



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNAN-Managua
Recinto Universitario Rubén Darío
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Departamento de Tecnología**

***Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y
sus alrededores.***

Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniera Geóloga

Presentado por:

Br. Greicy Daniela Aldana González

Tutor:

M.Sc. Marvin Corriols Molina

Asesor:

M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Managua, Noviembre del 2016

DEDICATORIA

*Esta monografía está dedicada a **Dios Padre***

*A mi amado y recordado Abuelo **Hipólito González Fajardo**, porque gracias a él logré llegar hasta aquí, hoy soy quien soy por él.*

*A mi hija **Brittany Daniela Torres Aldana**, por ser mi fuerza y la luz en mi camino, te amo.*

AGRADECIMIENTOS

*Le agradezco primeramente a **Dios** por permitirme culminar esta etapa tan importante de mi vida, gracias Padre por estar siempre conmigo y hacerme ver y sentir que después de la tormenta viene la calma.*

*Un millón de gracias a mi abuelito **Hipólito González Fajardo** por haberme ayudado a lo largo de mi vida, él me enseñó que las cosas buenas de la vida se logran con mucho esfuerzo y dedicación, te amo abuelo y siempre estarás en mi corazón.*

*A mi hija **Brittany Daniela** por su paciencia y el sacrificio de no estar conmigo.*

*A mi esposo **Sergio Torres Zamora**, por estar conmigo en todo momento, gracias por tu paciencia.*

*A mi madre **Gladys González**, por siempre apoyarme y aconsejarme.*

*A mi tía **Dora González**, por su gran apoyo incondicional, gracias por ser mi segunda madre.*

*A mis hermanas **Alexa** y **Saraly** por sus consejos y ánimo.*

*Gracias a toda mi familia; tío **Rodolfo**, tía **Haydée**, tía **Isolina**, **Walter**, **Tarik**, **Daryl**, **Everett**, **Keneth**, **Brandon**, **Eduardo**, **Clady**, infinitas gracias a todos ustedes.*

*Le agradezco al profesor **Dionisio Rodríguez Altamirano** por haberme dado la oportunidad de hacer mi tesis en el IGG-CIGEO.*

*Al profesor **Claudio Romero López** por continuar apoyándome hasta culminar con esta tesis.*

*A mi querida amiga **Mayela Martínez González** por siempre apoyarme y darme ánimo para hacer mi tesis.*

A mi tutor profesor **Marvin Corriols Molina** por su interés en apoyarme y aconsejarme en todo lo referido a mi tesis.

De manera muy especial quiero agradecerle a mi asesor profesor **Lener Sequeira Gómez** porque siempre me dio sus consejos, sus sugerencias, su apoyo incondicional durante estuve haciendo mi tesis, infinitamente gracias.

Gracias al **IGG-CIGEO** por todo el apoyo logístico que me brindó durante estuve llevando a cabo la realización de mi tesis.

Gracias a todas las personas que laboran en el IGG-CIGEO, en especial a **Xochilt Zambrana, Mélida Schliz, Guadalupe Rojas, Elliot Pérez, doña Silvia Morales, Claudia Rivera, Marjorie Toruño, doña Carmen Matamoros, Horacio Ulloa, Francisco Espinoza, don Francisco Vásquez**, gracias a todos por brindarme su amistad.

Son muchas las personas que de alguna u otra manera estuvieron conmigo durante todo este tiempo, personas que me brindaron su amistad, sus consejos, sus risas, en fin tantos momentos que quedarán grabados en mi mente y en mi corazón, a todas ellas muchas gracias.

**“Encomienda a Jehová tus obras,
Y tus pensamientos serán afirmados.”**

Proverbios 16:3

RESUMEN

La presente investigación se desarrolla en el marco de una caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores, ubicada en la cuenca alta del Río Artiguas, utilizando técnicas hidrogeológicas, geofísicas e información climática; realizando inventario de fuentes de agua, muestreo de aguas superficiales y subterráneas para análisis de su calidad a través de mediciones físico-química en campo y en laboratorio determinación de metales pesados, metaloides y bacteriológicos en muestras de agua recolectadas en diferentes puntos de la cuenca, estableciendo la correlación respectiva con el medio geológico con el fin de analizar la interrelación de flujos de agua subterránea y superficial a través de estructuras geológicas como contactos entre formaciones, fallas y fracturas.

En este sentido, se ha determinado que el agua que circula en la cuenca considerada, se canaliza tanto por los sistemas de drenaje superficial como por las estructuras mineras subterráneas antiguas, construidas desde 1870 para la extracción mineral. Las fallas y fracturas en el área, facilitan la circulación del agua subterránea en cantidades apreciables. Por tanto, esta investigación genera información que permite evaluar la situación actual para prevenir eventuales impactos que puedan incidir negativamente en el recurso hídrico y por ende en el sistema de abastecimiento de agua a la población.

Esta investigación es complementaria a los estudios hidrogeológicos, hidroquímicos, etc. que se han desarrollado en la ciudad de Santo Domingo y alrededores, con el objetivo de plantear soluciones prácticas y viables al constante problema de contaminación antrópica a las que están siendo expuestas las fuentes de agua del área.

Con la técnica geofísica se determinó en profundidad la distribución de capas permeables y no permeables, así como zonas de fractura a través de las cuales pueden circular apreciables cantidades de agua. Las pruebas de infiltración permitieron determinar la capacidad de infiltración de los suelos para evaluar la recarga a los acuíferos del área. Las pruebas de aforo se desarrollaron para determinar la cantidad de agua circulante en la cuenca y con los análisis químicos se determinó la calidad de las aguas en el área, también se determinó la no conexión hidráulica agua superficial - agua subterránea a través de la secuencia arcillosa superficial de unos 50 metros de espesor.

CONTENIDO

DEDICATORIA	<i>i</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
CONTENIDO	<i>v</i>
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO	2
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.4. HIPÓTESIS.....	9
1.5. JUSTIFICACIÓN	9
1.6. OBJETIVOS	10
1.6.1. GENERAL	10
1.6.2. ESPECÍFICOS	10
CAPITULO II	12
2. MARCO TEORICO	12
2.1. HIDROGEOLOGÍA	12
2.2. LEY DE DARCY	12
2.3. GRADIENTE HIDRÁULICO.....	13
2.4. TRANSMISIVIDAD	13
2.5. RESISTIVIDAD.....	14
2.6. MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	14
CAPITULO III	15
3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
3.1. CLIMA	15
3.2. USO DE SUELO.....	15
3.3. GEOLOGÍA LOCAL	16
3.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	19
3.5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL.....	21

3.6. HIDROLOGÍA LOCAL.....	23
3.7. HIDROGEOLOGÍA LOCAL.....	23
CAPITULO IV.....	25
4. METODOLOGIA.....	25
4.1. TRABAJO DE GABINETE.....	25
4.2. TRABAJO DE CAMPO.....	26
4.2.1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO A ESCALA LOCAL.....	26
4.2.2. INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	26
4.2.3. PRUEBAS DE AFORO.....	27
4.2.4. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.....	29
4.2.5. LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO.....	31
4.2.6. MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS IN SITU.....	37
4.2.7. MUESTREO DE AGUA PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	38
CAPITULO V.....	39
5. RESULTADOS.....	39
5.1. CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA.....	39
5.1.1. CLIMATOLOGÍA.....	39
5.1.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	47
5.1.2.1. CUENCA HIDROGRAFICA.....	47
5.1.3. BALANCE HIDRICO.....	60
5.2. HIDROGEOLOGIA.....	71
5.2.1. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DE LA CUENCA.....	71
5.2.2. INVESTIGACIONES HIDROGEOLOGICAS.....	72
5.2.3. PARÁMETROS HIDROGEOLOGICOS.....	79
5.2.4. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA Y SUS USOS.....	92
5.2.5. INVENTARIO DE POZOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO ARTIGUAS.....	95
5.3. VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO.....	101
5.3.1. FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACION.....	101
5.3.2. VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO.....	108
5.4. MODELACION HIDROGEOLOGICA.....	110
5.4.1. CONCEPTO DE MODELO.....	110
5.4.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	111
5.5. MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL.....	119
CAPITULO VI.....	123
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	123
6.1. CONCLUSIONES.....	123

6.2. RECOMENDACIONES	125
CAPITULO VII.....	126
7. BIBLIOGRAFIA	126
ANEXOS	130

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	3
Figura 2-1. Ley de Darcy.....	12
Figura 2-2. Gradiente hidráulico.....	13
Figura 3-1. Mapa geológico de la cuenca alta de Río Artiguas.....	18
Figura 3-2. Mapa geomorfológico de la cuenca alta de Río Artiguas	20
Figura 3-3. Mapa estructural de la cuenca alta de Río Artiguas	22
Figura 4-1 Esquema para el arreglo gradiente.....	32
Figura 5-1. Precipitación media mensual para Sto. Domingo, en período 1970-2011.....	41
Figura 5-2. Temperatura media mensual para Sto. Domingo, en periodo 1970-2011.....	42
Figura 5-3. Evapotranspiración potencial media para Sto. Domingo, 1970-2011.....	45
Figura 5-4. Balance del Recurso Hídrico en la cuenca alta del Río Artiguas.....	46
Figura 5-5. Mapa de Subcuencas de la cuenca alta de Río Artiguas.....	48
Figura 5-6. Mapa de red de drenaje de la cuenca alta de Río Artiguas.....	51
Figura 5-7. Mapa de localización de aforos en la cuenca alta de río Artiguas.....	55
Figura 5-8. Resultados de aforos en la cuenca alta del Río Artiguas.....	56
Figura 5-9. Procesos de recarga de los acuíferos.....	64
Figura 5-10. Recarga promedio mensual por lluvias en los suelos.	69
Figura 5-11. Mapa de localización de perfiles geofísicos	74
Figura 5-12. Escala de valores resistivos para el área investigada.....	75
Figura 5-13. Modelo Resistivo Generalizado del subsuelo.....	77
Figura 5-14. Mapa de localización de pruebas de infiltración	82
Figura 5-15. Velocidad de infiltración y conductividad en la subcuenca Peña Blanca.....	84
Figura 5-16. Mapa de localización de puntos de muestreo de agua	87
Figura 5-17. Diagrama de Piper para clasificación química de las aguas	91
Figura 5-18. Mapa de localización de fuentes de agua	97
Figura 5-19. Mapa de fuentes puntuales de contaminación (rastras).....	103
Figura 5-20. Esquema de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.....	110
Figura 5-21. Mapa de localización de secciones hidrogeológicas	112
Figura 5-22. Sección Hidrogeológica SH01-SD.....	115
Figura 5-23. Sección Hidrogeológica SH02-SD.....	117
Figura 5-24. Sección Hidrogeológica SH03-SD.....	119
Figura 5-25. Modelo Hidrogeológico Conceptual	121
Figura 5-26. Mapa hidrogeológico de la cuenca alta del Río Artiguas.....	171

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 5-1. Precipitaciones mensuales medias en Santo Domingo, Chontales.....	40
Tabla 5-2. Temperaturas mensuales medias en Juigalpa, Chontales.....	42
Tabla 5-3. Número máximo de horas sol a latitud 12° 15' 54" N.....	43
Tabla 5-4. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP).....	45
Tabla 5-5. Balance del Recurso Hídrico de la cuenca alta del río Artiguas.....	46
Tabla 5-6. Características principales de la cuenca y sus subcuencas.....	52
Tabla 5-7 Características principales de afluentes en la cuenca alta del río Artiguas.....	57
Tabla 5-8. Inventario de manantiales en la cuenca alta del Río Artiguas.....	59
Tabla 5-9. Variables climáticas principales del balance hídrico.....	65
Tabla 5-10. Valores de capacidad de infiltración en el área de estudio	67
Tabla 5-11. Balance hídrico de suelos de la cuenca alta del Río Artiguas	68
Tabla 5-12. Resumen del balance hídrico de suelos	69
Tabla 5-13. Volumen de recarga por lluvia en el área	70
Tabla 5-14. Resumen de la recarga por lluvia en el área	71
Tabla 5-15. Características generales de perfiles geofísicos.....	73
Tabla 5-16. Ubicación de sitios favorables para localización de pozos	78
Tabla 5-17. Características de las unidades hidrogeológicas.....	79
Tabla 5-18. Resultados de las pruebas de infiltración.....	83
Tabla 5-19. Iones mayores o fundamentales.....	86
Tabla 5-20. Parámetros físico-químicos y límites permisibles.....	88
Tabla 5-21. Inventarios de pozos en la cuenca alta del Río Artiguas	99
Tabla 5-22. Inventarios de manantiales en la cuenca alta del Río Artiguas.....	100
Tabla 5-23. Fuentes puntuales de contaminación.....	107
Tabla 5-24. Valores asignados para determinar vulnerabilidad intrínseca.....	109

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Página
Foto 1. Medición de la velocidad del flujo de agua con molinete.....	29
Foto 2. Pruebas de infiltración utilizando el método de doble cilindro.....	30
Foto 3. Equipo de resistividad Terrameter LS.....	33
Foto 4. Equipo de resistividad Terrameter SAS 4000.....	34
Foto 5. Equipos para medir In Situ parámetros físico-químicos	37
Foto 6. Muestreo de agua para análisis en el laboratorio	38
Foto 7. Pruebas de aforos.....	54
Foto 8. Mediciones eléctricas en el área de estudio.....	75
Foto 9. Infiltrómetro tipo doble anillo.....	80
Foto 10. Mediciones de parámetros físico-químicos en la cuenca.....	91
Foto 11. Fuente de abastecimiento de agua, Túnel Azul	92
Foto 12. Área de captación del manantial Peña Blanca.....	93
Foto 13. Túnel Tapalwacito en la subcuenca Tamagás.....	94
Foto 14. Sistemas de molienda para el procesamiento de la mena	94
Foto 15. Vista del Piezómetro HGC-4.....	96
Foto 16. Vista del Piezómetro HGC-2.....	96
Foto 17. Pozos perforados en la cuenca alta del Río Artiguas	98
Foto 18. Pozos excavados en la cuenca alta del Río Artiguas	99
Foto 19. Depósitos de sedimentos por la actividad minera artesanal.....	104
Foto 20. Depositación de sedimentos en Qda. Los Cedros-La Liona.....	106
Foto 21. Zona de captación de agua superficial afectado por la ganadería	106

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al trabajo monográfico para optar al título de Ingeniera Geóloga, cumpliendo así con el reglamento de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) para la graduación profesional.

Esta monografía se realizó en el marco del Proyecto BIOREM (Biorremediación de sitios contaminados) ejecutado por el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO) y el Departamento de Biotecnología de la UNAN-Managua, con el apoyo de la Cooperación Austriaca en el programa APPEAR.

El estudio contempla una caracterización hidrogeológica con enfoque de flujos de agua superficial y subterránea en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores, ubicada en la cuenca alta del Río Artiguas (Río Sucio), permitiendo establecer relaciones de interacción con los vertidos producidos por la actividad minera artesanal principalmente y propensos a contaminar las aguas subterráneas, especialmente las que se escurren y salen por el llamado Túnel Azul que es una antigua galería minera que en la actualidad constituye la principal fuente de agua que abastece a la ciudad.

Los flujos de agua subterránea ocurren en estratos permeables o por fallas y fracturas, por tanto, para la ubicación espacial de los mismos se realizó un levantamiento geofísico con el método de tomografía eléctrica (TE). Además, se hizo mediciones fisicoquímicas para conocer a priori el estado actual de las aguas que fluyen hacia el Río Artiguas y hacia el Túnel Azul. De igual manera se determinó la calidad de los recursos hídricos por análisis microbiológico, fisicoquímica completa y metales pesados a muestras de agua recolectadas en el área. También se realizaron pruebas de infiltración para conocer la capacidad de infiltración de aguas superficiales en los suelos y por ende estimar la recarga principalmente por agua de lluvia.

Las actividades mineras a menudo producen impactos ambientales negativos en suelos, aguas, cultivos, flora, fauna, aire, paisaje y sobre todo a la salud humana. Además pueden impactar positiva como negativamente en diferentes aspectos de la economía local.

Se pretende con esta investigación, contribuir a un manejo adecuado de los recursos hídricos tomando en cuenta la actividad minera artesanal e industrial que en la última década se ha intensificado.

