso del manto acuífero en términos de tiempo.
- Establecer un monitoreo hidrometeorológico de la subcuenca con fines de generar información local que permita diseñar y planificar con más confiabilidad las acciones necesarias para el manejo de la subcuenca, tanto superficial como subterráneamente.
- Realizar un ordenamiento territorial de la subcuenca teniendo como base la herramienta SIG para conocer posibles lugares donde poder realizar obras de captación de agua de lluvia (lagunas).
- Establecer coordinación junto con la Alcaldía Somoto e INETER para establecer un observatorio meteorológico en área periférica a la ciudad de Somoto, con una extensión de 7,000 m² para tener mejor percepción del panorama climatológico de la zona de estudio y sus alrededores.
- Realizar la clausura de pozos excavados que no tienen utilidad hídrica en las comunidades mediante previo tratamiento.
- Urge un monitorio permanente y la toma de decisiones sobre la calidad de agua que consume la población de la subcuenca del río Aguas Calientes.

- Al realizar las perforaciones no deben ejecutarse con sulfónico (jabón industrial), porque altera la calidad del agua, al igual que bentonita ya que altera el pH; al finalizar las perforaciones se debe de equipar la estructura del pozo con tubo piezométrico y tubo de relleno para grava.
- Para conocer mejor el comportamiento del manto acuífero es necesario realizar aforos consecutivos durante un año en el río Coco y el río Inalí, para comprobar si se está perdiendo el volumen de agua en esos tramos o se está infiltrando hacia el acuífero Aguas Calientes, a través de las fallas geológicas.
- Establecer coordinaciones con el MED para realizar educación ambiental en las escuelas con el objetivo de crear conciencia ambiental sobre el manejo del recurso hídrico en la subcuenca.
- La geología de la zona en estudio está constituida por una capa de lava de composición andesita fracturada en la parte superior, extendiéndose por toda la subcuenca con un espesor aproximado de 90,40 m. Sobreyaciendo las lavas, se encuentran los flujos de ignimbrita localizada en la parte alta y media con un espesor aproximado de 40 m y superficialmente encontramos tobas con un espesor de 18 m.
- Según análisis físico químicos el aguas subterráneas es bicarbonatadas Cálcico-magnésica perjudicando la población con posibles enfermedades a largo plazo.
- Al ser el Río Coco, una cuenca que está aportando agua al acuífero de la subcuenca del río Aguas Calientes, es necesario realizar un manejo conjunto con la municipalidad de San Marcos de Colón, Honduras, por ser una cuenca de carácter internacional.
- Para la realización de la metodología DRASTIC se necesitan parámetros de precipitación, mapa hidrogeológico, análisis de calidad de agua para consumo humano, litología de pozos y pruebas de bombeo. La obtención de esta información es costosa y muy difícil de obtener. Si no se cuenta con estos parámetros se vuelve muy difícil la modelación, porque hay que generarlos en muchos de los casos.

- El parámetro de recarga del acuífero es una de las capas que presenta un grado mayor de complejidad para determinarse en el área de estudio.
- Los rangos de vulnerabilidad estimada mediante el modelo DRASTIC pone en evidencia la necesidad de disminuir los usos de agroquímicos (pesticidas) en el área delimitada como alta vulnerabilidad en la parte baja de la subcuenca del río Aguas Calientes, por tener actividades de cultivos anuales, producción hortícola, bosque de galería muy perturbado, pastos mejorados y con maleza

7. LITERATURA CITADA

- Alcaldía de Somoto. 2000. Plan Rector de Producción y Conservación de la subcuenca Aguas Calientes. Nicaragua. 200 p.
- Agüero, VJ. 2000. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica. Tesis Lic. Ing. Civil. San José, CR, Universidad de Costa Rica. 195 p.
- Aller, L; Lerh, J; Petty, R; Hackett, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. s.e. EPA-600/2-87-0305. p.
- Brady, N. 1984. The nature and properties of soils. New York, United Status of America. 749 p.
- Castellón N. Análisis Socioambiental del uso y manejo del agua en la subcuenca del Río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua. Tesis de MSc. Turrialba, C.R. CATIE. 159 p.
- CARE, (Care Internacional en Nicaragua). 2003. Informe perforación de pozos en el municipio de San Lucas y Somoto. Departamento de Madriz. Managua, Nicaragua. 66 p.
- CEPIE, (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 1987. Manejo regional de prevención y control de la contaminación de aguas subterráneas. Sen José. Costa Rica 110 p.
- Custodio, G. 1998. Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre. Boletín Geológico y Minero (109-4): p.13-29.
- Clavero, R. 2003. Glosario Volcanólogo. Turrialba Costa Rica (En línea) consultado el 30 de agosto del 2005. Disponible en <http://www.povi.cl/glosario.htm#top>

- Calvo, S. 1999. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. México, D.F. 351 p.
- Darío, O. 2002. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. (En línea) consultado el 30 de agosto 2005. LaRed.9tp://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm
- EPA. (Environmental Protection Agency). 1992. National water quality inventory. Washington, DC. USA. 309 p.
- ENACAL (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados), 2003a. Estudio hidrogeológico – geofísico de Somoto, Somoto, Nicaragua. 70 p.
- (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados), 2004b. Estudio hidrogeológico – geofísico de Somoto, Somoto, Nicaragua. 90 p.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación). 1981. Contaminación de aguas subterráneas. Roma, Italia. 161p.
- Foster, S; Hirata, R. 1988. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. CEPIS/PAHO-WHO Technical Report. Lima (Perú) en (línea) consultado 23 de octubre 2005. Disponible en <http://www.udep.edu.pe/recursoshidricos/vulnerabilidad.pdf>
- Faustino, J. 1987. Variables determinantes en la identificación de áreas críticas en tierras de laderas. In. Usos sostenidos de tierras en laderas. Quito, Ecuador. 41p.
- INIFON- FNUAP Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal- Fondo de Población de la Naciones Unidas, 1998. Diagnóstico socio-demográfico municipio de Somoto. 1ª ed. Managua. 90 p.
- I.N.E Instituto Nacional de Ecología. 2004. Conceptos Generales. D.F. México. En (línea), Consultado el 30 de agosto 2005. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas>