1.1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO

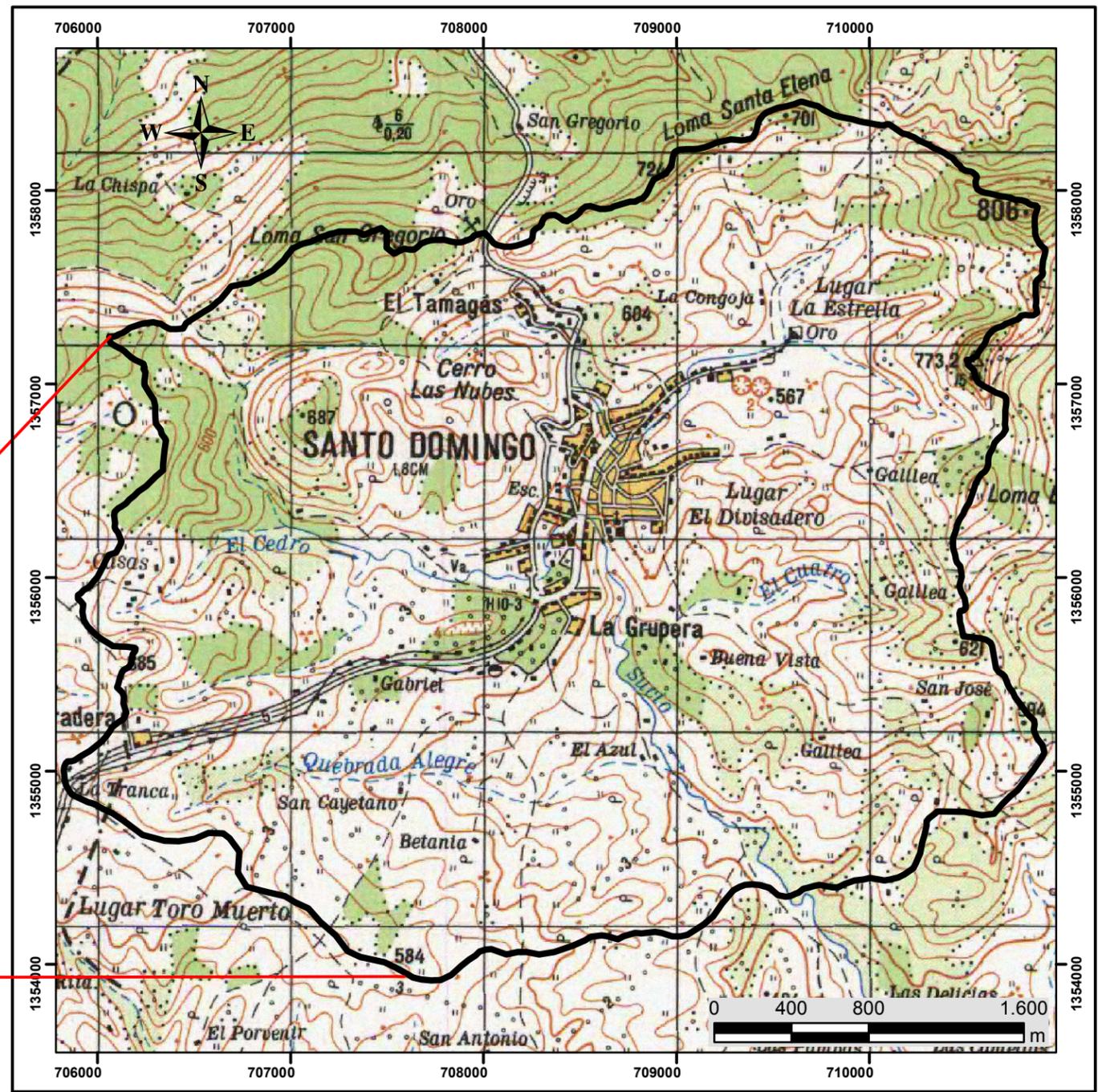
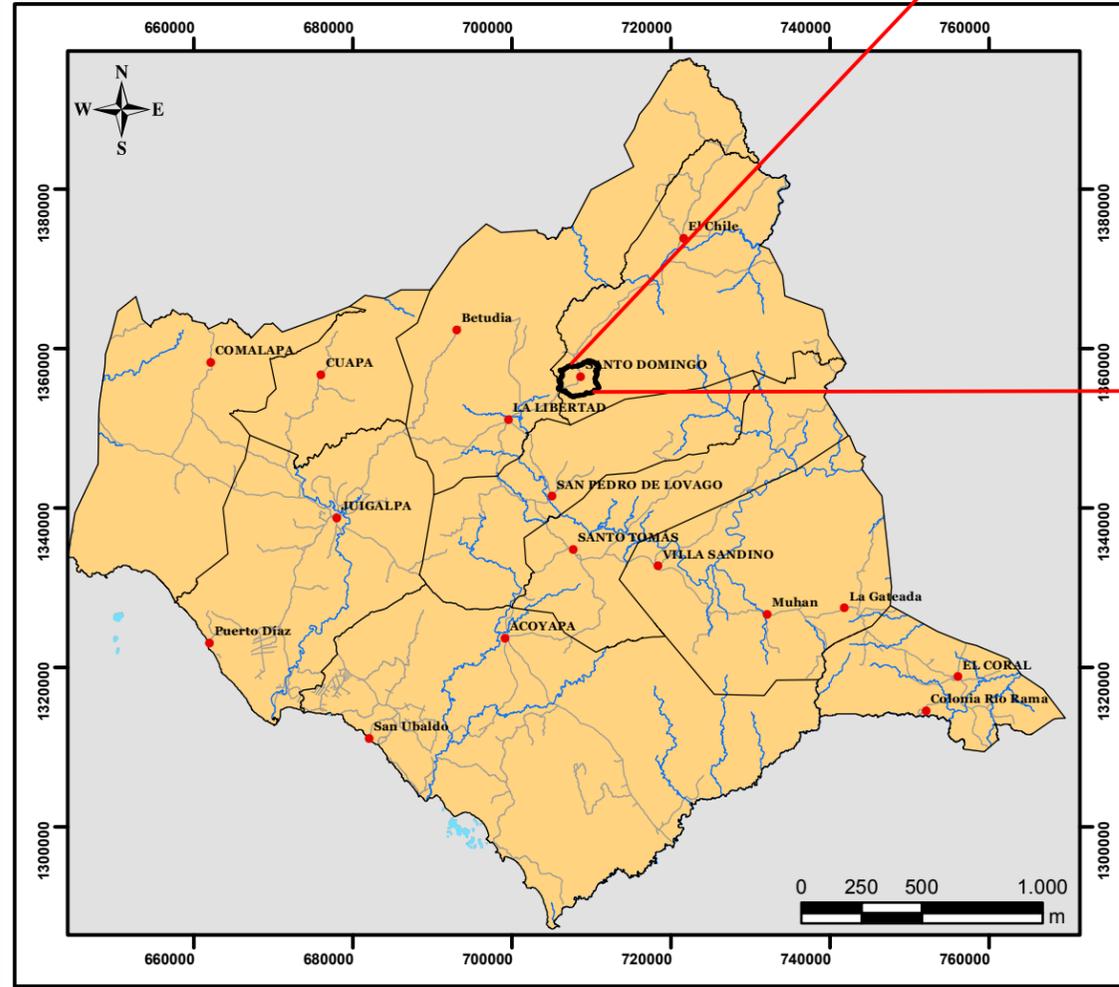
El Municipio de Santo Domingo, pertenece al Departamento de Chontales y fue fundado por mineros provenientes de Nueva Segovia que le denominaron al asentamiento “El Mineral de Santo Domingo”; localizado al oriente de "El Pital", en las inmediaciones del Río Artiguas o cuenca alta del Río Artiguas, en la denominada Provincia Geológica Central de Nicaragua, 182 kilómetros al este de Managua, capital de Nicaragua.

La zona de estudio está contenida en la hoja topográfica La Libertad (3152-I), escala 1:50,000, editada por **INETER (1989)** entre las coordenadas UTM 1359000N / 706000E y 1354000N / 711000E (**Figura 1-1**).

La principal vía de acceso al área desde Managua, es la carretera Panamericana Managua-San Benito, continuando por la carretera pavimentada San Benito-Juigalpa, siguiendo por carretera adoquinada Juigalpa-Santo Domingo. Internamente el área esta comunicada por caminos generales de los cuales, algunos no son transitables en época de lluvia y en algunos se puede acceder con vehículo doble tracción.

1.2. ANTECEDENTES

A finales del siglo XIX y primera mitad del siglo XX surge el asentamiento humano en Santo Domingo. Se conoce que las tribus indígenas se distribuyeron en todo el territorio y no lograron crear asentamiento humano significativo; sin embargo en la década 1870 - 1880 se inicia el primer embrión urbano con el surgimiento del primer campamento de trabajadores del mineral de Santo Domingo, los primeros pobladores fueron indígenas y mestizos que provenían de Nueva Segovia. Este primer caserío de mineros fue fundado en las inmediaciones de las corrientes del Río Artiguas y las construcciones eran ranchos de paja y madera que bordeaban ambos lados.



Simbología	
	Área de estudio
	Límite Municipal
	Chontales
	poblados
	Ríos
	Cuerpos de agua
	Caminos

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN-MANAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS		
Mapa de Ubicación "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"		
Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: Gráfica	Fig. 1-1
Tutor: MSc. Marvin Corriols Molina	Asesor: MSc. Lenner Sequeira Gómez	Fuente: INETER

En el área de estudio, diferentes autores han contribuido al conocimiento científico de la zona. Entre los trabajos más relevantes figuran estudios geológicos, geoquímicos, hidrogeológicos y de contaminación ambiental:

- **IGG-CIGEO** (2015), realizó un estudio hidrogeológico y de balance hídrico en la cuenca alta del Río Artiguas, Este estudio se fundamenta en el análisis de las características y parámetros hidrológicos, hidrogeológicos, hidrometeorológicos, orientados a determinar las cantidades de agua que circulan en la cuenca bajo estudio, considerando la escorrentía superficial, su infiltración y movimiento a través del medio poroso y fracturado.
- **IGG-CIGEO** (2014), realizó un estudio geofísico con métodos de prospección magnética y eléctrica para determinar las condiciones del subsuelo y su relación con el Túnel Azul y la Rampa Jabalí, concluyendo que el área de estudio se caracteriza por un campo magnético bajo y definieron 4 rangos de resistividad eléctrica asociados a las rocas volcánicas del área.
- **Hydro-Geo Consultores SAC** (2012), realizó un estudio hidrogeológico en Jabalí central en Santo Domingo Chontales, con el objetivo principal de caracterizar las condiciones del agua subterránea local para el diseño del tajo abierto y el botadero de desmonte Banadí y para plantear soluciones al abastecimiento de agua del pueblo de Santo Domingo y sirva de sustento a los estudios ambientales.
- **Prysa** (2012), realizó un estudio hidrológico para determinar los caudales de los manantiales existentes en el área de estudio. Estos Manantiales aforados determinan los sitios más idóneos para la realización de obras de captación para el abastecimiento de agua potable para el casco urbano de Santo Domingo. A cada uno de los manantiales analizados se determinó mediante la captación de muestras de agua, la calidad de los mismos.
- **B2GOLD-DESMINIC S.A.** (2012). Realizó un estudio Socioeconómico en el área urbana de Santo Domingo, Departamento de Chontales, para elaborar un diagnóstico de la situación socio económica del área urbana del municipio de Santo Domingo, brindando los elementos necesarios para optimizar la

planificación estratégica de la empresa y medir el impacto de sus acciones; concluyendo que el agua subterránea se desplaza por 3 medios principales:

- Medio poroso en acuíferos detríticos.
 - Medio fracturado en el macizo volcánico.
 - Medio fracturado con flujo abierto en las labores antiguas inundadas.
- **Prysa** (2011), realizó un estudio geofísico para microlocalización de sitios para abastecimiento de agua, mediante sondeos eléctricos verticales en Santo Domingo, Chontales identificando dos zonas de aluviales e infiriendo tres zonas de fallas o fracturas.
- **Silva** (1994), evaluó la contaminación ambiental generada por la actividad minera sobre los ríos Artiguas, Mico y Sinecapa, presentando evidencias de que el contenido de Mercurio (Hg) en las aguas y sedimentos del área se encuentra en cantidades mayores a los niveles permisibles de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS). También determinó que la cantidad de contaminantes que fueron liberados al medio ambiente por la actividad minera por más de un siglo ha sido de 25/Ton de Mercurio (Hg) y concluyó que existe contaminación por (Hg) en el cabello de personas que viven y trabajan en Santo Domingo.
- **Darce** (1989), realizó un estudio de alteraciones hidrotermales, a escala 1:50 000 del distrito minero de La Libertad - Santo Domingo y estableció zonas de minerales de alteración hidrotermal alrededor de las vetas epitermales caracterizándolas por su mineralogía y quimismo.
- **Carranza & Ginnet** (1987), realizaron estudios de geoquímica y geología en un perfil geotransversal en la parte central del país incluyendo el área de La Libertad - Santo Domingo, dando como resultado que casi todas las rocas volcánicas analizadas son subalcalinas ubicándose en el límite inclinado superior de los campos basalto-andesíticos, andesíticos y dacíticos.

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua a través de sus centros de investigación (CIGEO y CIRA) y universidades de Suecia, han venido realizando estudios relacionados

con la geología, contaminación de las aguas subterráneas y sedimentos en el área de estudio. Los principales trabajos son:

- **Picado** (2008), realizó estudios de química ambiental y sedimentos a lo largo del Río Artiguas para determinar la degradación y ruta que siguen los contaminantes, concluyendo que las variaciones temporales de las concentraciones de mercurio acuosas reflejan la liberación episódica de mercurio por la actividad de extracción de oro en la cuenca del río. Los resultados también revelan que el transporte a larga distancia del mercurio se debe a las concentraciones de mercurio disuelto y que las concentraciones de partículas contribuyen a la sedimentación de mercurio en el sistema fluvial.
- **Mendoza** (2006), realizó una caracterización hidroquímica de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca con énfasis en el estudio de las interrelaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas, identificando los materiales geológicos y estructuras que están relacionados con la formación de sistemas de aguas subterráneas y sus mecanismos de descarga a través de los manantiales.
- **Espinoza & Espinoza** (2005), Clasificaron en 5 categorías o niveles el impacto negativo de la minería en la calidad del agua en la Microcuenca del Río Artiguas, con énfasis en metales pesados (Pb, Cd, Hg y Cu); encontrando en promedio, alrededor de 30 y 20 veces los valores límites establecidos por las normas para agua potable adoptadas por Nicaragua, siendo el Pb y el Hg los de mayores niveles de contaminación.
- **Grunander & Nordenberg** (2004), realizaron investigaciones en las aguas subterráneas y aguas superficiales de la Cuenca del Río Artiguas, donde hicieron muestreo y análisis de agua en manantiales en donde encontraron que el nivel de Pb en el agua potable supera los estándares de agua potable EPA de Estados Unidos, mientras que el contenido de Hg ninguno de los manantiales utilizados para beber supera el estándar de agua potable.
- **Mendoza** (2002), realizó estudios geofísicos usando el método de Tomografía Eléctrica, concluyendo que el desarrollo tectónico y procesos de meteorización son

los principales factores que influyen en la presencia de agua subterránea en la parte aguas arriba de la cuenca, e hizo análisis químicos de ^{18}O en el agua de los manantiales, las que mostraron bajas concentraciones de iones sugiriendo una rápida circulación de agua en todo el sistema.

- **Aronsson & Wallner** (2002), estudiaron la contaminación por Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) de las aguas superficiales y sedimentos a lo largo del Río Artiguas; encontrando mercurio en pequeñas cantidades en dos manantiales y plomo en un número mayor de manantiales, de los cuales 4 exceden los límites aceptables para la salud humana e hicieron un levantamiento de 95 manantiales.
- **André et al.** (1997), concluyeron que cerca y dentro de la ciudad de Santo Domingo, el agua del río está gravemente contaminada por mercurio, plomo y otros metales pesados los que son transportados corriente abajo. También determinaron que los sedimentos del río están siendo contaminados por mercurio y plomo corriente abajo de los sitios mineros a una extensión de 50 km y el plomo es transportado aún más lejos. Determinaron que la composición química del agua del río está determinada por dos mecanismos mayores: actividades mineras auríferas, que determinan por ejemplo los contenidos de Si, Al, Fe, K, Mn, S, As, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, Cd, Ni, Pb y Zn; y los mecanismos de intemperismo, que determinan los contenidos de Ca, K, Mg, Na, HCO_3^- , Sr, Si, Al, Fe, Cr, Cu, Ni.
- **Romero** (1996), estudió la contaminación por Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en las fuentes de aguas superficiales, sedimento y suelos en el poblado de Santo Domingo, encontrando alto contenido de éstos.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Santo Domingo, el paulatino deterioro de sus fuentes de agua generado principalmente por el desarrollo de la ciudad, la minería artesanal y la actividad agropecuaria, ha significado una relativa reducción de la disponibilidad de agua, también, por la variación en el régimen de lluvia no se sustentan caudales permanentes y es muy generalizada la existencia de corrientes efímeras. Esta situación ha sido agravada por la

degradación de la cuenca, en la que ha jugado un papel importante la deforestación, como causa principal de la erosión. Ambas, ocasionan alteraciones al régimen hidrológico de la cuenca y en los patrones de flujo superficial y subterráneo.

La marcada disminución de la cobertura vegetal incide en un incremento de la erosión y por tanto, en un aporte de sedimentos al Río Artiguas y a las corrientes de agua, también incide en la disminución de los flujos de agua subterránea. Esta degradación de la cuenca la hace vulnerable ante los efectos e impactos de fenómenos naturales o antropogénicos.

La calidad de las aguas superficiales y subterráneas ha sido relegada a un segundo plano de importancia tanto por instituciones que desarrollan programas diversos, como por usuarios y la sociedad en general. Estas son razones por las que se carece de información suficiente y adecuada sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico en el área, existiendo una creciente preocupación acerca del manejo de la contaminación de las aguas subterráneas y por tanto, una creciente demanda de más fuentes de agua para el abastecimiento futuro.

Por más de un siglo se ha desarrollado la actividad minera en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores, lo que ha ocasionado un estrés ambiental en la cuenca alta del Río Artiguas. Gran cantidad de galerías construidas y utilizadas por las empresas que se han radicado en la zona, se localizan en el subsuelo del área urbana de Santo Domingo. Precisamente la fuente de agua de la cual consume la población fluye en una antigua galería de la Mina Jabalí conocida como Túnel Azul, inicialmente construido para desagüe en las labores subterráneas de la Chontales Mining Company que operó en ese municipio entre 1872 y 1962, y no es considerada una fuente de agua natural. Según ENACAL esta fuente se encuentra a 1.35 Km del tanque de almacenamiento y 76 metros por de desnivel lo que aumenta los costos de bombeo. Sin embargo por las facilidades de captación y carencia de estudios de fuentes alternativas de abastecimiento esta fuente se utiliza en la actualidad. Uno de los mayores problemas que presenta esta fuente es el desconocimiento de la hidráulica de flujo del agua subterránea y por ende la captación de la misma en el túnel, así como el grado de vulnerabilidad de ésta a la contaminación.

La calidad del agua del Río Artiguas impide que pueda ser utilizada para todos los usos, pues presentan concentraciones de mercurio, sólidos en todas sus formas, metales,

metaloides y contaminación bacteriológica. Desde hace varias décadas, el Río Artiguas ha sido el receptor de las aguas residuales domésticas y de gran cantidad de basura que generan los habitantes del casco urbano de Santo Domingo, lo mismo que los residuos del proceso de beneficio mineral que se realiza en la planta conocida como La Estrella, propiedad de la Cooperativa de Pequeños Mineros de Santo Domingo, así como muchas rastras de origen reciente, las que hacen uso de técnicas rústicas de recuperación del oro, aumentando el deterioro del medio ambiente.

1.4. HIPÓTESIS

Una parte del agua de lluvia que llega a la superficie del terreno en la cuenca alta del Río Artiguas se infiltra en un medio geológico granular arcilloso-arenoso con espesor aproximado de 50 metros, hasta llegar a un medio geológico compacto fracturado, moviéndose a través de dichas fracturas hasta salir en manantiales y en zonas de descarga. Los flujos de agua contaminados por actividades minera, doméstica y de cualquier otra índole, tienen el mismo mecanismo de infiltración y movimiento hasta su descarga. Los flujos de agua subterránea eventualmente pueden también alcanzar las galerías antiguas, canalizándose a través de ellas para descargar finalmente en la superficie, tal caso ocurre en el conocido Túnel Azul y en el Túnel Tapalwacito.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El agua de consumo doméstico debe estar limpia de sustancias tóxicas y bacteriológicas, sin embargo, las actividades antropogénicas actuales representan un riesgo de contaminación para los recursos hídricos, pues generan todo tipo de residuos tóxicos (domésticos, industriales, agropecuarios, etc.) que escurren superficialmente y/o se infiltran en el subsuelo.

En la última década, la actividad minera artesanal, ha vertido sus desechos sin tratar directamente a las fuentes de agua. En esta década, las fuentes puntuales contaminantes (denominadas rastras) han aumentado de 7 a más de 100 (comunicación personal con funcionario de la Alcaldía de Santo Domingo). La mayoría de las rastras arrojan sus desechos a ríos y arroyos, por lo que los mayores niveles de concentración de contaminantes se localizan en ellos y luego son rápidamente removidos por corrientes

superficiales generadas por precipitaciones hasta depositarlos en el sistema de drenaje natural.

En el área, algunas investigaciones geológicas han estado concentradas en la exploración para la explotación minera; otras han estado enfocadas en la contaminación ambiental y en la contaminación de los recursos hídricos, pero es necesario aumentar el conocimiento de la dinámica de flujos de aguas superficiales y subterráneas a través de investigaciones hidrogeológicas para identificar áreas de recarga, las unidades geológicas que forman los acuíferos y los mecanismos de descarga en manantiales, en arroyos y en galerías de origen minero. Por tanto, esta investigación pretende establecer y describir los procesos que gobiernan la ocurrencia de las aguas superficiales y sobre todo subterráneas en la cuenca alta del Río Artiguas, específicamente en el área urbana en donde se concentra la mayoría de fuentes contaminantes puntuales. También determinar los procesos de infiltración a través del medio geológico, es decir, a través de estratos permeables, a través de fallas o sistema de fracturas. Además, crear pautas para su conservación y protección.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. GENERAL

Hacer una caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores mediante el análisis de flujo de agua superficial y subterránea en la cuenca alta del Río Artiguas.

1.6.2. ESPECÍFICOS

- Investigar la capacidad de infiltración de aguas superficiales en los suelos de la ciudad de Santo Domingo mediante pruebas de infiltración.
- Hacer un balance hídrico en la cuenca alta del Río Artiguas.

- Determinar la distribución de estratos permeables y no permeables en profundidad y las discontinuidades en las formaciones geológicas mediante la aplicación de tomografías eléctricas (TE).
- Evaluar la calidad del agua de las fuentes que abastecen a la ciudad de Santo Domingo mediante el análisis de información reciente y la generada en la presente investigación.
- Construir un modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca alta del Río Artiguas.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov,1985).

2.2. LEY DE DARCY

El principio básico que rige el movimiento de agua en el seno del acuífero es la Ley de Darcy, que establece que el flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga, a la sección considerada y la conductividad hidráulica, según la ecuación:

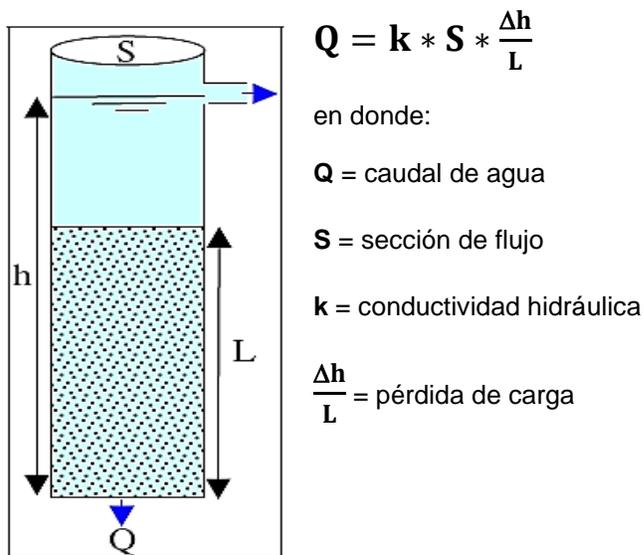
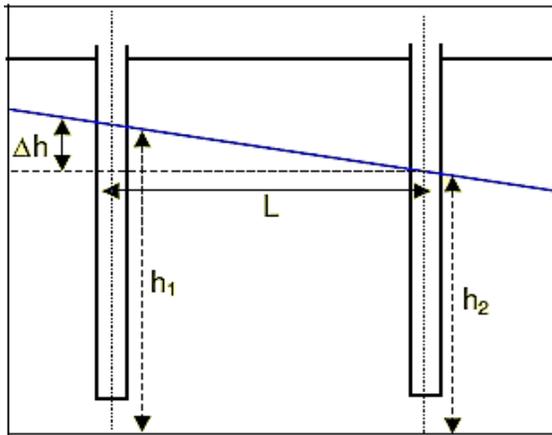


Figura 2-1. Ley de Darcy

2.3. GRADIENTE HIDRÁULICO

Si consideramos dos puntos en un cierto acuífero:



El flujo del agua se dirige de la línea equipotencial 1 a la línea equipotencial 2 y perpendicularmente a las mismas.

El gradiente hidráulico está definido por:

$$i = dh / L$$

que viene a significar la pendiente de la superficie piezométrica entre los puntos 1 y 2.

Figura 2-2. Gradiente hidráulico

En muchos casos, las líneas equipotenciales no son verticales, es decir, que el flujo no es horizontal.

2.4. TRANSMISIVIDAD

$$Q = k * S * i$$

Si la sección tiene una longitud L y una potencia H igual a la del acuífero:

$$S = H * L$$

$$Q = k * H * L * i$$

La transmisividad es

$$T = k * H$$

La ley de Darcy se suele expresar como $Q = T * L * i$

La transmisividad tiene unidades de medida [Área/tiempo]

2.5. RESISTIVIDAD

La resistividad es la resistencia eléctrica específica de cada material para oponerse al paso de una corriente eléctrica. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohmios metro ($\Omega.m$).

2.6. MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

El método de resistividad es el método de prospección eléctrica más utilizado en estudios hidrogeológicos. Mide las variaciones de la resistividad eléctrica del suelo mediante la aplicación de pequeñas corrientes eléctricas a través de las matrices de electrodos insertados en el suelo. La lectura de resistividad se procesa para producir la profundidad de sondaje o secciones del espesor y resistividad de las capas eléctricas del subsuelo. Este método suministra información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo con lo que se puede estimar la distribución horizontal y/o vertical de su resistividad. Permite no sólo el estudio de formaciones sub-horizontales, sino también la determinación de formaciones sub-verticales (fallas, filones, zonas de contacto, etc.). La prospección de resistividad eléctrica ha sido usada por muchas décadas en hidrogeología, además en investigaciones mineras, geotécnicas y medio ambientales (Loke, 2001).

Para un suelo homogéneo y un arreglo electródico arbitrario la resistividad es el parámetro petrofísico relevante y puede ser calculado a partir de la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y la geometría del arreglo de los electrodos.

Por lo general la tierra no se presenta de manera homogénea en la naturaleza, por lo que al realizar mediciones en el campo nos encontraremos con que las investigaciones utilizando en 1D (utilizando 4 electrodos) no nos dan todas las respuestas y es necesario utilizar otras consideraciones. El enfoque multi-electródico nos permitirá obtener imágenes en dos dimensiones, el resultado obtenido es llamado **Tomografía Eléctrica (TE)**; importante en la hidrogeología porque nos permite obtener resultados de secciones de resistividad de alta resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades verdaderas del subsuelo, resultado que puede ser correlacionado con las observaciones del campo, información geológica, perforaciones, etc.

CAPITULO III

3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Santo Domingo, comprende un área de 681.71 km² (INETER, 2000) y se ubica entre las coordenadas 12° 15´ latitud Norte y 85° 04´ de longitud Oeste. Limita al Norte con los Municipios de La Libertad y El Ayote (RAAS), al Sur con los Municipios de Santo Tomás y San Pedro de Lóvago, al Este con los Municipios de El Ayote, El Rama y Muelle de los Bueyes (todos pertenecientes a la RAAS) y al Oeste con el Municipio de La Libertad.

El Municipio está ubicado al Noreste del departamento de Chontales, entre la cordillera de Amerisque y los llanos descendientes hacia la Costa Atlántica. Las principales actividades económicas del Municipio son: en primer lugar la actividad Agropecuaria (principalmente la Ganadería), después la actividad minera y por último el comercio.

3.1. CLIMA

El Municipio se encuentra enmarcado en un clima de sabana tropical, con una temperatura media de 25 a 27° C; una precipitación anual entre los 1,100 a 2,000 mm, una humedad relativa del 71 al 80 %, con vientos predominantes del Noreste, a una velocidad de 2.2 a 3.6 m/s. El Territorio Municipal, observa variaciones que van del clima húmedo en invierno, a fresco en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero (INIFOM, 2013).

3.2. USO DE SUELO

En el Municipio de Santo Domingo las consecuencias del avance de la frontera agrícola constituye uno de los procesos de degradación ambiental más importante, se manifiesta con más evidencia en la cabecera municipal donde la actividad minera ha sido la mayor fuente de trabajo para los habitantes y por ende de un mal aprovechamiento de las

riquezas naturales que ofrecen las microcuencas, la degradación agroecológica es fuerte y en ella se enfrentan severos problemas de pérdida de los potenciales productivos, pérdida de fertilidad de los suelos, deforestación indiscriminada y desecación de cuerpos de agua.

Esta degradación se debe a que la zona ha sido sometida a usos agropecuarios, forestales y mineros incompatibles con sus capacidades y potenciales.

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

La litología del área de estudio, está compuesta por un paquete de rocas volcánicas del Mioceno, pertenecientes al Sub Grupo Coyol Inferior (Parsons Corporation, 1972). Estos depósitos están formados de potentes capas de rocas básicas depositadas como flujos lávicos y en bloques. Las rocas presentes en el área se encuentran afectadas por una intensa alteración hidrotermal.

En el área de estudio se encuentran rocas del tipo lavas andesíticas, basálticas, ignimbríticas, aglomerados, etc. Las formaciones geológicas pertenecen al Grupo Coyol inferior, edad Mioceno-Plioceno (Sánchez, 2004; Herrera, 2005).

Las Unidades Litoestratigráficas de la zona desde la más antigua a la más reciente han sido definidas por (Sánchez, 2004) en: Unidad Andesítica Santo Domingo, dentro de esta unidad definió la Sub-unidad Cerro Las Nubes localizada en la parte Norte, Noroeste y Noreste; Unidad Ignimbrítica Buena Vista, localizada hacia el Sureste, Suroeste y Sur, del Pueblo de Santo Domingo; y Unidad Coluvio-aluvial, localizada a lo largo de los causes de algunos riachuelos y quebradas.

Dentro de La Unidad Andesítica, se encuentran afloramientos locales andesito-basálticos con abundantes plagioclasas, alto contenido de piroxeno y otros minerales accesorios. La calcita (carbonato de calcio) y la clorita se encuentran en muy poca cantidad, estas y los olivinos se presentan como minerales de alteración. Mediante análisis petrográfico de esta unidad, se han detectado alteraciones de los tipos Silificación, argilítica y propilítica, esta última caracterizada por la presencia de cloritas (Sánchez, 2004).

La unidad Ignimbrítica, de composición andesítica, está constituida principalmente por cenizas y lapilli soldadas; los minerales secundarios son sericita, clorita y zeolitas. La

Unidad Coluvio- aluvial está formada por fragmentos andesíticos envueltos por una matriz arcillosa, alterada producto de fluidos mineralizados (Sánchez, 2004).

(Herrera, 2005), identificó tres unidades litoestratigráficas definiéndolas de la más antigua a la más joven como: a) Unidad Andesítica, dentro de ésta se encuentra la Sub-unidad Santa Melba. b) Unidad Ignimbrítica El Salto y c) Unidad Coluvio Aluvial.

Características geológicas típicas del área son: vetas de cuarzo, zonas de fractura y potentes capas de rocas volcánicas meteorizadas e intensamente fracturadas por esfuerzos tectónicos (Mendoza, 2002; Sánchez, 2004).

(Pérez, 2015), identificó dos unidades litológicas: Unidad Andesítica de Santo Domingo, dentro de la cual definió la Sub Unidad Andesita hidrotermalmente Alterada. Y por último Unidad Coluvio-Aluvial. **(Figura 3-1)**

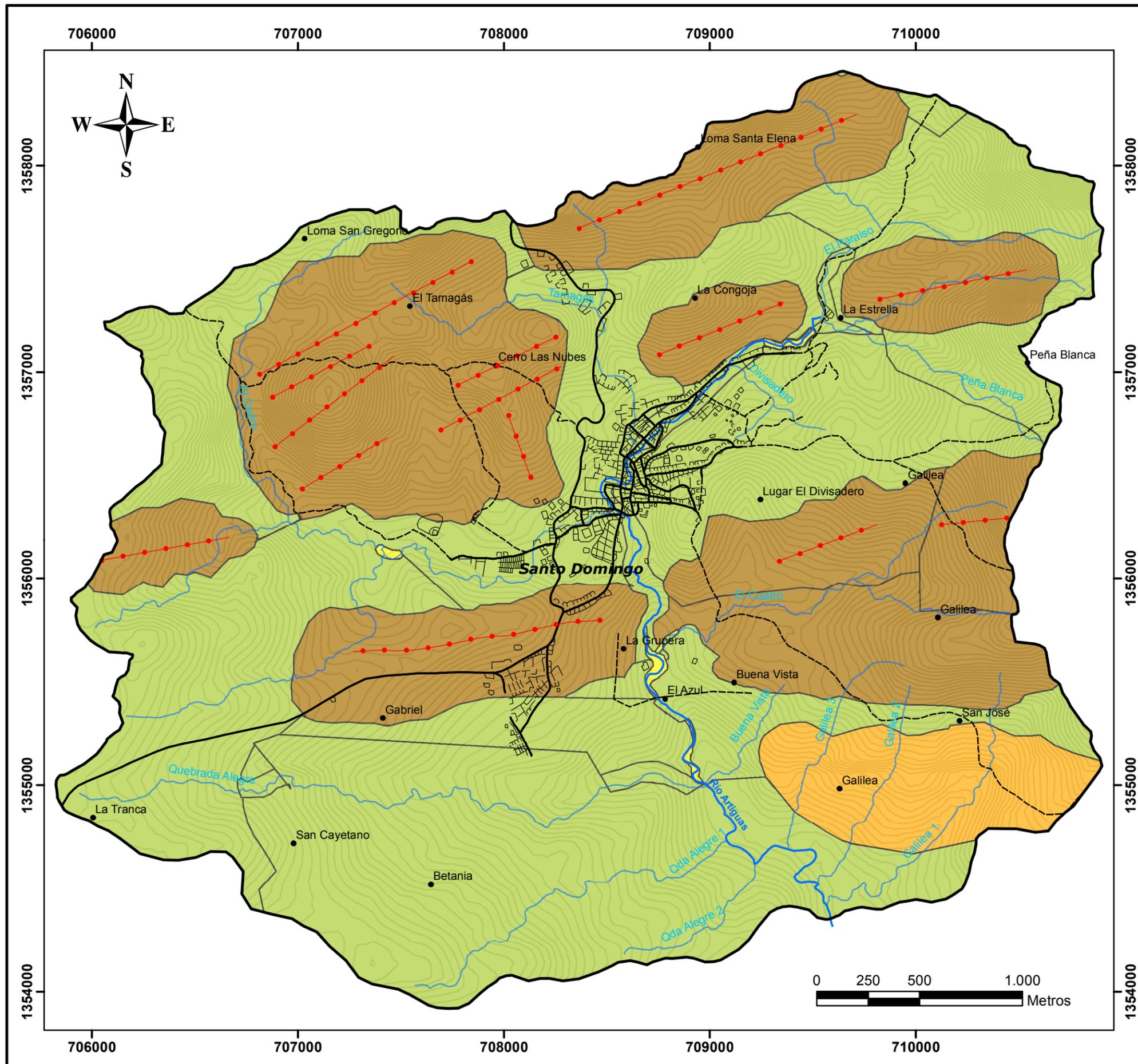


Foto: Vista Panorámica de la Cuenca Alta del Río Artiguas

Simbología

	Divisoria		Carretera Principal
	Vetas		Carretera Secundaria
	Pueblos		Ríos Permanentes
	Ciudad		Ríos Secundarios
			Curvas de nivel

Litología

	Coluvio-Aluvial
	Ignimbrita
	Andesita Hidrotermalmente Alterada
	Andesita Compacta

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa Geológico de la Cuenca Alta del Río Artiguas
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 3-1

Fuente: Actualizado de Pérez Romero (2015).

3.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La morfología de la Cuenca del Río Artiguas, se caracteriza por una combinación de planicies y mesetas interrumpidas por elevaciones escarpadas como parte de la Serranía de Amerrisque y de la Cordillera Chontaleña.

En la parte baja de la cuenca las elevaciones andan por el rango de los 390 a 500 m.s.n.m con pendientes moderadas, en la parte media la topografía es un poco más accidentada con elevaciones entre los 500 y 610 m.s.n.m y en la zona más elevada se localizan cerros alineados que tienen entre 610 y 760 m.s.n.m con pendientes abruptas y es en donde se localizan la mayor parte de vetas mineralizadas (**Figura 3-2**).

Las principales montañas son: Peñas Blancas, El Espejo, Banadí, El Escándalo, Las Nubes, La Chispa y Cerro El Consuelo, relacionados con focos volcánicos, algunos con fuertes alteraciones hidrotermales.