- Jiménez, F. 2004. Manejo de Desastres Naturales, Modulo 2. Zurriaba Costa Rica. 290 p.
- Larío A. B; 2004. Procesos organizativos, relación y tecnologías para el manejo y conservación del recurso hídrico y mitigación de la sequía, subcuenca del Río Aguas Caliente, Nicaragua. Tesis de MSc. Turrialba, C.R. CATIE. 150 p.
- Llamas, M. R; Custodio, E; 2002. Acuíferos explotados intensivamente: conceptos principales, hechos relevantes y algunas sugerencias. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 223-228 en (línea) consultado el 30 de agosto 2005. Disponible en http://aguas.igme.es/igme/arti_boletin_publici.htm
- Leader Team; 2003. La reserva de agua subterránea en el mundo continúa cayendo. Naturaleza. Holanda. p. 1
- Losilla, M; Schosinsky, G. 2000. Modelo análisis para determinar la infiltración con base en la lluvia. Revista Geológica de América Central. No 23, p: 43-55.
- Martínez, W; Laínez, C. 1998. Estudio de investigación de fuentes potenciales para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Somoto, departamento de Madriz. Alcaldía Municipal de Somoto. Informe de estudio. 136 p.
- Martínez, M; Fabregat, V. 1998. Aplicación del método Drastic para la evaluación del riesgo de afectación a las aguas subterráneas por una obra lineal. Barcelona, España p. 413- 420.
- Martínez, W; Granado, C. 1998^a. Estudio de investigación de fuentes potenciales para el abastecimiento de agua potable del Poblado de Somoto. Managua, Nicaragua. 55p.
- OMS, 2004. Normas internacionales para la calidad de bebida, Costa Rica, en (línea). Consultado el 06 septiembre de 2005. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html>

PNUMA (Programa de la ONU para el medio ambiente). 2004. Diferencia de consumo entre el primer y tercer mundo. Costa Rica, en (línea). Consultado el 02 de Septiembre de 2004. Disponible en http://www.eco-sitio.com.ar/agua_diferencia_entre_1_y_3_mundo.htm

Revista Ambientum, 2002. Uso de aguas subterráneas. (En línea). Turrialba, CR. En (línea). Consultado 9 de octubre 2002. Disponible en http://www.ambientum.com/revista/2003_01/CLDDGSSB.htm

Spence, R. 1990. "Seismic Risk Modelling - A review of Methods", contribution to "Vello il New Planning", University of Naples, Papers of Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge 400 p.

Schosinsky G. 2004. Cursos de geología UCR (Universidad de Costa Rica) San José. Costa Rica, 100 p.

Umaña, E; Mendoza, J. 2000. Caracterización biofísica de la subcuenca Coco - Somoto. Documento informe final del estudio. Alcaldía municipal de Somoto. 69 p.

Villón, M. 2002. Hidrología. Cartago, Costa Rica 1ª edición. 436 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis físico químico de pozos perforados en las comunidades de Mansico, Uniles centro y Uniles Suyapa de la subcuenca del río Aguas Calientes

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS

Parámetros	Medición	EL Mansico	Uniles La Gramas	Uniles Centro	CAPRE*
Turbidez	UNT	29.5	6.78	9.54	5
pH		7.70	7.34	7.84	8,5
conductividad	µs/cm	862.00	825.00	936.00	
Sol. Dis.	mg/l	573.01	501.91	615.77	
Color	mg/l Pt-	<5	<5	<5	
Calcio	mg/l	77.37	91.26	28.96	100
Magnesio	mg/l	4.09	35.12	23.14	50
Sodio	mg/l	128.60	39.40	159.00	200
Potasio	mg/l	2.36	0.97	2.95	
Cloruros	mg/l	15.92	23.39	11.24	
Nitratos	mg/l	<0.05	6.91	<0.05	50
Sulfatos	mg/l	47.41	16.16	46.4	250
Carbonatos	mg/l	<2	<2	<2	
Bicarbonatos	mg/l	530.01	525.38	577.92	
Dureza total	mg/l	209.88	372.24	167.51	400
Alcalinidad	mg/l	434.75	430.55	473.60	
Alc.	mg/l	<1.67	<1.67	<1.67	
Sílice disuelta	mg/l	34.61	31.27	59.92	
Nitritos	mg/l	0.006	0.015	0.48	1
Amonio	mg/l	0.045	0.006	0.363	0,5
Hierro Total	mg/l	2.26	0.83	1.73	0,3
Balance	%	1.4	2.8	1.96	

*Comité coordinador regional de las instituciones de agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y Republica Dominicana.

Anexo 2. Análisis de metales pesados para pozos perforados de la parte alta y media de la subcuenca del río Aguas Calientes

Comunidades		Medición	El Mansico	Uniles La Grama	Uniles Centro	CAPRE*
1	Arsénico total	µg/l	1,53	<ID		0,01
2	Plomo Total	µg/l	26,02	16,02	11,94	0,01

**Comité coordinador regional de las instituciones de agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana.*

Anexo 3. Formato de encuestas utilizadas para caracterizar aspectos hídricos en la subcuenca del río Aguas Caliente

No _____

Comunidad: _____ Fecha: _____

Nombre del entrevistado: _____

Finca : _____

Características.

Sistemas de agua	Comunal		Profundidad (m)
	Privado		
Pozo excavado	_____	_____	_____
Pozo perforado	_____	_____	_____
Mabe	_____	_____	
Derivación	_____	_____	
Otros	_____	_____	

Si su pozo es excavado, ¿Cuáles son sus dimensiones?

Diámetro (m) _____ Tiene protección interna _____
 brocal

Profundidad total _____ Profundidad del agua _____

Tipo de bomba usada en el pozo

Mecate _____ Mark 2 _____ Otros _____
 Emas _____ Sin bomba _____

¿Cada cuánto tiempo la reparan? _____

¿Cuenta con infraestructura la fuente de agua (pozo)?

Cuarterón Plancha concreto Tapadera (sello sanitario)

Institución que le ayudó con esta infraestructura _____

¿Qué cultivos tiene alrededor del pozo?