(Sánchez, 2004) definió tres unidades geomorfológicas: Unidad de origen Denudacional, Unidad de origen Fluvial y Unidad de origen Volcánico Denudacional y (Pérez, 2015) definió cuatro unidades:

- Unidad de Relicto de Caldera y Flujos de Lava.
- Unidad de Laderas Inferiores de Montañas.
- Unidad de Cerros y Colinas.
- Unidad Planicie

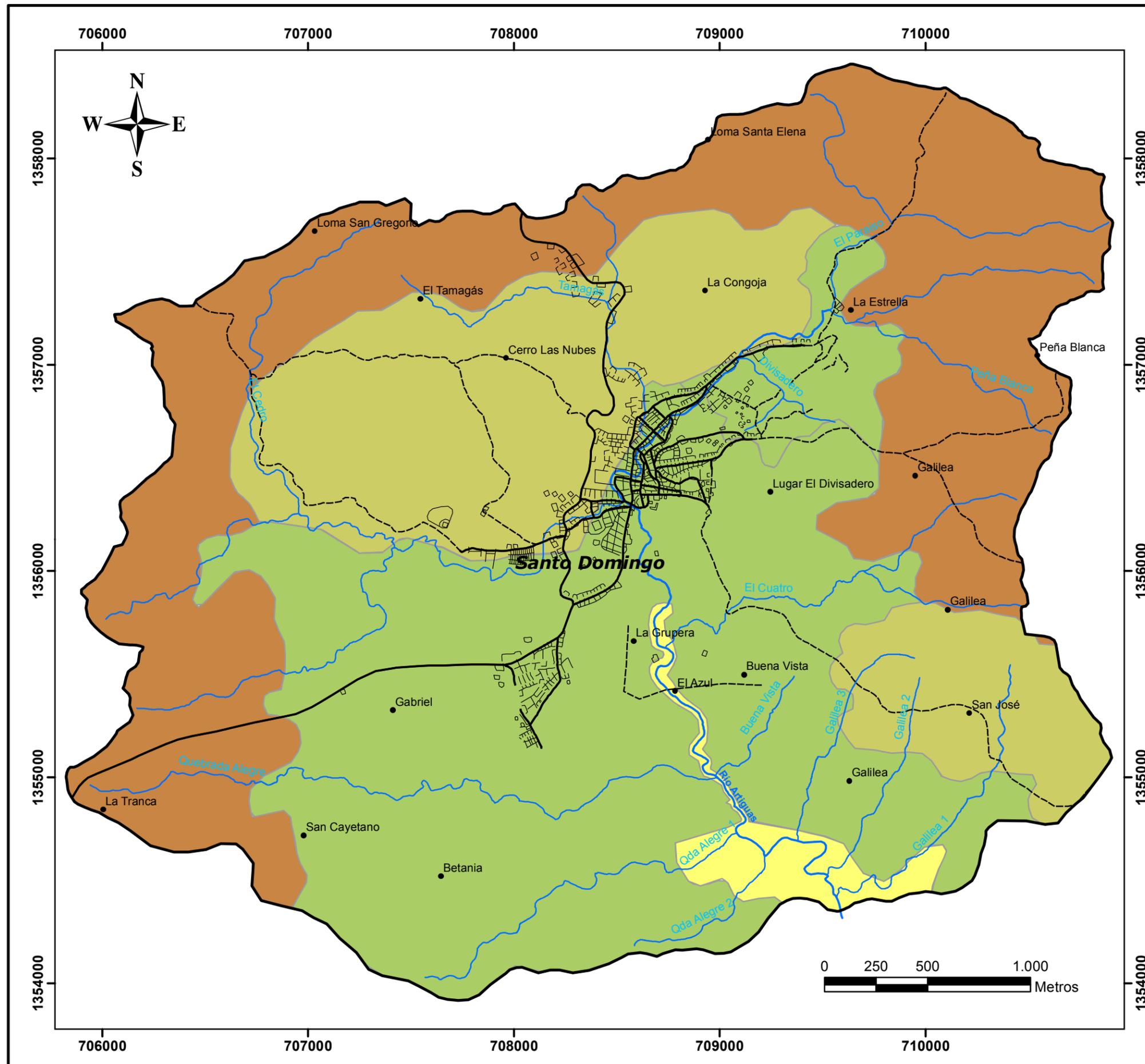
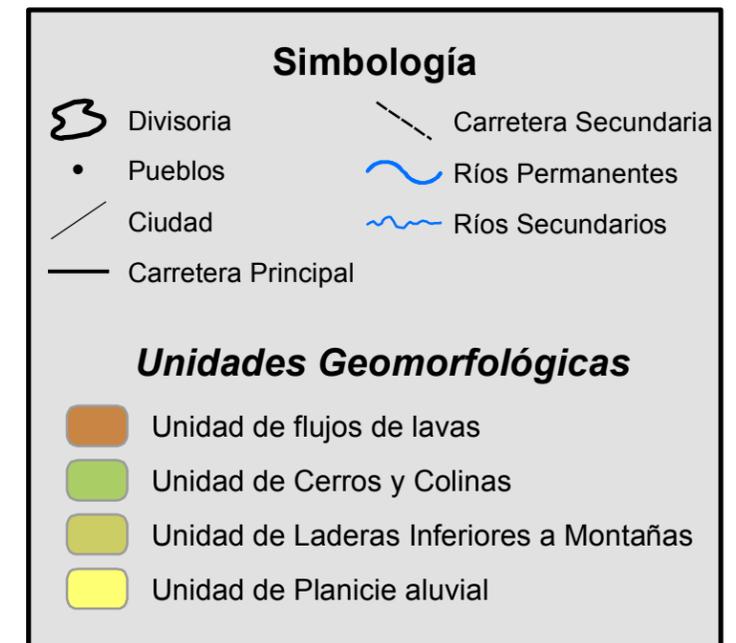


Foto: Vista Panorámica de la Geomorfología de la Cuenca.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa Geomorfológico de la Cuenca Alta del Río Artiguas
"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
---	------------------

Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina | Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 3-2

Fuente: Modificado de Pérez Romero (2015).

3.5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

La geología del área de Santo Domingo es de origen volcánico y estructuralmente se caracteriza por el tipo de deformación frágil. Además es una zona donde actuó una intensa actividad hidrotermal que ha dado paso al desarrollo de zonas de deformación dúctil (**Figura 3-3**).

Según (Sánchez, 2004) dentro de las principales estructuras que prevalecen en la zona de estudio se encuentran las vetas de cuarzo emplazadas en un sistema de fallas y fracturas con dirección NE que cortan las rocas andesitas de edad Terciaria (Oligoceno-Plioceno).

Otro rasgo estructural que predomina es el sistema de diaclasas que están dispuestas principalmente en el lecho rocoso del Río Sucio, Quebrada Alegre y otros tributarios, cuya dirección preferencial es NW, NE, SW Y SE. Estas diaclasas son evidencias de esfuerzos tectónicos que han afectado el área de estudio (Sánchez, 2004).

(Pérez, 2015) logró distinguir cuatro fases de deformación:

- ✓ La primera fase corresponde al surgimiento y actividad de la Caldera de Santo Domingo.
- ✓ La segunda fase está representada por las fallas de dirección NW-SE que inician la deformación de la Caldera de Santo Domingo. Estas fallas son desplazadas por fallas NE-SW y E- W, sugiriendo que las fallas NW-SE son las más antiguas.
- ✓ La tercera fase corresponde al sistema de fallas NE-SW, también cortan la estructura de la primera fase y son desplazadas por el sistema de fallas E-W. Esta fase contiene la mayoría de las vetas epitermales presentes en el área de estudio.
- ✓ La cuarta fase es el sistema de fallas E-W que corta a la segunda fase y la tercera fase, además, esta fase contiene la veta Jabalí.
- ✓ Falla N-S, Río Sucio. El río ocupa la zona de debilidad causada por la falla. La falla presenta patrones de fallas y fracturas bien definidas que delimitan el curso del río y su rumbo. El rumbo N-S corresponde a la falla principal que es desplazada por las fallas de rumbo NE-SW y E-W.

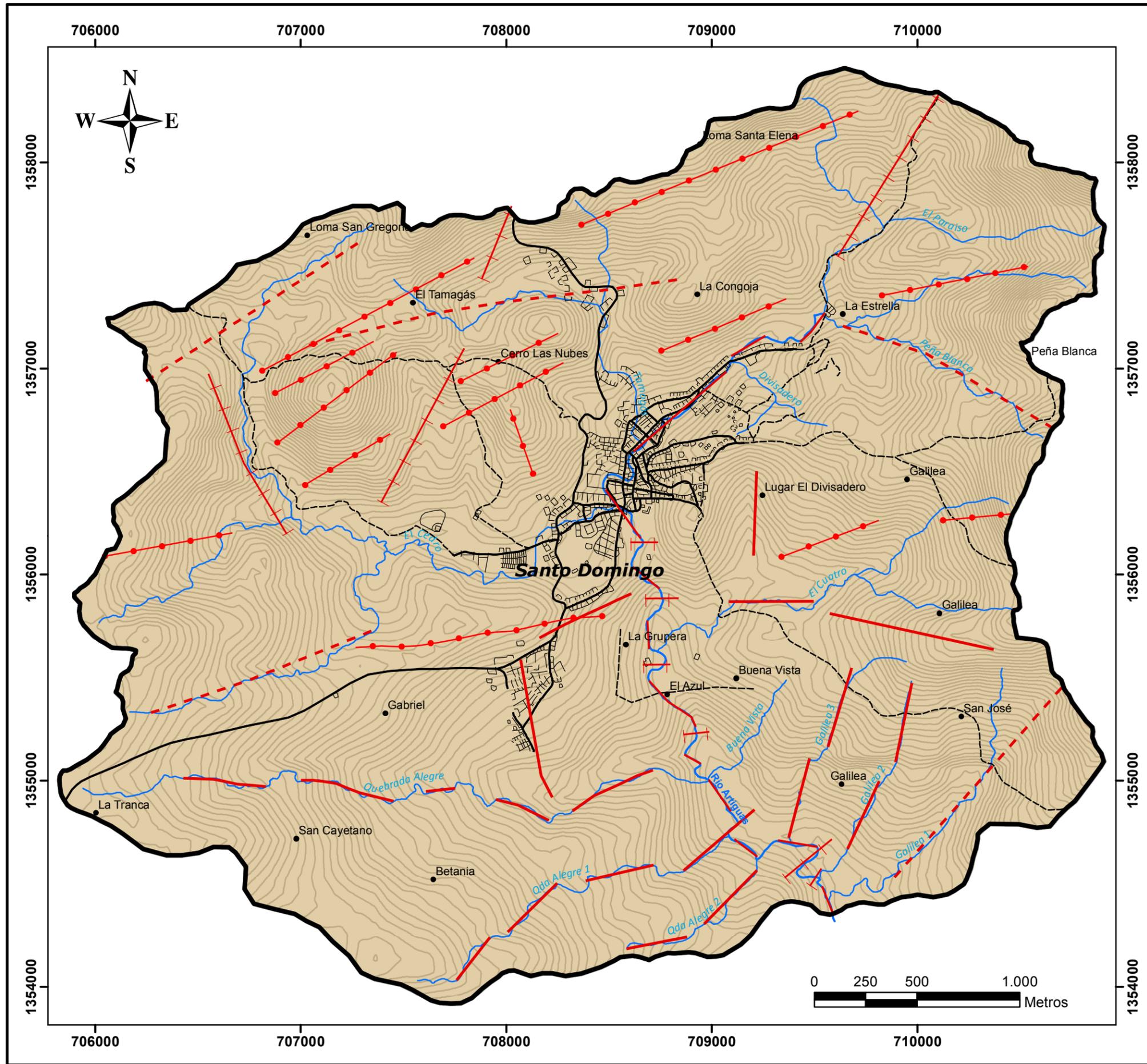


Foto: Falla N-S sobre el cual circula el Río Artiguas.

Simbología

	Divisoria		Ciudad
	Vetas		Carretera Principal
	Falla		Carretera Secundaria
	Falla normal		Ríos Permanentes
	Falla sinistral		Ríos Secundarios
	Falla dextral		Curvas de nivel
	Vetas		Pueblos
	Falla inferida		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa Estructural de la Cuenca Alta del Río Artiguas
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 3-3

Fuente: Modificado de Pérez Romero (2015).

3.6. HIDROLOGÍA LOCAL

El área de estudio se encuentra localizada dentro de la Cuenca del Río Escondido, la que a su vez contiene a la Cuenca del río Artiguas o Sucio. Los cuerpos de agua principales son los ríos Siquia, Sucio y Tapalwás, los que drenan hacia el mar Caribe.

En el área de estudio el río principal es el Artiguas o Sucio que drena en dos direcciones: hacia el norte donde confluye con el río Siquia y del cual es afluente, además constituye el río principal de todo el Municipio y hacia el sur donde converge con el río Mico. El río Sucio tiene varios afluentes entre los que podemos mencionar: El Tamagás, La Estrella, El Cedro, El Cuatro, El Cilindro, Quebrada Alegre.

La cuenca del Río Sucio tiene una extensión de 16.75 km² posee una topografía del relieve muy escarpada con altura máxima de 760 m.s.n.m (Cerros Santa Elena y El Pedregal) y mínima en el cierre de la cuenca con 380 m.s.n.m. (B2GOLD-DESMINIC S.A., 2012).

La red de drenaje está condicionada por las particularidades geológicas de las formaciones, tanto en su composición química y granulométrica, como en las estructuras de fallas dominantes. Es posible diferenciar una red de drenaje dominada por las grietas y fracturas de las rocas. Los sistemas de drenaje en el área son del tipo dendrítico, circular, subparalelo y paralelo, el drenaje circular se desarrolla en los cráteres y conos antiguos, el dendrítico en los sistemas montañosos y el subparalelo y paralelo a lo largo de los sistemas.

3.7. HIDROGEOLOGÍA LOCAL

Hidrogeológicamente el área está caracterizada por grietas, fallas y fracturas generadas en el proceso de enfriamiento de orogénesis o de movimientos tectónicos, que facilita la circulación del agua a través de ellas. La transmisividad en este tipo de medio depende de la amplitud de las fallas y del tipo de material que las rellenan.

De acuerdo al mapa geológico existente en la zona, el área de estudio no representa acuíferos de importancia hidrogeológica debido a que el medio geológico está formado por rocas de baja permeabilidad (secundaria) y transmisividad de baja a media. Sin

embargo la existencia de fallas y fracturas, originan acuíferos colgados; que forman numerosos manantiales en diferentes cotas topográficas, algunos solo están presentes en época lluviosa, mientras que otros mantienen su caudal durante todo el año.

Por las causas antes mencionadas, el sistema de recarga y descarga de las aguas puede asumirse como un movimiento discontinuo, hacia las partes más bajas, a través de fallas. Este sistema, se encuentra con barreras geológicas que obligan al agua subterránea a descargar y formar los manantiales que sirven de suministro de agua potable y a la vez forman los ríos existentes en la zona.

Así mismo se distinguen dos tipos de medio hidrogeológico: fracturado y granular. Los acuíferos granulares se desarrollan en los pequeños valles y están compuestos por arenas y gravas aluviales, la productividad de estos acuíferos media.

Los acuíferos fracturados se localizan en rocas volcánicas del Terciario. Pueden presentar transmisividades variables, sin embargo, la abundancia de manantiales y la construcción de pozos evidencian la ocurrencia de agua subterránea con capacidad considerable para satisfacer las demandas de familias individuales y en algunos casos pequeñas comunidades.

CAPITULO IV

4. METODOLOGIA

Las actividades llevadas a cabo para la consecución de esta tesis se pueden agrupar en tres apartados: trabajo de gabinete, trabajo de campo y de laboratorio. Todas estas acciones han sido desarrolladas de forma conjunta o en distintas fases, en función del progreso de la investigación.

4.1. TRABAJO DE GABINETE

Esta etapa consistió en la recopilación, análisis y selección de toda la información existente respecto al área de estudio, para la cual se realizaron visitas a centros de documentación de instituciones como: INETER, IGG-CIGEO, MEM, MIFIC/ADGEO, etc. Esto se efectuó a través de la recolección de datos, documentos (informes, estudios, artículos, tesis u otros trabajos en la zona), mapas (topográficos, geomorfológicos, geológicos, etc.) y fotografías aéreas que abarcan el área de estudio. También se utilizó información electrónica.

Se digitalizaron curvas de nivel para obtener el mapa base preliminar (topográfico) del área de estudio a escala 1:20,000, a partir del cual se elaboraron mapas de drenaje, altimétrico y modelo sombreado en los que se muestran las principales estructuras geológicas que afectan la zona.

4.1.1. ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS CLIMÁTICOS

Para la caracterización, análisis y planificación de las cuencas, es necesario poseer información que a veces no se encuentra en la forma más adecuada o simplemente no existe, es por ello muy importante el procesamiento y análisis de la información a fin de adecuarla a los objetivos perseguidos. El análisis de la información que aquí se presenta, se refiere al procesamiento y ajuste de la misma y a la estimación de datos. En esta etapa se utilizaron datos de precipitaciones mensuales y anuales de las estaciones pluviométricas de Santo Domingo (código 6107) y Juigalpa (código 69034).

También se utilizó la temperatura media mensual y el número teórico de horas de sol; estos datos fueron recopilados en INETER. El procesamiento consistió en la manipulación de los datos a fin de presentarlos de tal manera que nos permitiesen sacar conclusiones de los mismos.

4.2. TRABAJO DE CAMPO

En esta etapa se realizaron dos campañas de campo en el período Abril-Mayo y Octubre-Noviembre del 2014 para la recolección de datos, se desarrolló el trabajo de campo de las diferentes disciplinas y actividades siguientes:

4.2.1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO A ESCALA LOCAL

La caracterización geológica se realizó principalmente a través de fotointerpretación y reconocimiento geológico en el campo mediante descripción litológica y estructural de afloramientos. También en base a la información recopilada de estudios anteriores y la obtenida del Mapa Geológico del área. El propósito de esta sección fue identificar y describir los eventos geológicos más importantes que han tenido lugar en el área de estudio o cerca de ella. Igualmente, fue de interés conocer la disposición de las diferentes formaciones que predominan en el sector y el comportamiento tectónico en el área.

4.2.2. INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS

El inventario de las fuentes de agua superficial y subterránea consistió en levantar la información de dichos puntos. Esta información, junto con la hidrología, geología y geofísica permitirá entender el sistema de flujo en la zona de estudio.

Este trabajo se inició con la recolección de información secundaria existente en entidades ambientales y públicas de la localidad, así como de centros de investigación que han estudiado el área. Posteriormente se realizaron recorridos de campo para investigar la existencia de nuevos puntos y verificar las condiciones de los identificados en el análisis de la información secundaria.

4.2.3. PRUEBAS DE AFORO

Existen varios métodos para determinar el caudal de agua, en esta investigación se utilizó el método de velocidad – área o método del flotador, utilizado para calcular caudales mayores a 10 l/s. También se utilizó un instrumento del tipo molinete Modelo FP111, que mide la velocidad del agua. Se realizaron mediciones de aforo en cuerpos de agua superficial de relevancia.

a. MÉTODO DEL FLOTADOR

Con este método se mide la velocidad del agua superficial que discurre de la fuente tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme:

a. **Primer paso:** Seleccionar el lugar adecuado.

Se selecciona en el río un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.

b. **Segundo paso:** Medición de la velocidad.

En el tramo seleccionado se ubican dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y se mide la distancia.

Una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el reloj o cronómetro. Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B. Se recomienda realizar un mínimo de 3 mediciones y calcular el promedio.

La velocidad de la corriente de agua del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad} = \text{Distancia (A-B)} \div \text{Tiempo de recorrido}$$

c. **Tercer paso:** Medición del área de la sección transversal del río.

En el tramo seleccionado, ubicar la sección o el ancho del río que presente las condiciones promedio y en la que se facilite la medición del área transversal. Un método

práctico, con aceptable aproximación para calcular el área transversal, es tomar la altura promedio. Esto consiste en dividir el ancho del río, en, por lo menos, tres partes y medir la profundidad encada punto para luego calcular el promedio.

Profundidad promedio, $h_m = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6) \div 6$. Una vez se ha determinado el valor promedio de la profundidad, se procede a realizar la medición del ancho del río, A_r .

El área de la sección transversal A_T del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$A_T = \text{Ancho} \times \text{Profundidad Promedio} = h_m \times A_r$$

d. **Cuarto paso:** Cálculo del Caudal del río.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal del río, Q_R , con base en la siguiente ecuación.

$$Q_R \text{ (m}^3\text{/s)} = \text{Velocidad (m/s)} \times \text{Area (m}^2\text{)}$$

b. MATERIALES

- Un objeto flotante, puede ser una bola de ping-pong, una botella plástica pequeña, una rama, un trozo de madera que flote libremente en el agua.
- Un reloj o cronómetro
- cinta métrica
- Una regla graduada

C. MOLINETE (MEDIDOR DE VELOCIDAD DEL AGUA MODELO FP111, GLOBAL WATER)

Adecuado para la medición de la velocidad del agua en canales, arroyos, ríos y tuberías parcialmente llenas. Consiste en una varilla telescópica con un extremo del carrete y una pantalla digital. El principio de funcionamiento consiste en una hélice que es libre de girar, la cual, cuando se inserta en un curso de agua, crea un número de impulsos directamente proporcional a la velocidad del agua. Estos impulsos se muestran en una pantalla digital en forma de velocidad media y actual (**Foto 1**).



Foto 1. Medición de la velocidad del flujo de agua con un molinete.

4.2.4. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Con el fin de determinar la infiltración de las aguas de precipitación y escorrentía superficial al sistema acuífero, se hicieron 14 pruebas de infiltración utilizando el método de doble cilindro o infiltrómetro en sitios seleccionados de acuerdo al tipo de suelo, siguiendo los procedimientos de la ASTM D-3385, considerado como un método versátil y adecuado para determinación de la capacidad de infiltración. Esto ha permitido conocer la tasa de infiltración y la permeabilidad del suelo.

a. MÉTODO DEL INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO

El propósito de esta prueba fue determinar la proporción en que el agua penetra en el suelo. La filtración mide cuan fácilmente el agua se mueve verticalmente hacia el suelo. El método consistió en enterrar en el suelo 5 cm los dos anillos concéntricos (exterior e interior) hasta lograr que quedaran perfectamente enterrados y nivelados sin alterar el terreno. Luego se procedió a rellenarlos con agua hasta una altura de 10 cm, la cual se mantuvo constante en ambos cilindros durante la ejecución de cada prueba. El anillo

exterior sirvió para asegurar que el agua que se infiltra por el cilindro interior tenga un flujo preferentemente vertical (**Foto 2**).

Finalmente con los tubos Mariotte y el cronómetro se midió la variación de la altura del agua en el tiempo, tomando las lecturas del descenso del nivel del agua en ambos anillos. Cuando se consiguió que la tasa de infiltración fuese constante, la prueba se terminó.

b. MATERIALES

- Dos anillos de metal, siendo el más pequeño de un diámetro de 30 cm y el otro de un diámetro de 60 cm.
- Tubos Mariotte (Medidor de niveles de agua)
- Baldes u otros recipientes para transportar el agua hacia el lugar de la prueba.
- Regla
- Marcador
- Cronómetro o reloj con segundero
- Bloque de Madera
- Martillo o Mazo
- Machete

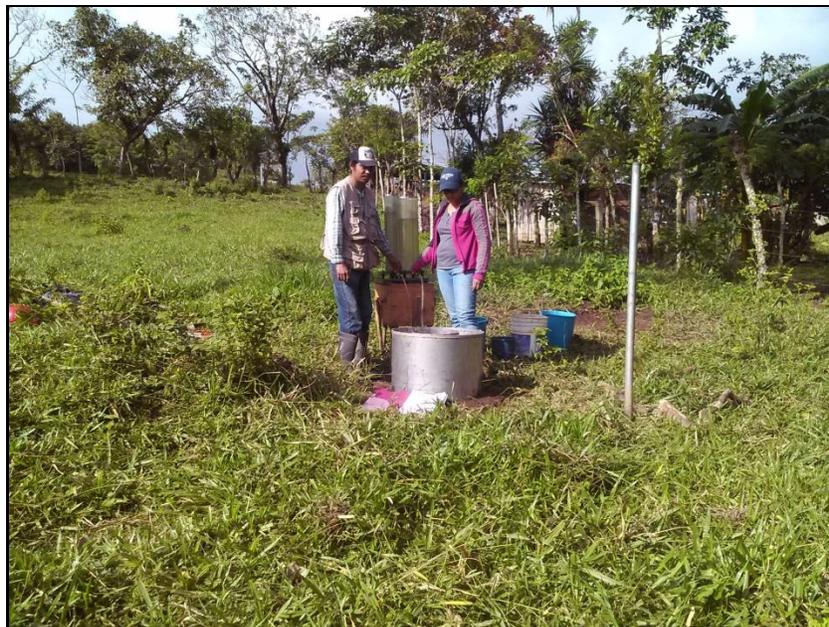


Foto 2. Pruebas de infiltración utilizando el método de doble cilindro.

4.2.5. LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO

Para la realización del trabajo se utilizó el método eléctrico de resistividades en su modalidad de tomografía eléctrica.

En su sentido más amplio la tomografía es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno.

La Tomografía eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

Un factor clave de esta técnica es el número y distribución de las medidas de campo ya que de él depende tanto su resolución como la profundidad de investigación. Como regla general, un estudio mediante tomografía eléctrica requiere la obtención de un número muy elevado de datos, con un pequeño espaciado entre medidas para conseguir la necesaria resolución lateral y también que las medidas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad.

El producto final de las mediciones de campo es una sección de resistividad aparente de distancia contra profundidad comúnmente llamada Pseudosección, la que luego es procesada por medio de software de análisis numérico para obtener una sección de resistividad real de distancia contra profundidad, mejor conocidas como Tomografía Eléctrica. Sin embargo la tomografía eléctrica exige el empleo de una instrumentación específica capaz de realizar un gran número de medidas de forma rápida y fiable.

Las medidas de resistividad aparente del terreno para un estudio mediante tomografía eléctrica se efectúan mediante técnicas de corriente continua con posibilidad de empleo de una gran variedad de arreglos en lo que a la distribución de los electrodos se refiere. Entre los más habitualmente utilizados cabe citar los arreglos polo-dipolo, dipolo-dipolo, Schlumberger, Wenner, gradiente, etc. Para la presente investigación se eligió el arreglo gradiente (**Figura 4-1**).

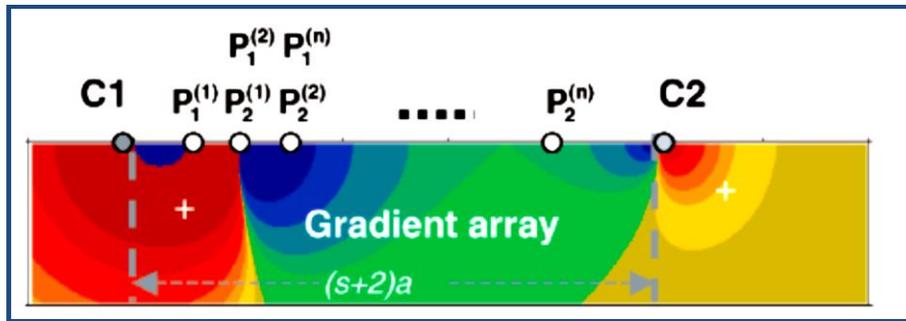


Figura 4-1. Esquema para el arreglo gradiente, C1 y C2 son electrodos transmisores de corriente positivos y negativos respectivamente, P1 y P2 son los potenciales. Este diagrama es un ejemplo de una de las posibles combinaciones electrónicas del arreglo gradiente.

Combinando adecuadamente resolución lateral y profundidad de investigación, la tomografía eléctrica es, sin duda, una de las herramientas de carácter no destructivo más eficaz para el estudio y caracterización de posibles discontinuidades del subsuelo en el rango desde algunos metros hasta centenares de metros de profundidad.

a. EQUIPO

Para la ejecución de las mediciones de resistividad se utilizaron dos equipos diferentes: el Terrameter LS y el Terrameter SAS 4000.

Uno de los equipos más utilizados para realizar la Tomografía Eléctrica es el **Terrameter LS (Foto 3)**, desarrollado en la Universidad de Lund en Suecia y manufacturado por la compañía ABEM. Dicho equipo consta de un resistímetro integrado, amplificador de corriente que posee una capacidad de inyección de corriente al subsuelo de hasta 2.5 amperios, lo cual permite una mayor penetración en los estratos del subsuelo, un computador de campo que posee un sistema gráfico de comandos basados en Linux, lo que facilita el control del operador del equipo en el campo sobre los datos que se miden, así como 4 unidades selectoras de electrodos, el cual permite seleccionar los electrodos a utilizar durante la medición.

Este sistema de mediciones nos permite obtener mediciones en 12 canales, así como mediciones simultáneas de resistividad y polarización inducida. También posee un sistema integrado de GPS (Sistemas de Posicionamiento Global), lo que permite de una manera directa ubicar en campo la localización de las mediciones realizadas. Nuevo

sistema integrado de envío de datos (vía internet), lo que permite el envío de datos a través de internet (en tiempo real). El equipo utiliza un total de 81 electrodos los que son conectados al equipo a través de 4 cables multi-conectores con 21 tomas de electrodos cada uno.



Foto 3. Equipo de resistividad Terrameter LS

El **Terrameter SAS 4000 (Foto 4)**, también desarrollado en la Universidad de Lund en Suecia y manufacturado por la compañía ABEM. Dicho equipo consta de un resistímetro (ABEM SAS 4000) el cual incluye un amplificador de corriente y un computador de campo, una unidad selectora de electrodos (ABEM ES 1064), el cual permite seleccionar los electrodos a utilizar durante la medición. El equipo utiliza un total de 81 electrodos los que son conectados al equipo a través de 4 cables multi-conectores con 21 tomas de electrodos cada uno. Este sistema de mediciones nos permite obtener mediciones en 4 canales, así como mediciones de resistividad, potencial espontáneo y polarización inducida.



Foto 4. Equipo de resistividad Terrameter SAS 4000

b. COLOCACIÓN DEL DISPOSITIVO Y OBTENCIÓN DE LOS DATOS

El primer paso para llevar a cabo las mediciones geofísicas fue ubicar marcas de control al inicio de cada uno de los perfiles y repetidamente marcas cada 50 metros a lo largo de cada perfil, para tener registro de las distancias y puntos de mediciones, logrando calidad en los datos, precisos para el posterior procesamiento. Se definieron el origen y final del perfil a fin de no tener problemas en la fase de interpretación. En cada punto de medición de las estaciones se obtuvieron las coordenadas utilizando un GPS eTrex 10 Garmin.

Después de seleccionar la línea donde se extendería cada perfil se desplegaron los cuatro cables uno seguido de otro, estos se designaron como cable 1 a cable 4 dependiendo de la posición a lo largo de la línea del perfil. Para realizar las mediciones en la primera estación en los perfiles de 400 metros, el equipo de medición se ubicó al final del primer cable para efectuar la primera adquisición de datos, posteriormente se colocó el instrumento a 100 metros, para la segunda adquisición de datos y para finalizar se ubicó el equipo de medición en los siguientes 100 metros para ejecutar la tercera adquisición de datos.

En el caso de los perfiles de longitudes de 800 metros, se repitió el proceso anterior, el primer cable fue removido y colocado de último para extender el perfil hasta la longitud

deseada. Esta operación puede ser repetida cuantas veces convenga siguiendo la técnica conocida por su nombre en inglés como *roll-along*.

En seguida se procedió a colocar los electrodos en superficie de forma equiespaciada, intentando siempre que formasen una línea recta, éstos se clavaron en el terreno lo suficiente como para garantizar un buen contacto electrodo-suelo, en algunos casos fue necesario mejorar el contacto usando agua o añadiendo más electrodos a la toma; posteriormente se conectaron al cable por medio de los conectores.

Una vez desplegado el equipo de medición configuramos todas las variables del dispositivo: número de electrodos utilizados, distancia entre ellos, dispositivo electrónico de medida, así como el número de medidas que queremos realizar (podemos suprimir aquellas medidas que creamos oportunas, aspecto que supone un ahorro de tiempo significativo). El software de adquisición de datos automáticamente revisa los contactos entre los electrodos, una señal de alarma se activa en caso de mal contacto, a continuación el protocolo determina cuales son los electrodos que funcionan como inyectores de corriente y cuales como potenciales. Concluida la configuración, se transfieren estas especificaciones a la unidad central para que ésta pueda realizar automáticamente toda la secuencia de mediciones prefijada.

Una vez estuvo todo dispuesto, se inició la secuencia de medidas que hubimos predeterminado, proceso que tardó más o menos tiempo en función del número de medidas que se realizaron. Terminado todo el proceso de captura de datos, toda la información almacenada digitalmente se volcó en el portátil, a fin de proceder a su procesamiento e interpretación con el programa correspondiente.

c. PROCESAMIENTO DE DATOS

Nuestro objetivo fue obtener un modelo 2-D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes obtenida del terreno. Para ello los datos de resistividad medidos fueron tratados (invertidos) usando el programa de inversión **Res2DINV**, que está diseñado para invertir cantidades grandes de datos registrados por un sistema con numerosos electrodos. El programa divide el subsuelo en una malla de bloques rectangulares, a continuación determina las resistividades de los bloques,

creando un modelo de elementos finitos de la distribución resistiva del sub-suelo, dicho modelo es ajustado luego de manera iterativa con las mediciones reales. El programa posee un proceso de optimización de los datos, el cual trata de reducir la diferencia entre las resistividades aparentes medidas y calculadas por medio del ajuste de la resistividad en el modelo de bloques. La forma para medir esta discrepancia viene dada por el Root-Mean-Squared error (RMS). La práctica más común es detener las iteraciones una vez que el RMS no ha cambiado significativamente, usualmente entre la tercera y quinta iteración.

La rutina de inversión utilizada por el programa es el de los mínimos cuadrados, la cual es basada en una optimización quasi-newton, lo que permite reducir tiempo de procesamiento (Loke y Barker, 1996).

d. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Es importante tener un previo conocimiento de la geología de la zona, la única manera de interpretar los resultados de una prospección geofísica es mediante el conocimiento de la geología del lugar donde se llevó a cabo el estudio, se debe buscar distribución espacial de los estratos, estructuras geológicas y flujos de aguas subterráneas; que posiblemente son los causantes de las anomalías en los parámetros físicos que se están midiendo. En el caso de una investigación eléctrica donde se midió resistividades y tiene una aplicación hidrogeológica como ésta, lo que se debe buscar son los estratos acuíferos, materiales impermeables, fallas y demás estructuras que podrían ser parte de un ambiente de agua subterránea.

La interpretación de los datos de resistividad obtenidos de la prospección eléctrica consiste de dos pasos: una interpretación física de los datos medidos, resultando en un modelo físico, y luego una interpretación geológica de los parámetros físicos resultantes. (Dahlin, 2001).

En general, en la tomografía eléctrica (ITRE), la línea horizontal representa la longitud del perfil en metros y la línea vertical representa la profundidad de investigación alcanzada. La resistividad eléctrica se representa en una escala de colores, desde resistividades muy bajas (menores que **10** Ohm.m en color azul oscuro) hasta muy altas (mayores que **200**

Ohm.m en color rojo oscuro). La interpretación se sustentó en información geológica, geotécnica, de pozos, etc.

4.2.6. MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS IN SITU

Se hicieron mediciones de temperatura, pH, salinidad y conductividad eléctrica con algunos equipos en diferentes cuerpos de agua (manantiales, ríos) para hacer un análisis y determinar la calidad de las aguas (**Foto 5**).

Conductividad: La conductividad se midió con un medidor de conductividad EC HANNA DiST 19.99 mS/cm calibrado. Con el mismo medidor se midió directamente la temperatura.

Salinidad: se utilizó un medidor de salinidad HANNA SALINTEST.

pH: se utilizaron 2 instrumentos; un medidor digital de pH Metro HANNA pHep y un medidor Thermo Scientific Orion 3 Star pH. Antes de la medición, el medidor de pH se calibra con tres soluciones de calibración.



Foto 5. Equipos para medir in situ parámetros físico-químicos.

4.2.7. MUESTREO DE AGUA PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO

Manantiales representativos con diferentes características y fácil acceso fueron seleccionados para el muestreo, también se tomaron muestras del río Sucio y de algunas quebradas en el área de investigación. En total se tomaron 9 muestras que se conservaron en botellas con 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) (**Foto 6**). Todas las muestras se colocaron en un termo con hielo inmediatamente después de llenadas las botellas. Estas botellas fueron llevadas al laboratorio del CIRA-UNAN/Managua, para los debidos análisis.



Foto 6. Muestreo de agua para análisis en el laboratorio.

CAPITULO V

5. RESULTADOS

5.1. CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA

5.1.1. CLIMATOLOGÍA

El clima es un conjunto de variables meteorológicas que caracterizan el estado medio de la atmosfera en un punto determinado en la superficie terrestre.

Se puede definir como el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizados por los estados de la atmosfera y la evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo y en un dominio espacial determinado.

Cada lugar de la superficie de la tierra presenta una interrelación entre la vegetación y el clima; es decir, el clima determina el desarrollo de diferentes tipos de vegetación y ésta a su vez establece el tipo de clima.

En general se considera un periodo mínimo de 10 años de datos para obtener las variables climatológicas de un área determinada. Pero en realidad, el rango de años necesarios variará según el parámetro que se esté evaluando, así, la variación de la presión es inferior a la de la precipitación. Por esta razón, con unos pocos años bastaría para calcular valores medios de la presión atmosférica, pero no para los de la precipitación, que es mucho más variable.

Los elementos climáticos que contribuyen directamente sobre los recursos de agua de un área dada son la precipitación y la evaporación, pero también existen otros factores como la temperatura, humedad relativa, brillo solar, radiación solar y velocidad del viento que intervienen sobre la evaporación y el uso consuntivo de las plantas; pero ellos no ejercen influencia directa sobre las disponibilidades del agua superficial o subterránea.

5.1.1.1. PRECIPITACIÓN

Uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico es la precipitación., puede calificarse el factor esencial pues constituye la materia prima del referido ciclo.

Cuando el agua, en estado líquido o sólido, llega a la superficie de la tierra se dice que ha precipitado. El vapor de agua contenido en la masa de aire, a consecuencia de los cambios de presión y temperatura y del movimiento de estas masas, ayudado, en ocasiones, por minúsculos núcleos de condensación y material sólido en suspensión, se reúnen en gotas de agua o en cristales de hielo y cae venciendo las resistencias que se le oponen, hasta llegar a la superficie terrestre.

La precipitación es un fenómeno de tipo discontinuo y por eso no se puede hablar de su variación diaria o anual del mismo modo que se ha hecho para otros elementos meteorológicos. Su distribución tanto en el espacio como en el tiempo es sumamente variable.

Para el estudio de los recursos hídricos de una región, se manejan datos de precipitaciones mensuales y anuales. En este caso se recurrió a los datos de precipitaciones de la estación ordinaria Santo Domingo (código 6107), utilizando el periodo de registro 1970 – 2011, es decir, 41 años. Como la serie pluviométrica de esta estación está incompleta, para completarla se utilizó la estación Juigalpa (código 69034), cuya serie pluviométrica está completa para el periodo antes mencionado (**Tabla 5-1**).

Tabla 5-1. Precipitaciones mensuales medias en Santo Domingo, Chontales (INETER, 2011).

Estación: SANTO DOMINGO Código: 6107 Años: 1970-2011 Parámetro: Precipitación (mm)				Latitud: 12° 15' 54" N Longitud: 85° 04' 36" W Elevación: 460 msnm Tipo: PV				UTM WGS84 1356603 N 709202 E				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Media	12.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26
Máxima	396.40	268.40	106.00	245.70	461.50	546.20	946.50	638.70	489.70	502.20	687.40	403.10
Mínima	13.50	6.00	1.00	0.80	28.50	104.50	170.90	70.20	16.40	28.90	16.50	10.70

El periodo de menor lluvia es el comprendido de enero a abril, siendo Enero el de menor precipitación, sin embargo, en este periodo el promedio es 71.46 mm que es un valor significativo en la recarga al sistema acuífero en la cuenca alta del Río Artiguas

(Figura 5-1). El periodo de mayor lluvia es el comprendido de mayo a diciembre, en este periodo el promedio es de 186 mm; alcanzando la máxima media mensual del periodo de registro en julio. Diciembre es el mes de transición entre los períodos estacionales verano e invierno.