Área (manzanas)

Granos básicos	_____	_____
Hortaliza	_____	_____
Frutales	_____	_____
Ninguno	_____	_____
Otros	_____	_____

Calidad de agua

¿El sistema de agua cuenta con exámenes bacteriológicos por el MINSA?

	SI	_____	NO	_____		
Frecuencia	mensual	_____	anual	_____		
Sabor	bueno	_____	regular	_____	malo	_____
Limpieza	mensual	_____	semestral	_____	anual	_____
Disponibilidad	bueno	_____	regular	_____	malo	_____

Organización local

¿Existen Comités de agua en la comunidad? SI NO

No de miembros _____ No hombres _____ No de mujeres _____

¿En qué mes se capacitan los comités de agua? _____

¿Qué institución los ha organizado? _____

¿Realizan pago por el uso del agua, por qué?

Pago mensual SI NO

Monto en córdobas _____

No de familias beneficiarias por pozo _____

Recipiente de transporte de agua es de:

Plástico _____ Aluminio _____ Con tapadera _____

¿Quién acarrea el agua?: Hombre Mujer Niños

¿A que distancia está el pozo de la casa (m)? _____

Usos del agua

Consumo	_____	Riego	_____	Animal	_____
---------	-------	-------	-------	--------	-------

Beneficiado de café: SI NO

Consumo diario de agua en promedio _____ (litros).

¿Cuál es el tipo de riego en sus cultivos?

Sistema de riego	Marque (X)	Sistema de riego	Marque (X)
Inundación		Riego goteo	
Aspersión		Ninguno	

Fuentes amenazantes de contaminación marque con X

Letrinas cercanas Desechos animales Desechos agrícolas

Desechos por detergentes No de letrinas / familia

Distancia de la fuente contaminante en (m) _____

Sistemas de cosechas de agua de lluvia
maque con X

Sistema	Marque X	Sistema	Marque X
Cisternas		bidón plástico	
Cantaros		Pilas	

Consumo de agua en la familia gl/día _____

Institución que le ayudó a realizar la

Captación de agua _____

¿Usted ha recibido capacitación en manejo y calidad de agua?

SI NO

Miembro	Marque X	Miembro	Marque X
Jefe de familia		hijos	
Cónyuge		otros	

En caso de otros, especifique _____

¿Con qué frecuencia al año? _____

¿Cuál es el sistema de agua de mejor calidad?

De la escala de 1 al 3, para usted. 1 es bueno, 2 regular, 3 malo

Sistema de agua	Marque X	Ojos de agua	Marque X
Pozo excavado		Mabe	
Bomba de mecate		Acueducto	
Pozo perforado		Otros	

¿El agua de su comunidad ha ocasionado enfermedades en la población?

SI NO

Medicamento que tomó o remedio casero

¿A quiénes? Adultos Mujer Hombres
 Niños Ancianos

Nombre de la enfermedad (es) _____

¿Usted tiene problemas con la disponibilidad de agua SI NO

En caso de responder SI, para usted ¿cuál es la causa?

Causa	Marque (X)
Fenómeno natural	
Quemas	
Deforestación	
Sobrepoblación	
Mala distribución	
Falta de infraestructura	
Agua profunda	
Se seca el pozo	
Cultivos inadecuados	
Aumentado de la población	

¿En qué meses del año se profundiza el agua de donde se abastece? _____

¿Cuántos metros ha bajado el agua en el pozo? _____

¿Cuántos metros de agua tiene el pozo de donde se abastece? _____

¿Usted tiene conflictos por el uso del agua? SI NO

Falta de organización legalidad del terreno conflictos internos

¿Qué está realizando para detener el problema de abastecimiento de agua?

¿Qué instituciones están trabajando en su comunidad?

¿Cuál es el nombre del técnico e institución que le atiende más a menudo?

¿Está satisfecho con la atención brindada y acompañamiento técnico?

¿Qué cambios ha obtenido en estos últimos cuatro (4) años en su comunidad con el enfoque de cuencas hidrográficas?

B: bueno R: regular M: malo Mabe: Mini acueducto por bombeo eléctrico

A: anuales S : semanal M: mensual

Anexo 4. Censo poblacional en 10 comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes

Comunidad	No. de pozos	No. familias	Total de habitantes	No. de casas	Porcentaje de familias	Porcentaje de pozos	Porcentaje de habitantes
El Volcán	6	114	568	86	7,7	2,27	8,49
El Porcal	10	122	516	85	8,2	3,79	7,71
Rodeo	3	48	238	48	3,2	1,14	3,56
Quebrada de Agua	8	76	370	72	5,1	3,03	5,53
Mansico	6	82	290	75	5,5	2,27	4,33
Uniles	62	262	1275	262	17,7	23,48	19,05
Sta. Isabel	38	334	1436	243	22,6	14,39	21,45
Los copales	12	77	409	67	5,2	4,55	6,11
Sta. Rosa	45	186	872	132	12,6	17,05	13,03
Aguas Calientes	74	178	720	175	12,0	28,03	10,76
TOTAL	264	1479	6694	1245	100,0	100	100

Anexo 5. Conductividad del manto acuífero de la subcuenca del río Aguas Calientes

X	Y	Comunidad	Transmisibilidad m ² /día	Ancho del acuífero metros	Conductividad hidráulica
540017	1488602	Aguas calientes	546	42,07	12,50
538023	1488965	Gualagre	167	77,43	2,16
535424	1488784	Guayabo	207	12,8	16,17
541741	1488314	Copales	438	35,73	12,26
544700	1490200	Cruz Roja	30	75,46	0,40
543150	1485549	Uniles Centro	40	58,22	0,69
544487	1485039	Uniles La Grama	1.19	59,22	0,02
544883	1485561	Mansico	0,248	32,22	0,01
548600	1484800	Los Canales	12	62,74	0,19

Anexo 6. Profundidad de pozos perforados en comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes

X	Y	MSNM	Institución	Comunidad	NEA (m)	Profundidad (m)	GPM	T_C°
543679	1486776	738	Cosude	Santa Isabel	54	77	40	
543882	1486448	773	Cosude	Santa Isabel	26	61	25	
545186	1486093	861	Cosude	Quebrada de agua	49	62	28	
545478	1485950	876	Comunal	Quebrada de agua	27	62	6	
542852	1485267	762	FISE	Uniles Suyapa	17	72		
542585	1485122	768	Cosude	Uniles Suyapa	38	72	20	
544487	1485039	863	MCN	Uniles La Grama	17	76	5	28,3
543150	1485549	767	MCN	Uniles Centro	18	76	21	30
541087	1486674	716	Privado	Santa Rosa	19	55	15	
540408	1487970	691	Cosude	Santa Rosa	0	0	0	
541261	1486814	720	Privado	Santa Rosa	8	55	15	
540911	1487270	717	Cosude	Santa Rosa	0	0	0	
541564	1488414	709	Enacal	Los Copales	2	95	300	
543434	1489545	743	APC	Los Copales	14	49	54	
541741	1488314	695	Enacal	Los Copales	27	73	400	
540132	1488665	670	Privado	Aguas Calientes	6		400	
539572	1488569	684	Privado	Aguas Calientes	12	61	2	
540017	1488602	706	Enacal	Aguas Calientes	14	46	200	
537505	1488011	654	Privado	Aguas Calientes	11	46	30	
538774	1488623	661	Privado	Aguas Calientes	8	43	100	
540115	1488877	672	Cruz roja	Aguas Calientes	0	32	100	30
539207	1488766	670	Privado	Aguas Calientes	12	125	20	
544866	1487650	776	Privado	Chamboroto	22	98	7	
543509	1487888	753	Privado	Chamboroto	13	61	40	
544883	1485561	850	MCN	Mansico	44	76	3	28,5
544286	1485841	803	Cosude	Mansico	32	64	20	
543966	1483587	1018	Cosude	El Volcán	11	62	19	
543423	1483651	826	Comunal	Porcal	5	47	380	
542654	1484224	793	Comunal	Porcal	54	91	20	
542000	1491400	650	Comunal	El Melonar	15	46	25	
544700	1490200	735	Cruz roja	Somoto	17	91	17	
548600	1484800	759	Comunal	San Lucas	15	78	8	
535050	1489100		Guayabo	Somoto	9	40	108	

NEA: Nivel freático GPM : Galones por minuto T_ C°: Temperatura en grados centigrados

Anexo 7. Litología de la Zona vadoza o medio del acuífero por cada uno de los pozos perforados por comunidad en la subcuenca del río Aguas Calientes

X	Y	COMUNIDAD	LITOLOGÍAS DE ACUEDO A PERFILES DEL ÁREA DE ESTUDIO					VALOR Típico según DRASTIC
			ARENA-GRABA	BASALTO	TOBAS	METAMORFICA	LITOLOGÍA	
543882	1486448	Santa Isabel				Ignimbrita_Fractura	Ignimbrita_Fractura	4
544286	1485841	Quebrada de agua			tobas		tobas	8
545478	1485950	Quebrada de agua				Ignimbrita_Fractura	Ignimbrita_Fractura	8
544487	1485039	UNILES LA GRAMA		andesita_fractuada			andesita_fractuada	9
543150	1485549	UNILES CENTRO			tobas		tobas	8
541285	1486861	Santa Rosa		basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
541564	1488414	Los Copales		andesita_basaltica_fractura			andesita_basaltica	9
543434	1489545	Los Copales		basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
541817	1488309	Los Copales		Ignimbrita_fraturada			Ignimbrita_fraturad	9
539572	1488569	Aguas calientes		baslto_fraturado			baslto_fraturado	9
540017	1488602	Aguas calientes	Arena_Fino	basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
537505	1488011	Aguas calientes		toba_basalto_fraturado			toba_basalto_fratur	8
538709	1488871	Aguas calientes		basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
539395	1488969	Aguas calientes		basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
544866	1487650	Chamboroto		basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
543509	1487888	Chamboroto		basalto_fraturado			basalto_fraturado	9
544883	1485561	Mansico				Ignimbrita_fraturad	Ignimbrita_fraturad	9
544286	1485841	Mansico				Ignimbrita_Fractura	Ignimbrita_Fractura	4
543966	1483587	El Volcan				Ignimbrita_Fractura	Ignimbrita_Fractura	8
542654	1484224	porcal		andesita_fractuada			andesita_fractuada	9
542000	1491400	El Melonar	Arena_gravosa				Arena_gravosa	9
548600	1484800	Los Canales		Arena_gravosa			Arena_gravosa	9
544700	1490200	Somoto	Arcilla_arenosa				Arcilla_arenosa	4

Anexo 8. Pozos afectados por coliformes fecales en las 10 comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes

No. de pozo	X	Y	M.S.N.M.	NOMBRE	COMUNIDAD	Parámetros tomados a cada uno de los pozos					
						Bact- suelo	C FEC	Diámetro	NEA	Prof m	Volumen total de agua
1	543966	1483587	1018	Cosude	EL VOLCAN	0	1	0,1	16	61	5,0
2	543686	1483676	860	Escuela del Volcán	EL VOLCAN	OTB	0	0,1	27	76	8,5
3	545371	1485868	787	Comunal	QUEBRADA DE AGUA	OTB	77	2	29	30	182,2
4	545349	1485850	872	José Santos Pérez	QUEBRADA DE AGUA	OTB	58	0,1	37	60	11,6
5	544487	1485039	863	Gloria Muñoz	UNILES LA GRAMA	OTB	1	0,1	45	75	14,1
6	544455	1485061	850	Julio Gutiérrez	UNILES LA GRAMA	0	DPC	2	14,54	15	91,4
7	543295	1484867	796	Olga Vásquez	UNILES CENTRO	0	DPC	1,6	10,4	12	52,3
8	543031	1485215	769	Ricarda	UNILES CENTRO	0	DPC	1	13,5	12	42,4
9	543296	1484870	815	Franciaco Vásquez	UNILES CENTRO	OTB	12	1,2	9,5	10	35,8
10	542033	1485787	739	Reinerio Pérez	UNILES SUYAPA	0	DPC	2	17	18,48	106,8
11	542323	1485787	745	Isabel Báez	UNILES SUYAPA	0	DPC	2	12,6	13,44	79,2
12	542724	1485874	765	Félix Pedro Mejía	UNILES SUYAPA	0	2	0,1	35	65	11,0
13	542634	1485607	766	Fermín Gonzáles	UNILES SUYAPA	0	DPC	1,2	5,9	7,5	22,2
14	542749	1487027	732	Roger Meneses	APATULE	OTB	20	3	11	13,44	103,7
15	541694	1488273	687	Chico Rivera	LOS COPALES	OTB	40	3	16,4	18	154,6
16	541120	1488332	690	Antonio Rivera	LOS COPALES	OTB	35	1,6	13,44	13,44	67,6
17	541356	1488328	695	Adrián Valladares	LOS COPALES	OTB	18	2	17,1	17,85	107,4
18	541486	1488356	699	José Santos Tercero	LOS COPALES	OTB	25	0,42	11,76	12,6	15,5
19	540777	1487298	681	Edgar Huete	SANTA ROSA	0	DPC	2	9,2	12,6	57,8
20	540408	1487970	691	escuela	SANTA ROSA	OTB	2	0,1	27	54,87	8,5
21	540965	1487266	717	Comunal	SANTA ROSA	OTB	0	2	8,76	11,76	55,0
22	541251	1486782	724	Modesto Huete	SANTA ROSA	0	DPC	2	12,19	14,28	76,6
23	541343	1486722	727	Modesto Huete	SANTA ROSA	OTB	17	0,15	7,56	54,87	3,6
24	541866	1486114	737	Julia Muñoz	SANTA ROSA	OTB	0	0,8	12,6	13,44	31,7
25	541625	1486228	729	Angel Pérez	SANTA ROSA	OTB	0	1	8	8	25,1
26	541664	1486305	716	José Valentín	SANTA ROSA	0	39	1	6,8	7	21,4
27	541530	1486512	715	Felipa Dias	SANTA ROSA	OTB	DPC	1,5	17	17	80,1
28	541248	1486706	730	José Adán Guzmán	SANTA ROSA	0	DPC	2	15,5	16	97,4

29	540470	1489106	680	Henry Rivera	AGUAS CALIENTES	OTB	0	1	20,16	21	63,3
30	539787	1489186	672	Dionisio García	AGUAS CALIENTES	OTB	10	2,3	2	16	14,5
31	540208	1489327	682	Octavio Pérez	AGUAS CALIENTES	OTB	84	2,5	10,92	12,6	85,8
32	539470	1489134	684	Cruz Cevilla	AGUAS CALIENTES	0	0	2	17,5	18	110,0
33	540221	1489284	685	Marcelino Miranda	AGUAS CALIENTES	OTB	0	1	14,16	15	44,5
34	539397	1489013	676	Danilo Rivera	AGUAS CALIENTES	OTB	0	2,5	7	9	55,0

OTB: Otro tipo de bacteria C FEC : Colonias de Coliformes Fecales NEA : Nivel freático Prof. m : Profundidad total

Los parámetros de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y el CAPRE (Comité coordinador regional de las instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y Republica Dominicana) señalan que la tolerancia de coliformes fecales 100ml de agua es cero agua para consumo humano.

Anexo 9. Inventario de los sistemas de abastecimiento de agua en la subcuenca aguas calientes, Somoto, Nicaragua

Comunidad: El Porcal

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO, Comunal	Tipo de Pozo			Uso			Indicadores Infraestructura			Propietario
X	Y			Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal	Institución	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
543217	1484646	842	X	X			X	X				X	Bogran
543263	1484107	795	x	x	x						x		Bogran
543374	1483675	838	x	x	x				ACH	x			-
543461	1483983	842	x	x	x				Apodeso	x			-
543546	1483942	844	x	x	x				MCN		x		Miguel Rivera
542398	1484343	793	x		x	x			ADRA	X			Roger Rivas
542464	1484448	813	x	x	x					x			Dionisio Núñez
544225	1484027	791	x	x	x						x		Celan Beltrán
542524	1484002	780	x	x	x						x		José Manuel Rivas

542873	1483949	793	x	x	x	Cosude	x			Comunal
542977	1483925	805	x	x	x				x	Luis Adolfo Rivas
544332	1484041	801	x	x	x				x	Luis Bogran
543424	1483659	860	x	x	x				x	Modesto Estrada
543454	1483871	852	x	x	x					Indalecio Gutiérrez
542921	1483412	818	x	x	x				x	Otilio Miranda Muñoz
542966	1482887	826	x	x	x				x	Comunal
542976	1482890	826	x	x	x				x	Marcial Miranda

Comunidad: El Mansico

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO,	Comunal	Tipo de Pozo			Uso		Institución	Indicadores Infraestructura			Propietario
X	Y				Excavado	Perforado	autoconsumo	riego			Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
544072	1485999	775	x		x		x			Apodeso	x			Nasaria Muñoz
545124	1485789	879		x	x		x			ACH	x			Santos Lucio Báez
544883	1485561	850		x		x	x			MCN	x			Teodoro Hernández
545009	1485481	884		x	x		x			Apodeso	x			Francisco Muñoz
544286	1485841	803		x		x	x			Cosude	x			Vilma Hernández
544990	1485782	880	x			x						x		Escuela de Mansico

Comunidad El Volcán

544664	1483673	1000	X			X				Apodeso	x			Noel Mercado
544883	1483745	1057	x	x		x				MCN	x			Eusebio Mercado
544505	1482897	1025	x		seco	x				ACH		x		---
543966	1483587	1018	x		x	x				Cosude	x			----
544435	1483347	890	x				x	x				x		Lázaro
543686	1483676	860	x		x	x				MED	x			Escuela del Volcán

Comunidad : Quebrada de Agua

545371	1485868	787	x	x		x				x	Comunal
545265	1486022	855	x		x					x	Adalid
545186	1486093	861		x		x		Cosude	x		Hermita
545230	1486216	850	x		x		x	MCN	x		Timotea Moreno
545020	1486591	846		x		x		ACH	x		Julio Ordóñez
545820	1486046	874	x		x		x			x	Albertina Muñoz
545478	1485950	876		x		x	x	Cruz Roja	x		Marcelino Guzmán Sánchez
545349	1485850	872	x	x			x			x	José Santos Pérez