El régimen de precipitación es unimodal puesto que en el periodo de registro utilizado, no es apreciable lo que se conoce como canícula o veranillo de San Juan (déficit de precipitaciones), fenómeno que se presenta entre mediados de julio y mediados de agosto. Si es necesario hablar de este fenómeno en la cuenca alta del Río Artiguas, únicamente es posible decir que se caracteriza por una disminución de precipitaciones en septiembre en comparación con las precipitaciones de agosto y octubre que son mayores. El régimen anual de las lluvias es afectado primordialmente por la posición geográfica y la altura del municipio.

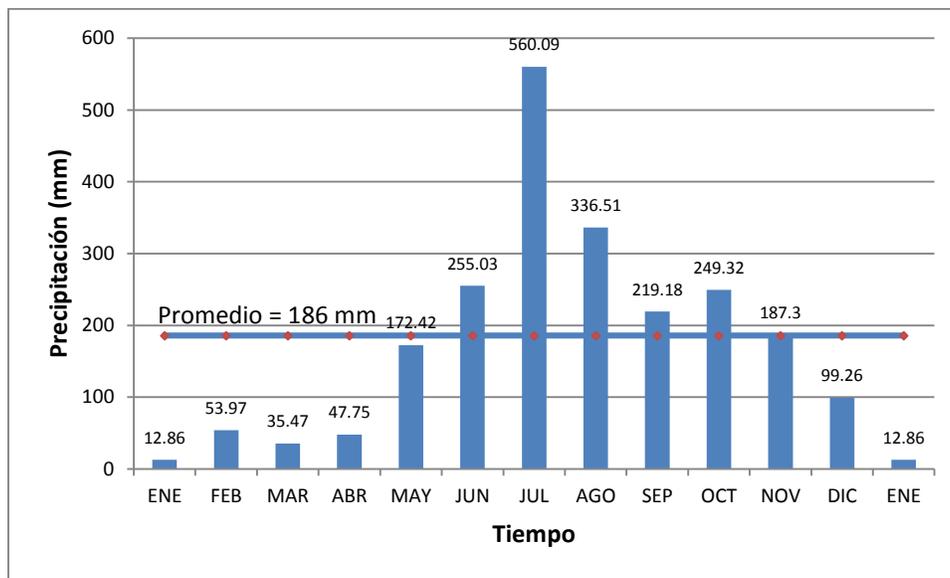


Figura 5-1. Precipitación media mensual para Santo Domingo, Chontales en periodo 1970 – 2011 en la cuenca alta del Río Artiguas. (INETER, 2011)

5.1.1.2. TEMPERATURA

La temperatura expresa numéricamente el efecto que en los cuerpos produce el calor originado por el balance entre la radiación recibida y la emitida. Importa, especialmente, la temperatura del aire en las inmediaciones de la superficie terrestre. El aire se calienta o

se enfría a partir del suelo por distintos métodos de transmisión y por los cambios de estado físico del agua atmosférica.

Respecto a la temperatura (**Tabla 5-2 y Figura 5-2**) se observa que aumenta de febrero a abril, los meses más calurosos son marzo, abril y mayo, teniendo su máximo en abril y disminuye de Junio a enero, siendo los meses más frescos de octubre a enero, registrándose la media mínima histórica en octubre.

Tabla 5-2. Temperaturas mensuales medias en Juigalpa, Chontales (INETER, 2011).

Estación: JUIGALPA/JUIGALPA Código: 69034 Años: 1970-2011 Parámetro: Temperatura media (°C)				Latitud: 12° 06' 00" N Longitud: 85° 22' 00" W Elevación: 90 msnm Tipo: PV				UTM WGS84 1338143 N 677759 E				
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Media	25.8	26.3	27.5	28.5	28.1	26.8	26.5	26.6	26.2	25.5	26.3	26.0
Máxima	27.4	28.3	29.0	30.1	29.8	28.3	27.4	27.7	27.7	27.4	27.3	27.2
Mínima	24.4	24.7	26.0	27.0	26.4	25.2	25.4	25.1	24.5	25.0	24.8	24.6

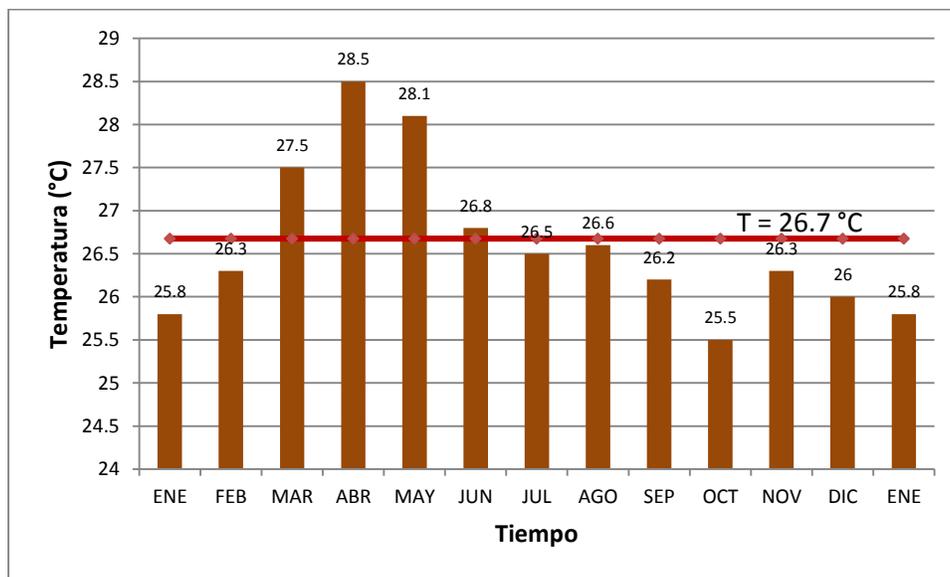


Figura 5-2. Temperatura media mensual para Santo Domingo Chontales en periodo 1970 – 2011 (Estación Juigalpa) en la cuenca alta del Río Artiguas. (INETER, 2011)

5.1.1.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es el cambio del estado líquido al estado gaseoso del agua, la transpiración es esencialmente el mismo fenómeno, pero se efectúa a través del sistema circulatorio de las plantas que a su vez toman agua de una parte del suelo edafológico o conocido como el proceso de la fotosíntesis. En las áreas revestidas por la vegetación se concentran estos dos conceptos de modo que la separación cuantitativa de los dos procedimientos es habitualmente imposible; por ende, la evapotranspiración es un fenómeno físico que suma el de evaporación del agua del suelo, de las trayectorias de agua superficiales, de los embalses y de los lagos, y, el de la transpiración del agua de la zona vegetal. La unidad empleada para la evapotranspiración es milímetro de altura de agua, al igual que la lluvia, y que equivale a 1L/m² o a 10 m³/ha.

(Thornthwaite, 1948) denominó Evapotranspiración Potencial (ETP) a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. Por el contrario, la Evapotranspiración Real (ETR) es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso. Es evidente que $ETR < ETP$.

Numerosas fórmulas permiten evaluar la ETP con una aproximación suficiente para muchos estudios hidrológicos. Normalmente con estas fórmulas se calcula la ETP mes a mes para datos medios de una serie de años.

En este caso, el cálculo de la ETP se hizo mediante una hoja de cálculo Excel basada en la fórmula de Thornthwaite con los datos de entrada de las temperaturas medias mensuales medidas en la estación Juigalpa en Chontales y del número teórico de horas de sol para la latitud 12° norte a la que se encuentra la ciudad Santo Domingo,

(Tabla 5-3).

Tabla 5-3. Número máximo de horas de sol a una latitud de 12° 15' 54" N.

Lat.N.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
14°	11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2
12°	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3
10°	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4

Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56
[http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents12° 15' 54" N](http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents12° 15' 54)

El cálculo de la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite sigue la siguiente secuencia (Tabla 5-4):

- 1) Se calcula un índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media mensual (t):

$$i = (t/5)^{1.514}$$

- 2) Se calcula el índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i .

$$I = \sum i$$

- 3) Se calcula la ETP mensual sin corregir mediante la fórmula:

$$ETP_{\text{sin corregir}} = 16(10t/I)$$

Donde:

$ETP_{\text{sin corregir}}$ = ETP mensual en mm/mes, para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

t : temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)

I : índice de calor anual, obtenido en 2)

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0.49239$$

- 4) Corrección para el n° de días del mes y el n° de horas de sol:

$$ETP = ETP_{\text{sin corregir}} N d / 1230$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial corregida

N : número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

d : número de días del mes

Tabla 5-4. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) mediante la fórmula de Thornthwaite.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Temp	25.8	26.3	27.5	28.5	28.1	26.8	26.5	26.6	26.2	25.5	26.3	26	
i	11.99	12.35	13.21	13.94	13.65	12.70	12.49	12.56	12.28	11.78	12.35	12.13	151.44
ETP sin corr.	120.0	129.1	152.8	174.9	165.8	138.6	132.8	134.7	127.2	114.8	129.1	123.6	
No. días mes	30	31	30	31	31	28.3	31	30	31	30	31	31	
No. horas luz	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	
ETP corr.	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5

$$A = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.01792 * I + 0.49239 = 3.782$$

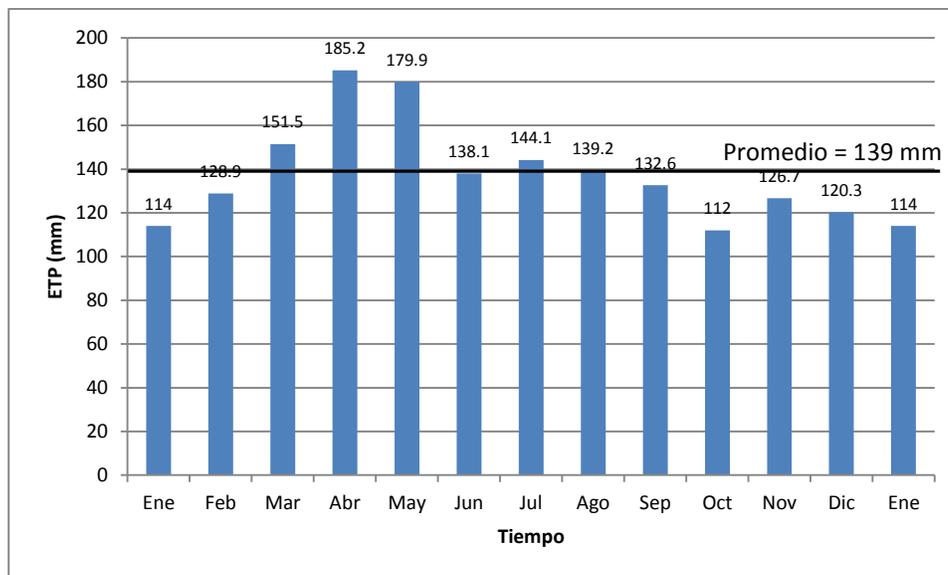


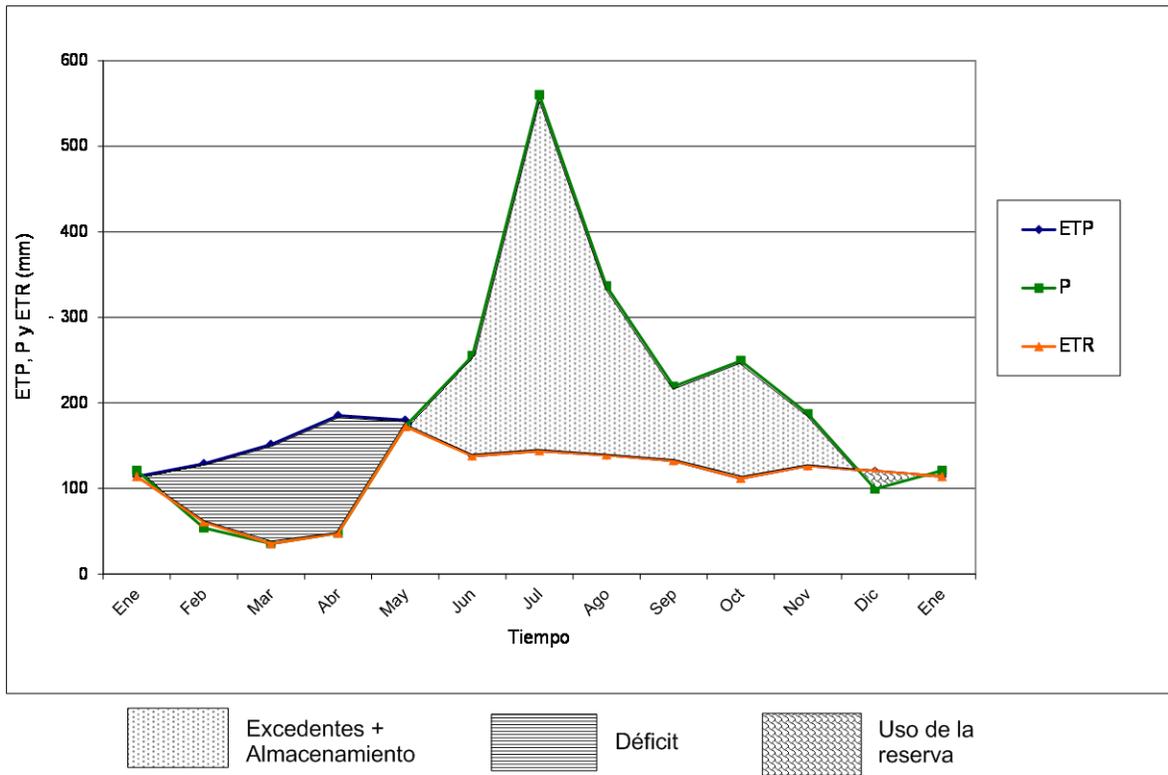
Figura 5-3. Evapotranspiración potencial media mensual en el periodo 1970-2011 en la cuenca alta del Río Artiguas. Santo Domingo, Chontales (INETER, 2011).

Basados en los resultados obtenidos de los valores de ETP corregida, y considerando las precipitaciones medias mensuales para el área de estudio, se calculó el balance del recurso hídrico mes a mes para la cuenca alta del Río Artiguas, el cual es mostrado en la **Tabla 5-5**.

Tabla 5-5. Balance del Recurso Hídrico de la cuenca alta del Río Artiguas

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Total
ETP corr.	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	114.0	1672.5
P	120.9	54.0	35.5	47.8	172.4	255.0	560.1	336.5	219.2	249.3	187.3	99.3	120.9	2337.3
ETR	114.0	60.9	35.5	47.8	172.4	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	114.0	1343.5
Déficit	0.0	68.0	116.0	137.4	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	329.0
Reserva	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	29.0	6.9	
Excedentes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.9	416.0	197.3	86.6	137.3	60.6	0.0	0.0	964.8

La evapotranspiración potencial (ETP) en la cuenca alta del Río Artiguas, aumenta considerablemente de febrero a mayo en el periodo 1970 – 2011, periodo en el que las precipitaciones disminuyen considerablemente, disminuyendo por tanto la recarga de agua subterránea. La ETP desciende significativamente de junio a febrero.



ETP: Evapotranspiración Potencial; P: Precipitación; ETR: Evapotranspiración Real
Figura 5-4. Balance mes a mes del recurso hídrico en la cuenca alta del Río Artiguas.

De la **Figura 5-4** y **Tabla 5-5**, se deduce que en la cuenca alta del Río Artiguas no debería haber problemas de abastecimiento de agua de junio a enero y usar alternativas de abastecimiento de febrero a mayo.

5.1.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Es un aspecto básico para la toma de decisiones en las cuencas hidrográficas. La hidrología es la ciencia que estudia el agua en la tierra, su distribución, propiedades físicas y químicas, sus movimientos y transformaciones, así como su relación con el medio ambiente y con los seres vivos. Tiene una estrecha relación con otras ciencias básicas tales como la física, la química, la biología, la geología, la mecánica de los fluidos, las matemáticas y la estadística. Atraviesa el dominio de la meteorología y climatología.

5.1.2.1. CUENCA HIDROGRAFICA

La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve.

5.1.2.2. CARACTERIZACION FISICA DE LA CUENCA

Regionalmente, la cuenca del Río Artiguas se localiza dentro de la Cuenca Hidrográfica No. 61, la que es controlada por el río Escondido que capta las aguas de dos afluentes principales: Río Mico y río Siquia.

Este estudio se realizó en la cuenca alta del Río Artiguas, para lo cual ha sido subdividida en trece (13) subcuencas: Quebrada Alegre, El Cedro, El Tamagás, El Paraíso, El Divisadero, Peña Blanca, El Cuatro, Buena Vista, Galilea 1, Galilea 2, Galilea 3, Quebrada Alegre 1 y Quebrada Alegre 2 (**Figura 5-5**).

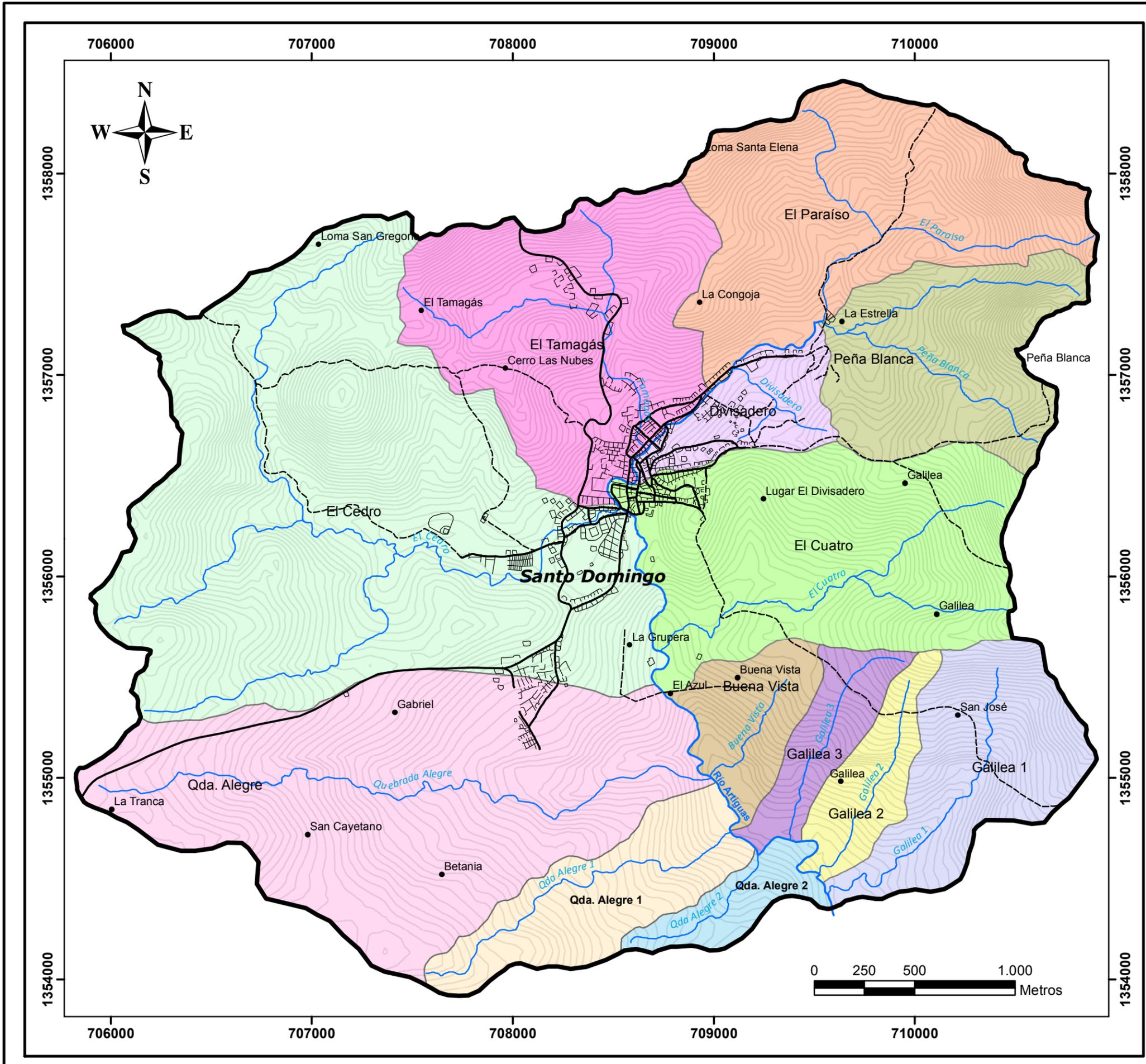


Foto: Vista Panorámica de la Cuenca Alta del Río Artiguas.