Comunidad: El Rodeo

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO, Comunal	Tipo de Pozo	Uso	Indicadores Infraestructura			Propietario			
X	Y			Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	Institución	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
							lavado animal					
546837	1486354	824	x	x		x		accion CH		x		-----
546384	1486669	901		x		x	x	cruz roja	x			-----
546237	1486292	931		x		x	x	cruz roja				bomba mala
546326	1486202	933		x	x		x	acción CH			x	Alejandro Guzmán
546377	1486130	935		x	x		x	MCN		x		Santos Cipriano Sánchez
546399	1486097	910	x		x		x			x		Juana Francisca Guzmán

Comunidad: Uniles La Grama

544464	1485025	744	x	x		x		Cophema		x		Froylan Carazo
544856	1484673	964	x		ojo de agua		x	Tropisec		x		Juan bautista
544899	1484729	932	x		x		x	Tropisec	x			Celan López

544487	1485039	863	x		x	x		MCN	x		Gloria Muñoz
544015	1484955	828	x		x	x		Cosude		x	Manuel Gonzáles
543365	1484827	802	x	x			x	INTA	x		Héctor Zeledón
543876	1484632	806	x	x			x	INTA	x		Cesar Gonzáles
544081	1485331	789	x	x		x		Cophema		x	
543698	1485141	802	x	x		x		Apodeso	x		Sergio Estrada
544093	1485323	809	X	X		x		MCN		x	Esteban Gutiérrez
544263	1484974	840	x	x		x		Inprhu		x	Salomón (seco)
544538	1485070	867	x	x		x		Apodeso		x	Francisca Rivera (seco)
544455	1485061	850	x	x		x				x	Julio Gutiérrez

Comunidad : Uniles Centro

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO, Comunal	Tipo de Pozo	Uso			Indicadores Infraestructura			Propietario		
X	Y			Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal	Institución	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
543238	1484927	794	x	x		x		x	MCN	x			Olga Vásquez
543295	1484867	796	x	x			x		Apodeso		x		Olga Vásquez
543253	1484893	791	x	x			x	x				x	Clemente Gutiérrez
543131	1485019	785	x	x		x			Apodeso	x			Celestino López
542947	1485798	784	x	x			x	x	Cophema		x		Orlando Vázquez
543008	1485647	768	x	x		x			ACH	x			Orlando Vázquez
543150	1485549	767	x		x	x		x	MCN	x			Aurora Gomes
543198	1485425	773	x	x		x			Apodeso		x		Miguel García
543010	1485249	769	x	x		x			ACH	x			Estela Casco
543031	1485215	769	x	x		x			Apodeso	x			Ricarda

543056	1485222	766	x	x	seco			FISE		x	Escuela
542946	1485020	722	x	x	x					x	Roger Rivas
543296	1484870	815	x	x	x			INTA -CATIE	X		Francisco Vásquez
543183	1484766	817	x	x			x		x		Ramón Vásquez
543163	1484592	825	x	x	x				x		Marcelo Nolasco
542950	1485040	789	x	x	x				x		Antonia Hernández
543407	1485308	809	x	x	x				x		Marcelino García
543327	1485386	798	x	x	x				x		Julio Padilla
542825	1485276	767	x	x	x				x		Noe Betanco

Comunidad : Uniles Suyapa

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO, Comunal	Tipo de Pozo	Uso			Institución	Indicadores Infraestructura			Propietario
X	Y			Excavado	Perforado	autoconsumo	riego		lavado animal	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)
542567	1485169	770	x	x		poso seco					x	Celestino Rivera
542585	1485122	768	x		x	x			Cosude	x		Nicolás Moreno
542819	1485190	770	x	x		x	x		Apodeso	x		Haroll Guillen
542795	1485222	749	x	x		x					x	Gregorio Rivera (seco)
542118	1485769	773	x	x			x	x	Apodeso	x		Marvin Estrada
542333	1485828	763	x	x		x			ACH	x		Alexis García (seco)
542294	1485726	767	x	x			x				x	Marvin estrada
542294	1485735	747	x	x			x		Apodeso	x		Marvin Pérez
542496	1488692	749	x	x			x			x		-----

542713	1485381	748	x	x		x	x	Apodeso		x	Miguel Rios
542747	1485359	751		x	x			ACH	x		El Carrizal
542749	1485297	755	x		x	x			x		-----
542683	1485307	756	x		x		x			x	Polo
542699	1485379	749		x	x			Apodeso		x	Ganado
542725	1485417	760	x		x		x	x		x	Otilio Sánchez
542672	1485468	754	x		x		x			x	Rosendo Vásquez
542691	1485487	756		x	x		x	x		x	Miguel Rios
542822	1485452	757		x	x	x		Apodeso	x		Miguel Rios
542704	1485555	757	x		x	x		Apodeso	x		Estebana Benavides
542636	1485610	760	x		x					x	Rubén Ramírez
542596	1485631	752	x		x					x	Segio Estrada
542571	1485630	761	x		x		x			x	Segio Estrada
542564	1485668	748	x		x	x				x	Francisco García
543040	1485450	749	x		x					x	Miguel Rios (seco)
542852	1485267	762		x		x	x	FISE	x		FISE
542005	1485791	718	x		x					x	Avelino Torrez
542033	1485787	739		x	x	x				x	Reinerio Pérez
542323	1485787	745	x		x	x				x	Isabel Báez
542724	1485874	765		x		x	x	Cosude	x		Félix Pedro Mejía
542634	1485607	766	x		x	x				x	Fermín Gonzáles

Comunidad : Santa Isabel San Sebastián

543659	1486786	799	x		x	x		USAD	x		Juan José Alvarado
543646	1486672	755	x		x	x			x		Olivia Hernández
543460	1486761	768	x		x	x			x		Elvín Antonio Vásquez
543424	1486919	757	x		x	x		CATIE-2003	x		German Emilio Cruz
543326	1486601	751	x		x				x		Jairo Vásquez
543412	1486666	754	x		x		x		x		Castulo Vásquez

543375	1486735	747		x		x			Cosude	x			Santos Benigno Gutiérrez
543475	1487127	746	x			x					x		Pastor Alvarado (Escabandose)
543239	1486704	737		x				x			x		Lidia Vásquez (poco agua)
543272	1486686	736	x			x							Gloria Vásquez (seco)
543128	1486751	740	x			x		x			x		Dionisio Vásquez Talavera

Comunidad: Santa Isabel

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO	Comunal	Tipo de Pozo			Uso		Institución	Indicadores Infraestructura			Propietario
X	Y				Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal		Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
543330	1487700	722	x		x		x	x		Inta/Catie		x		Gumersindo Gonzáles
543667	1486787	752		x	x		x			ACH	x			Pina Gutiérrez
543679	1486776	738		x		x				Cusude	x			Danelia Gonzáles
544083	1486535	754		x	x				x				x	Portali
544023	1486582	758		x	x		x			MCN	x			Andrea Talavera
544390	1486792	792		x	x		x			MCN	x			Pedro Ramón Gutiérrez
544215	1486772	792		x										Pila de almacenamiento
543704	1486708	791	x			x	x			Enacal	x			Pozo Enacal (Roger Meneses)
544385	1486799	785	x		x					MCN				Pedro Ramón Gutiérrez (seco)
544010	1486392	775	x		x		x					x		Lucio Gutiérrez
543956	1486850	765	x		x		x					x		Leonida Carcomo
543924	1486827	763	x		x							x		Cupertino Báez (seco)
544014	1486127	778	x		x							x		José Gutiérrez (seco)
543697	1487062	764	x		x							x		Santiago Jiménez
543704	1487227	765	x		x		x					x		Raúl Cáceres

543628	1487480	761	x	x						x				Cristino Cáceres
--------	---------	-----	---	---	--	--	--	--	--	---	--	--	--	------------------

Comunidad : Santa Isabel - Apatule

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO	Comunal	Tipo de Pozo			Uso		Institución	Indicadores Infraestructura			Propietario
X	Y				Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal		Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
542604	1486651	745		x	x		x			Casude		x		Amadeo García
543072	1487077	759		x	x		x					x		Justo Carrasco
543208	1487257	753	x						x			x		Filimon García
543234	1487241	725	x		x					Apodeso		x		Paulo Emilio Rios
542716	1487005	732	x		x							x		Francisco Rivas
542778	1486926	748		x	x					MCN		x		José Dolores Vásquez
543190	1487325	732		x	x							x		Comunal
542861	1487298	737	x		x					apodeso-catie		x		Mercedes Carrasco
542489	1486877	723	x		x							x		Ramón López
542552	1487236	719	x						x			x		Indalecio Carrasco
542749	1487027	732		x		x	x			Enacal-Cosude	x			Roger Meneses

Comunidad : Los Copales

542194	1488230	702	x	x	x			x			x			Emilia Montano
542194	1488279	712	x	x					x			x		Iban Beltrán
542614	1488134	710	x	x					x			x		Iban Beltrán
541911	1488278	698		x	x		poso seco						x	Fermín Hernández (seco)
541923	1488198	700	x	x				x					x	Hilda Hernández (seco)
541694	1488273	687	x	x					x	Pesa	x			Chico Rivera
541817	1488309	695	x		x	x				Enacal	x			Enacal
541479	1488349	698		x	x				x				x	Pablo Godoy
541380	1488354	691	x	x					x					Pedro valladares

541120	1488332	690	x	x		x				Antonio Rivera
541356	1488328	695	x	x	x	x		x	x	Adrián Valladares
5441486	1488356	699	x	x	x	x		x	x	José Santos Tercero

Comunidad: Santa Rosa

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO	Comunal	Tipo de Pozo			Uso		Indicadores Infraestructura			Propietario	
X	Y				Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal	Institución	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
541065	1487016	706	x	x			x	x		Apodeso		x		Carlos Huete
541387	1486887	709	x	x				x			x			Modesto Huete
541087	1486674	716	x			x		x			x			Modesto Huete
541291	1486546	718		x	x		x			MCN			x	-----
540777	1487298	681		x	x		x			MCN	x			Edgar Huete
540408	1487970	691	x			x	x				x			Escuela
540946	1486912	703	x		x			x	x				x	Carlos Javier Pérez
540921	1486928	707	x		x				x			x		Cesar Augusto Hernández
541005	1486821	697	x		x		x		x			x		Lazaro Guzmán
541085	1486913	696	x		x			x	x			x		Alejandro Hernández Carazo
541052	1486954	708	x		x		seco							Carlos Huete
541096	1487032	713	x		x		x		x			x		Roger Cáceres
541083	1486972	712	x		x		x		x			x		Roger Cáceres
540965	1487266	717		x		x	Mal estado			Cosude	x			Comunal
541051	1487463	719		x	x		x		x	MCN		x		Comunal
541106	1487360	717		x	x				x			x		Lino García
540864	1487340	720		x	x				x			x		José Adrián Miranda
540782	1487311	710	x		x				x			x		Comunal
540777	1487305	696		x	x		x		x	MCN		x		Edgar Huete

Comunidad: Santa Rosa

COORDENADAS	Elevacion MSNM	PRIVADO	Comunal	Tipo de Pozo	Uso		Institución	Indicadores Infraestructura			Propietario
					riego	lavado animal		Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
Y	Excavado		Perforado	autoconsumo							
540825	1487307	702	x	x			x				Reyes Acebedo
540820	1487271	701	x	x					x		Santos Miranda
540765	1487264	701	x	x			x				Miguel Acevedo
540717	1487243	716	x	x			x				Luz Marina Acevedo
540622	1487439	709	x	x			x			x	Máximo Carazo
540561	1487692	704	x	x			x		x		Luis Ramón Huete
540379	1487891	709	x	x			x		x		Félix Méndez
540305	1488143	684	x	x			x		x		Jesús Carrasco
540715	1487850	702	x	x			x		x		Mercedes Ponce
540767	1487842	703	x	x			x		x		Pio Ponce
540795	1487625	703	x	x			x		x		Pio Ponce
540842	1487586	705	x	x			x			x	Comunal
541251	1486782	724	x	x	x		x		x		Modesto Huete
541343	1486722	727	x	x	seco				x		Modesto Huete
541986	1485884	751	x	x	x		x		x		José Rodríguez
541954	1485927	740	x	x						x	Timoteo
541866	1486114	737	x	x	x		x		x		Julia Muñoz
541767	1485965	746	x	x	seco					x	Emilio Rios
541625	1486228	729	x	x	x		x		x		Angel Pérez
541664	1486305	716	x	x	x		x			x	José Valentín
541488	1486447	720	x	x	x				x		Fabia Gutiérrez
541530	1486512	715	x	x	x		x		x		Felipa Días
541297	1486546	712	x	x	x				x		Avado Hernández