Simbología

	Divisoria		Carretera Secundaria
	Pueblos		Ríos Permanentes
	Ciudad		Ríos Secundarios
	Carretera Principal		Curvas de nivel

Subcuencas

	Subcuenca Qda. Alegre 2		Subcuenca Galilea 2
	Subcuenca Qda. Alegre 1		Subcuenca Galilea 1
	Subcuenca Qda. Alegre		Subcuenca El Tamagás
	Subcuenca Peña Blanca		Subcuenca El Cuatro
	Subcuenca El Paraíso		Subcuenca El Cedro
	Subcuenca Galilea 3		Subcuenca Divisadero
			Subcuenca Buena Vista

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Subcuencas de la Cuenca Alta del Río Artiguas
"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20 000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-5

Existen cursos de agua de régimen permanente e intermitente que escurren de forma dendrítica. El cauce de mayor importancia corresponde al Río Artiguas o Sucio, que nace al norte del casco urbano. Los cursos tributarios menores son de primer y segundo orden, de corta longitud, de pendiente pronunciada, con regímenes de caudales turbulentos, crecen rápidamente durante las lluvias y mantienen un caudal base una vez que ha cesado el evento. El sistema de drenaje es de tipo dendrítico, presenta una densidad alta y por las condiciones topográficas, geológicas y climáticas los ríos principales escurren de forma permanente.

Desde la salida de la cuenca alta del Río Artiguas, aguas arriba hasta cerca de la desembocadura de El Tamagás, el cauce principal del Artiguas tiene una dirección ligeramente noroeste – sureste y de aquí hasta la confluencia de las quebradas Peña Blanca – El Paraíso es de dirección noreste – suroeste. El flujo superficial preferencial es de oeste a este, de norte a sur y de noreste a suroeste, canalizándose por el cauce principal hacia el sur en la salida de la cuenca. La corriente principal de la cuenca en estudio es el Río Artiguas que pasa por la salida ubicada en la parte más baja de la misma. Las demás corrientes llamadas tributarias de la cuenca alta constituyen las correspondientes subcuencas.

El orden de corrientes se determinó por el método de ordenamiento de ríos de Horton, modificado por (Strahler, 1964). El método plantea que una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una corriente de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden. Dos corrientes de orden 2 dan origen a una corriente de orden 3, dos corrientes de orden 3 dan origen a una de orden 4, etc., pero, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida; así, el orden de la cuenca alta del Río Artiguas es 5 (**Figura 5-6**). Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.

El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. En este caso, 5 corresponde a un orden de corriente alto, que se corresponde con una densidad elevada de corriente o de drenaje, reflejando que la cuenca está altamente disectada, es decir, que responde rápidamente a una tormenta.

También, este valor indica que los suelos en la cuenca alta del Río Artiguas, no se erosionan fácilmente y son relativamente permeables, las pendientes son medias y la cobertura vegetal no es escasa ni abundante.

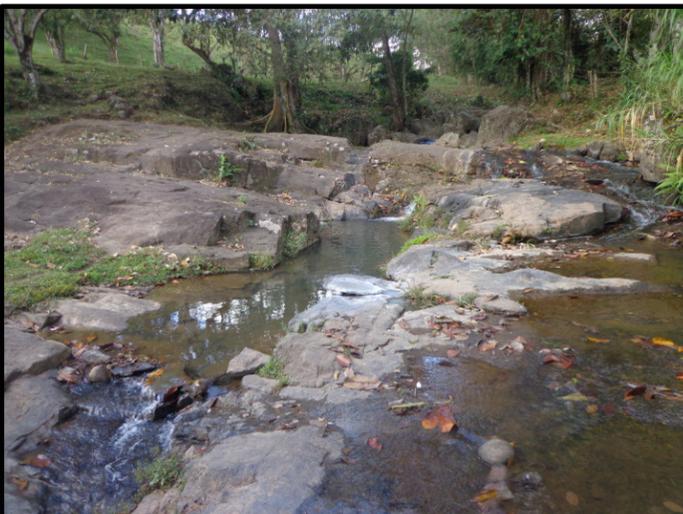
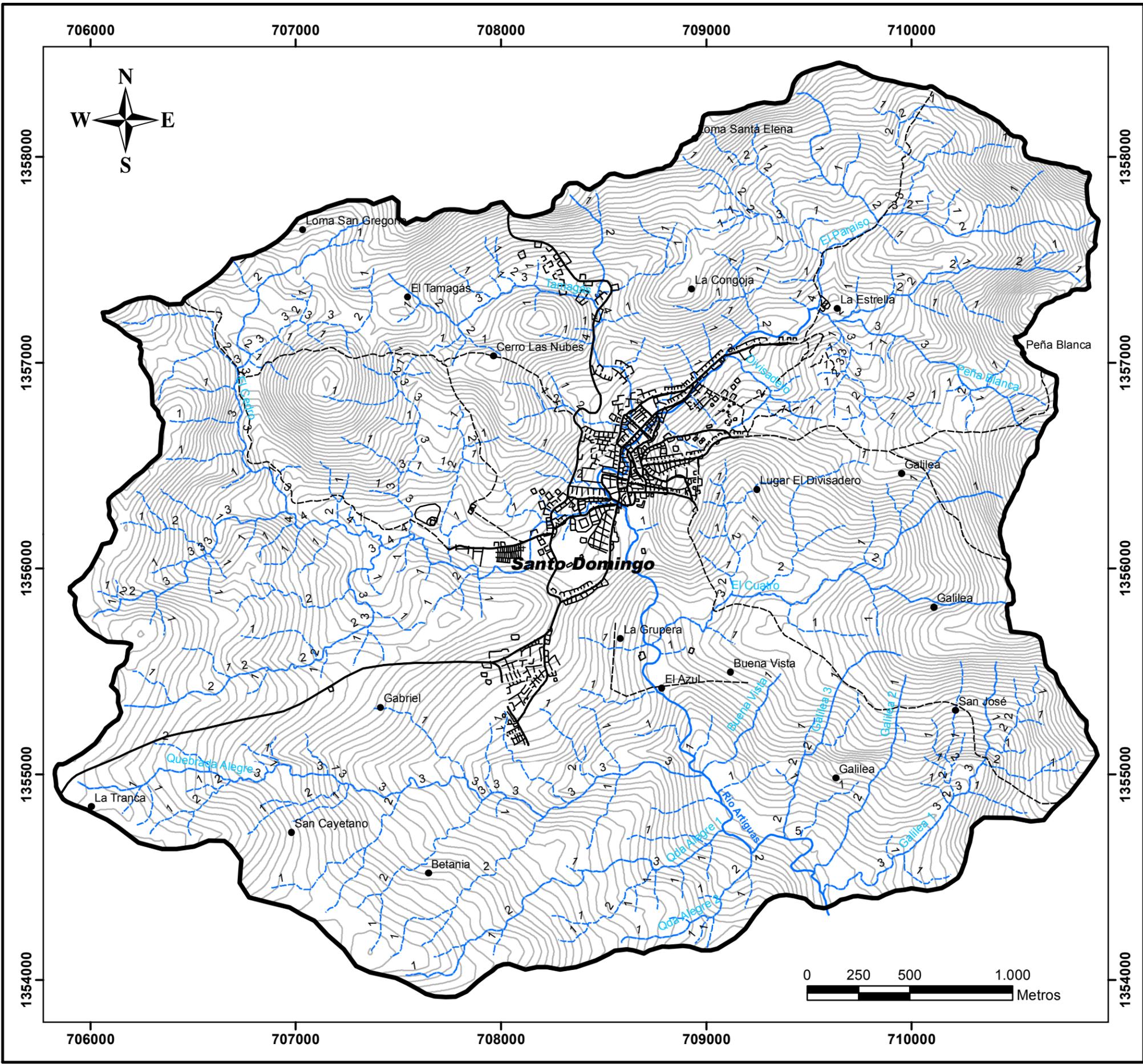


Foto: Vista Panorámica del Drenaje del Río Artiguas.

Simbología

Divisoria	Carretera Secundaria
Pueblos	Ríos Permanentes
Ciudad	Ríos Secundarios
Carretera Principal	Curvas de Nivel

Ordenes de Corriente

1 Primer Orden	3 Tercer Orden
2 Segundo Orden	4 Cuarto Orden
5 Quinto Orden	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Orden de Corrientes de la Cuenca Alta del Río Artiguas
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-6

Uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal. La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.

Es decir, $m = \Delta H/L$, con ΔH en msnm y L en kilómetros (Tabla 5-6).

Otros indicadores no menos importantes son la máxima profundidad y ancho de los cauces, información que se utiliza específicamente en el análisis de inundaciones y para diseño de obras hidráulicas.

Tabla 5-6. Características principales de la cuenca y subcuencas.

No. Subcuenca	Nombre de la Subcuenca	Orden de la corriente	Longitud L (km)	Altura (msnm)		Pendiente S (%)	Área (km ²)
				Min.	Max.		
	*Río Artiguas	5	6.602	380	670	0.044	16.374
1	Quebrada Alegre	3	3.671	395	660	0.072	2.627
2	Quebrada El Cedro	4	4.250	505	675	0.039	4.278
3	Quebrada La Liona	3	2.040	520	665	0.069	0.730
4	Quebrada El Tamagás	4	2.074	505	660	0.075	1.638
5	Quebrada El Paraíso	4	1.756	535	705	0.097	1.421
6	Quebrada Peña Blanca	4	1.472	535	690	0.105	1.020
7	Quebrada El Cuatro	3	2.259	440	725	0.126	1.812
8	Quebrada Alegre 1	3	2.029	300	595	0.145	0.696
9	Quebrada Alegre 2	2	0.902	385	485	0.111	0.244
10	Quebrada Buena Vista	1	0.708	395	495	0.141	0.387
11	Quebrada Galilea 1	2	1.807	375	580	0.113	0.086
12	Quebrada Galilea 2	2	1.144	375	565	0.166	0.332
13	Quebrada Galilea 3	2	1.225	385	575	0.155	0.317

5.1.2.3. ANALISIS DE CAUDALES

5.1.2.3.1. AFOROS EN RIOS

Es necesario medir la cantidad de agua de las fuentes, para saber la cantidad de población para la que puede alcanzar. El aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado, esto es, el caudal que pasa por una sección de un curso de agua. El valor del caudal mínimo debe ser mayor que el consumo máximo diario con la finalidad de cubrir la demanda de agua de la población futura.

El régimen de un río se controla mediante aforos en un punto del río (**Foto 7**), realizando medidas directas de la velocidad del flujo superficial para estimar el caudal (Q) circulante a partir del producto de la velocidad (v) del agua y de la sección (A) delimitada por el perímetro mojado.

$$Q=v*A$$

Donde,

Q: caudal circulante en el cauce del río.

v: velocidad de la corriente en el cauce del río.

A: área del perímetro mojado en el cauce del río.

En esta investigación, los caudales Q en la salida de ríos o quebradas en la cuenca alta del Río Artiguas, se midieron mediante aforos directos con un molinete Modelo FP111, Global Water (**Foto 7**) que mide la velocidad del flujo de agua. Esta información es muy importante para la estimación del balance hídrico y la disponibilidad del recurso para los diversos usos.

El molinete normalmente lleva integrado estabilizadores, de tal manera que permanece estable en el punto de medida y siempre de cara al flujo de agua en el río. Su posición en el cauce se conoce en todo momento por las coordenadas del punto en que se encuentra, referidas generalmente a la orilla y a la superficie del agua en el río. Estas coordenadas

son proporcionadas directamente por el instrumental asociado al aparato de medida o a la medición.

Los aforos se realizaron entre el 5 y el 11 de Enero del 2015, en tiempo lluvioso, ya que aún no ha terminado el periodo húmedo, considerando que los resultados son mayores que el correspondiente a un tiempo sin lluvia (**Figura 5-7**).

Para el periodo seco comprendido entre mediados de Febrero y mediados de Mayo, estos caudales pueden reducirse en un 40 % (Hydro-Geo, 2012). Sin embargo, seguirán canalizando las aguas que brotan de manantiales permanentes y de la recarga constante desde los acuíferos que los convierte en quebradas con flujo permanente. Los caudales estimados a partir de los aforos se muestran en la (**Figura 5-8**) y en el **Anexo A**.



a)

b)

Foto 7. a) Medición de la velocidad del flujo de agua con un molinete. b) Medición de la geometría de la sección transversal del perímetro mojado de un río.

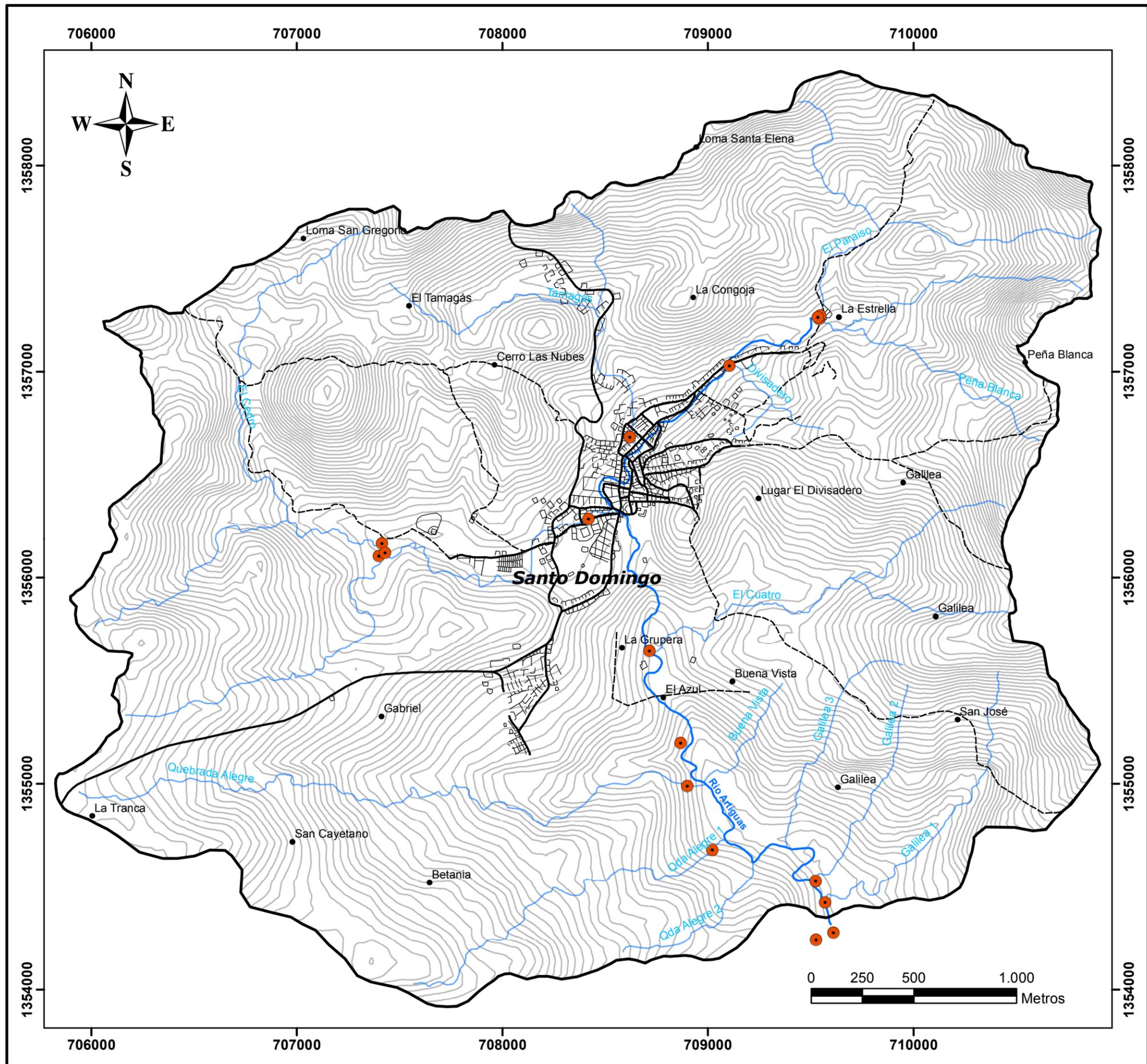


Foto: Aforo en la Confluencia de las Quebradas Peña Blanca - El Paraíso.

Simbología

- Divisoria
- Aforos
- Pueblos
- Ciudad
- Carretera Principal
- Carretera Secundaria
- Ríos Permanentes
- Ríos Secundarios
- Curvas de nivel

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Localización de Pruebas de Aforos
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-7

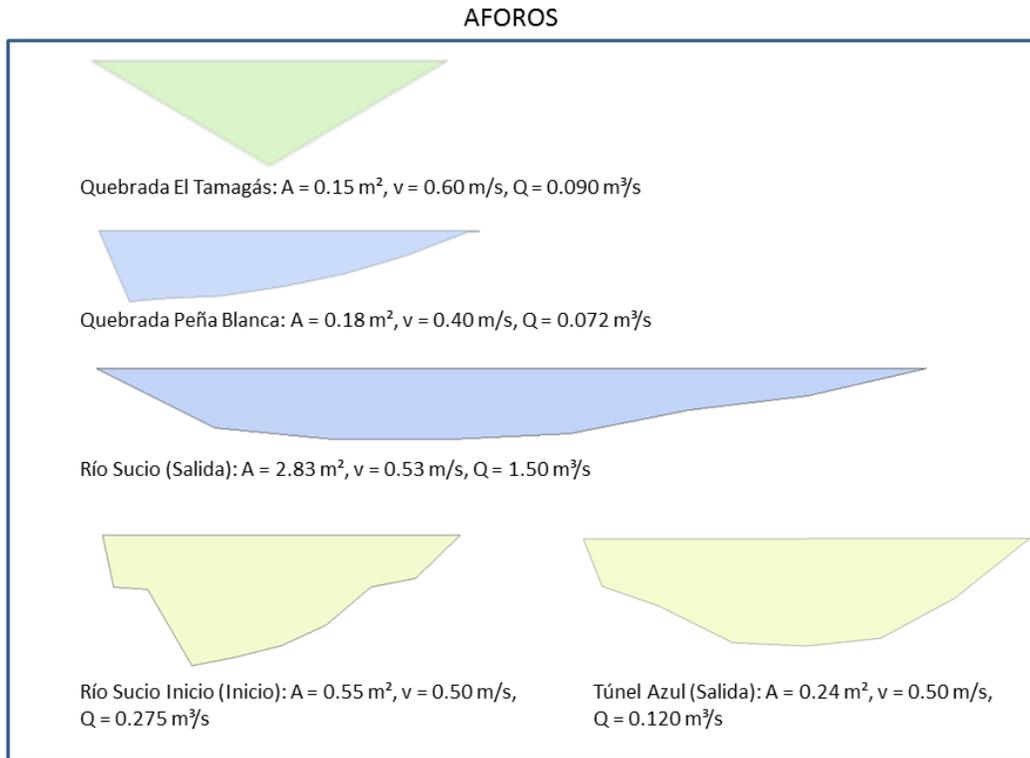


Figura 5-8. Resultados de aforos en la cuenca alta del Río Artiguas.