541248	1486706	730	x	x			x			x	José Adan Guzmán
540754	1486384	741	x	x			x			x	Roger Valadares
540402	1486587	716	x	x	x		x			x	Elpidia Meneses

Comunidad: Aguas Calientes

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO Comunal	Tipo de Pozo		Uso			Indicadores Infraestructura			Propietario	
X	Y			Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal	Institución	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
538323	1488902	735	x	x			x	x				x	Denis Carazo
538150	1488923	649	x	x			x	x				x	-----
538552	1488404	664	x	x				x	privado			x	Jaime Molina
538663	1488374	670	x	x				x	privado			x	Jaime Molina
538727	1488708	661	x	x				x		x			Benito Mendoza
538773	1488656	664	x	x			x					x	Arturo Cruz
538712	1488438	662	x	x			x			x			Benito Mendoza
539196	1488423	669	x	x		x				x			-----
539391	1488518	672	x	x			x	x		x			-----
539581	1488589	672	x		x	x				x			Asdenic
539813	1488703	674	x		x	x	x	x		x			Elvín Pineda
540001	1488789	670	x		x	x	x	x		x			Dr. Ordonez
540481	1489082	683	x	x		x						x	Marvin Hernandez
540470	1489106	680	x	x			x			x			Henry Rivera
540381	1488501	681	x	x		x	x	x	Apodeso		x		Henry Rivera
540398	1488771	690	x	x			x				x		Tito Arauz
540596	1488975	691	x	x				x		x			-----

Comunidad: Aguas calientes

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO*	Comunal	Tipo de Pozo			Uso		Institución	Indicadores Infraestructura			Propietario
X	Y				Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal		Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
540865	1448992	716		x		x	x			Cosude		x		Gustavo Pérez
540870	1490057	727		x	x		x			Apodeso	x			Leonidas Morales
540861	1490119	740		x	x				x			x		Denis Carazo
541137	1488778	747	x			x	x	x				x		las lomas
539928	1488840	664	x		x			x				x		Denis Carazo
539573	1489014	661	x		x			x				x		Reynaldo Rivas
539520	1488985	665	x		x			x					x	Amadeo Gómez
539444	1488799	664			x			x				x		Humberto Gradiz
539398	1488763	667			x			x				x		Fermín Muñoz
539398	1488763	667			x			x			x			Humberto Gradiz
539502	1488009	691			x			x				x		Fermín Muñoz
539543	1488792	676			x			x				x		Fermín Muñoz
539484	1489127	673			x				x			x		-----
539787	1489186	672			x			x				x		Dionisio García
539835	148930	664			x			x					x	Santiago Baez
539786	1489142	664			x				x				x	Constanza Pastrana
539715	1489126	670			x		x					x		Auxiliadora Rodríguez
539675	1489073	670			x			x				x		Luis Alonso Miranda
539684	1488999	672		x	x		x			ACH	x			Denis Carazo
539718	1488887	668	x		x			x				x		-----
539807	1488792	667	x		x			x				x		Adrian Pérez

Comunidad Aguas Calientes

COORDENADAS		Elevación MSNM	PRIVADO, Comunal	Tipo de Pozo		Uso			Indicadores Infraestructura			Propietario	
X	Y			Excavado	Perforado	autoconsumo	riego	lavado animal	Institución	Bueno (1)	Regular (2)	Malo (3)	
539815	1488788	668	x	x			x				x		Aquilino Pérez
539896	1488796	669	x	x			x				x		Mario Muñoz
539909	1488798	674	x	x			x					x	Marvin Hernández
539934	1488808	675	x	x			x					x	Marvin Hernández
540142	1489043	674	x	x		x	x				x		Gilberto Moncada
540183	1489097	678	x	x			x				x		Luvy Moncada
540195	1489140	681		x	x	x			Tropisec	x			Jacqueline Muñoz
540231	1489133	632	x	x			x					x	Juan Muñoz
540154	1489163	683	x	x			x					x	Osmin Rivas
540208	1489327	682		x		x			ACH	x			Octavio Perez
540067	1489337	686	x	x			x					x	Marvin Hernandez
540399	1489396	718											-----
540378	1489255	707	x	x		x	x	x		x			Rene Tercero
540371	1489340	698	x	x			x				x		Mariana Ponce
540133	1488120	698	x	x			x			x			Hunberto Gradiz
539519	1488502	659	x	x				x		x			Renan Castillo
539511	1488504	658	x	x		x				x			Mario Pineda
538992	1488665	660	x	x			x				x		Alejandro Roque
539062	1488607	655	x	x				x			x		Alejandro Roque
540075	1488786	675	x	x		x	x			x			Benito Carazo
540229	1489378	706	x		x	x			Enacal	x			Enacal
540067	1488835	717	x	x		x			Tropisec		x		José Báez
540132	1488836	705	x		x	x			Cruz roja		x		Alba Sáenz

540158	1488842	698	x		x	x		Tropisec		x	Benito Carazo
539679	1488676	705	x	x		x	x		x		Melvin Ponce
539795	1488722	700	x	x		x				x	Marcio Rivas
539747	1488814	640		x		x	x			x	Albina Muñoz
539759	1488776	636		x				x		x	Albina Muñoz
540221	1489284	685		x		x		x		x	Marcelino Miranda
540170	1488852	690	x			x	x			x	Carlos Alberto Ponce
539397	1489013	676	x	x			x	x		x	Danilo Rivera

Anexo 10. Litología de pozos en la parte alta y media de la subcuenca del río Aguas Calientes

Pozos perforados en la parte alta y medio de la subcuenca del río Aguas Calientes