El tiempo de concentración t_c de una cuenca, se refiere al tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto o caudal de equilibrio, es decir, equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. Naturalmente, este tiempo depende de la longitud máxima L que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca considerada y de la velocidad que adquiere, en promedio, dentro de la misma. Esta velocidad está en función de las pendientes del terreno y los cauces y de la rugosidad de la superficie de los mismos. En esta investigación se estima el tiempo de concentración mediante la fórmula de Kirpich representada por la ecuación

$$t_c = 0.000325(L^{0.77} / S^{0.385})$$

Donde S es la pendiente del cauce principal, L se expresa en metros y t_c resulta en hora (Tabla 5-7). Según este método de cálculo, el tiempo de concentración para la cuenca alta del Río Artiguas es de 57 minutos.

Tabla 5-7. Características principales de aforos en la cuenca alta del Río Artiguas.

Quebrada	Código	Coordenadas UTM WGS 84		Altura (msnm)	V (m/s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	Tc (horas)
		Este (m)	Norte (m)					
*Río Sucio (Salida)	A-RSs	709630	1354277	388	0.53	2.83	1.500	0.94
**Río Sucio (Inicio)	A-RSi	709537	1357276	465	0.50	0.55	0.275	
Quebrada Alegre	A-QA	708937	1354987	440	0.40	0.71	0.280	0.50
Quebrada El Cedro	A-QEC	708451	1357178		1.00	0.32	0.320	0.70
Quebrada El Tamagás	A-ET	708621	1356684	456	0.60	0.15	0.090	0.32
Quebrada El Paraíso	A-EP	709534	1357280	464	0.50	0.35	0.175	0.25
Quebrada Peña Blanca	A-PB	709546	1357267	463	0.40	0.18	0.072	0.21
Quebrada El Cuatro	A-EC	708719	1355646	472	0.70	0.15	0.105	0.28
Quebrada Alegre 1	A-QA1	709027	1354683	444	1.00	0.03	0.030	0.24
Quebrada Alegre 2								0.14
Quebrada Buena Vista								0.11
Quebrada Galilea 1	A-GA1	709568	1354425	380	0.19	0.16	0.030	0.24
Quebrada Galilea 2	A-GA2	709521	1354511	380	0.20	0.04	0.076	0.15
Quebrada Galilea 3								0.16
El Divisadero	A-ED	709102	1357019	460	0.40	0.04	0.014	0.12
El Túnel Azul	A-TAZ	708862	1355202	441	0.50	0.24	0.120	

V: velocidad del flujo de agua.

A: área de la sección transversal o perímetro mojado donde se realiza el aforo.

Q: caudal estimado

Tc: tiempo de concentración

S: pendiente

*: La salida de cuenca alta del Río Artiguas

** : Inicio del Río Artiguas

A la fecha de los aforos, el caudal medido en la salida de la cuenca alta del Río Artiguas es 1.50 m³/s. En la confluencia de las quebradas El Paraíso – Peña Blanca (Río Sucio inicio) el caudal medido es 0.275 m³/s, que prácticamente es el caudal que aportan las mencionadas subcuencas. En el tramo Río Sucio inicio – Río Sucio salida, el aporte subterráneo y superficial proveniente del resto de subcuencas es de 1.225 m³/s. Parte de este caudal proviene del agua subterránea medido en la salida del Túnel Azul (0.120 m³/s).

En orden de importancia, los mayores caudales superficiales medidos en la presente investigación corresponden a las subcuencas El Cedro, Quebrada Alegre y el Paraíso (**Tabla 5-7**). Por tanto, es posible considerarlos como alternativas para proyectos de abastecimiento de agua a la población urbana y suburbana de Santo Domingo Chontales.

5.1.2.3.2. AFOROS EN MANANTIALES

Prysa Water Engineering, en noviembre del 2011 realizó la medición de caudales en los manantiales en el área de estudio. Cada uno de los manantiales se aforó mediante el método volumétrico (**Tabla 5-8**).

- Manantial La Estrella
- Manantial La Liona
- Manantial Peña Blanca
- Manantial Los Cedros
- Manantial Los Cilindros
- Manantial La Chispa
- Manantial El Tamagás

Manantial La Estrella: localizado en el sector de La Máquina y perteneciente al Sr. Antonio Rocha. Este manantial tiene una cuenca de drenaje de 3.5 km², con un régimen de escurrimiento permanente que forma parte de la red de drenaje del Rio El Paraíso, que a su vez es un tributario del Rio Artiguas. El manantial está constituido por 3 afluentes, los cuales fueron aforados separadamente.

Manantial La Liona: ubicado en el sector noreste de la ciudad de Santo Domingo, pertenece al Sr. Reynaldo Miranda y tiene una cuenca de drenaje de 1.2 km², con un régimen de escurrimiento es permanente.

Manantial Peña Blanca: ubicado contiguo al estadio en el sector noreste de la ciudad Santo Domingo, contiguo a la Peña Blanca. Este manantial baja hacia el sector de la Máquina y está dentro de la propiedad del Sr. Hernaldo Lazo. Tiene una cuenca de drenaje de 1.7 km² y compuesto de dos afluentes que fueron aforados.

Manantial Los Cedros: ubicado en el sector noroeste de la ciudad Santo Domingo. Está dentro de la propiedad del Sr. Reynaldo Miranda, con una microcuenca de drenaje de 2.2 km².

Manantial Los Cilindros: ubicado 2.3 km al norte de la ciudad Santo Domingo dentro de las propiedades de Mario y Epifanía Lazo. De buen caudal y conformado por tres afluentes. Este manantial tiene una microcuenca de 5.5 km², con un régimen de escurrimiento permanente, formando parte de la red de drenaje del Río El Cilindro, que a su vez es tributario del Río Artiguas.

Manantial La Chispa: ubicado 3.5 km al noroeste de la ciudad de Santo Domingo, con buen caudal y conformado por cuatro afluentes que están ubicados dentro de la propiedad del Sr. Juan Domingo Oporta. Este manantial tiene una microcuenca de drenaje de 6.8 km².

Manantial El Tamagás: se encuentra 1.5 km al norte de la ciudad de Santo Domingo, en la propiedad de la Sra. Marisol Guido y con una microcuenca de drenaje de 1.5 km².

Tabla 5-8. Inventario de manantiales en la cuenca alta del Río Artiguas. (Prysa, 2011)

Descripción	Coordenadas (UTM)		Elevación (msnm)	Parámetros Químicos		Caudal		
				pH	t°	Conduct.	Litros/segundos	G.P.M
	Este	Norte						
LA ESTRELLA								
Manantial No.1	709842	1357689	565	8.8	22.8	70	11.67	185.04
Manantial No.2	709842	1357689	565	8.0	23.5	70	30.52	483.88
Manantial No.3	709558	1357549	547	8.3	24.4	70	10.62	168.36
Total de caudales							53.87	853.70
LA LIONA								
Manantial No.1	707553	1356287	527	8.0	24.0	70	14.08	223.30
Total de caudales								
PEÑA BLANCA								
Manantial No.1	710139	1356981	607	8.0	23.2	70	7.05	111.82
Manantial No.2	709637	1357190	541	8.2	23.0	70	20.08	318.29
Total de caudales							27.13	430.12
EL CEDRO								

Manantial No.1	706931	1356378	559	8.1	23.0	70	33.89	537.19
Total de caudales							33.89	537.19
LOS CILINDROS								
Manantial No.1	710723	1359530	413	8.5	23.3	70	72.96	1387.79
Manantial No.2	710732	1359512	415	8.4	23.3	90	17.79	338.37
Manantial No.3	709255	1360755	314	8.2	25.10	80	17.03	270.00
Total de caudales							107.78	1.996.16
LA CHISPA								
Manantial No.1	706077	1358741	331	8.2	23.0	70	137.30	2.176.47
Manantial No.2	706238	1358831	341	8.3	23.5	70	13.12	208.20
Manantial No.3	706666	1358839	347	8.3	23.5	70	11.47	181.83
Manantial No.4	706805	1358834	358	8.3	23.0	70	4.06	64.36
Total de caudales							165.96	2.630.86
EL TAMAGAS								
Manantial No.1	707990	1357316	588	8.1	23.5	60	13.33	211.32
Total de caudales							13.33	211.32

5.1.3. BALANCE HIDRICO

El establecimiento del balance hídrico, así como su cuantificación rigurosa, es uno de los aspectos más importantes en cualquier trabajo de hidrología subterránea. Para elaborarlo, es imprescindible asimismo aclarar el modelo conceptual sobre el funcionamiento del sistema objeto de estudio: por dónde entra el agua, por dónde sale, cómo circula, sus límites hidrológicos, qué interacciones sufre, etc. A continuación se describen las bases conceptuales para la determinación de un balance hídrico.

El planteamiento y cálculo del balance hídrico siempre es un buen método para contrastar la coherencia entre el funcionamiento del sistema y el modelo conceptual de la zona de estudio, modelo que previamente debe estar suficientemente consolidado, aceptando los márgenes de error habituales en este tipo de estudios.

De hecho cabe considerar el establecimiento del balance como un ejercicio con aproximaciones sucesivas de los valores de las distintas variables para el cálculo de las entradas y salidas del sistema, a fin de obtener el mejor ajuste posible.

5.1.3.1. DEFINICIÓN DE BALANCE HÍDRICO

Este consiste en aplicar el principio de la conservación de la masa, aunque en este caso se calcula en volumen, ya que a efectos de este balance las densidades se pueden considerar siempre constantes. Este principio se aplica a una región definida por unas determinadas condiciones de contorno y para un determinado período de tiempo. Se establece que la diferencia entre las entradas y las salidas del sistema que se ha definido, es igual a la variación de almacenamiento, es decir, debe existir una igualdad entre las entradas menos las salidas y las variaciones de agua almacenada en el sistema definido, positivas o negativas.

Así, un balance hídrico siempre responde a una ecuación de tipo:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{Variación del almacenamiento} \pm \% \text{error}$$

5.1.3.2. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE BALANCE HÍDRICO.

- ✓ **Evaporación:** es el resultado del proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando, directamente, a la atmósfera en forma de vapor. También el agua en estado sólido nieve, hielo, etc. puede pasar directamente a vapor y el fenómeno se llama sublimación, A efectos de estimar las pérdidas por evaporación en una zona, el término se entenderá en sentido amplio, incluyendo la sublimación.
- ✓ **Transpiración:** es el resultado del proceso físico-biológico, por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la atmósfera.
- ✓ **Evapotranspiración:** es el resultado del proceso por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente, o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, es decir, la evapotranspiración no es un fenómeno distinto a lo descritos en lo anterior, sino la suma de evaporación y transpiración, y

el término, sólo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación.

- ✓ **Condensación:** se denomina al proceso en el cual se produce el cambio de estado de la materia que se encuentra en estado gaseoso y pasa a estado líquido. El proceso de condensación suele tener lugar cuando un gas es enfriado hasta su punto de rocío, sin embargo este punto también puede ser alcanzado variando la presión.
- ✓ **Precipitación:** es el conjunto de las aguas meteóricas recogidas sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. (también rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la presión total).
- ✓ **Intercepción:** proceso por el cual la precipitación es detenida y retenida por la vegetación y estructuras, precipitación que se pierde por evaporación y transpiración antes de penetrar en el suelo.
- ✓ **Almacenamiento:** Se define como el almacenamiento de agua que existe en las depresiones de terreno.
- ✓ **Escorrentía:** es la circulación libre del agua de lluvia sobre las superficies y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial está en función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.
- ✓ **Infiltración:** se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo.
- ✓ **Percolación:** se refiere al paso lento de fluidos a través de los materiales porosos.
- ✓ **Filtración:** Movimientos y paso de agua alrededor de estructuras geológicas.

La necesidad de conocer el potencial de aguas subterráneas para ser explotadas mediante pozos u otras obras de captación, conlleva a estimar la recarga de los acuíferos en proyectos de evaluación de las aguas subterráneas, es decir, es necesario realizar estudios tendientes a establecer dicha recarga con base en la distribución de precipitación y coeficientes de infiltración en los suelos de áreas objetos de estudio.

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan: la precipitación mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente. Determinados los valores anteriormente mencionados, se puede evaluar la infiltración mediante la ecuación presentada por (Schosinsky & Losilla, 2000).

Conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo de la superficie de suelo analizado. Para poder realizar el balance, se determinan: la infiltración de lluvia que penetra al suelo, la cobertura vegetal del suelo, la profundidad de las raíces extractoras del agua, la capacidad de campo, el punto de marchitez del suelo, la evapotranspiración potencial y la humedad del suelo al inicio del análisis.

El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero que se encuentra ubicado debajo del suelo. En el gráfico siguiente se ilustra los procesos que ocurren durante la recarga de los acuíferos (**Figura 5-9**).

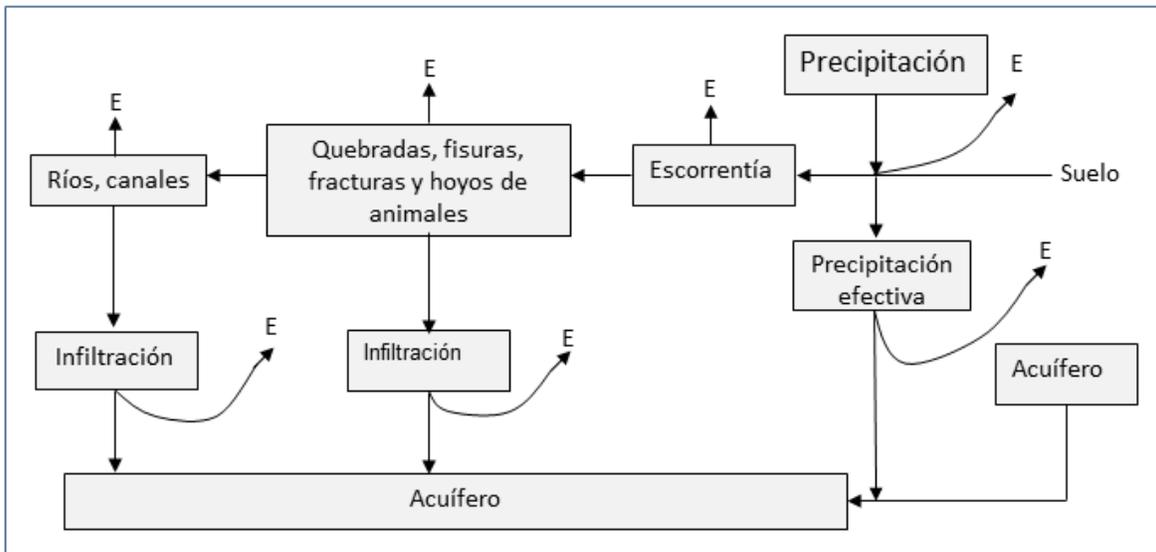


Figura 5-9. Procesos de recarga de los acuíferos

5.1.3.3. CALCULO DE LA RECARGA POR LLUVIA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO ARTIGUAS.

El método consiste en una metodología y un modelo, con el propósito de determinar la recarga potencial al acuífero (R_p) mediante un balance de suelos. Una de las ventajas de dicha metodología es que considera varias variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual (P), la retención pluvial (Ret), la capacidad de infiltración de los suelos (f_c) y sus características, la cobertura vegetal (K_v), profundidad de raíces (PR), evapotranspiración real (ETR), uso del suelo y pendiente del terreno (K_p) entre otras variables.

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

Donde:

R_p : Recarga potencial

P_i : Precipitación que infiltra

H_{Si} : Humedad de suelo inicial

H_{Sf} : Humedad de suelo final

ETR : Evapotranspiración real

5.1.3.4. PRECIPITACIÓN

El parámetro de precipitación se calculó a partir de los datos de la estación Santo Domingo, que se ubica cerca del área de estudio.

Para el cálculo del balance hídrico de suelos se utiliza una precipitación de 2337.16 mm que corresponde al total de la suma de los promedios mensuales en un período de 41 años medidos en la estación Santo Domingo (**Tabla 5-9 y Tabla 5-1**).

Tabla 5-9. Variables climáticas principales consideradas en el balance hídrico de suelos en la cuenca alta del Río Artiguas.

MES	PRECIPITACIÓN [mm]	ETP [mm]	Temperatura °C
Enero	120.86	114.0	25.8
Febrero	53.97	128.9	26.3
Marzo	35.47	151.5	27.5
Abril	47.75	185.2	28.5
Mayo	172.41	179.9	28.1
Junio	255.04	138.1	26.8
Julio	560.09	144.1	26.5
Agosto	336.51	139.2	26.6
Septiembre	219.18	132.6	26.2
Octubre	249.32	112.0	25.5
Noviembre	187.30	126.7	26.3
Diciembre	99.26	120.3	26.0
Total	2337.16	1672.5	26.68

P: Precipitación estimada en la estación Santo Domingo.

T: Temperatura medida en la estación Juigalpa.

ETP: Evapotranspiración estimada por el método de Thornthwaite para la estación Santo Domingo.

5.1.3.5. ESCORRENTIA

La topografía del área de estudio presenta características de pendiente mayor al 7 %, lo que nos podría hacer pensar que la escorrentía superficial es de baja a moderada, de ser así, esto implicaría que el agua llovida no se almacena en depresiones o charcos por mucho tiempo, lo cual no favorece la infiltración, aunque no existan suelos arcillosos de baja capacidad de infiltración.

Para el balance hídrico de suelos se ha usado un valor de escorrentía (K_p) variable. Además las condiciones de pendientes moderadas sugieren que no toda la precipitación que llega al suelo se infiltra, sin embargo, en las ecuaciones de balance hídrico de suelos no se toma en cuenta el agua que se almacena en charcos y este fenómeno es común en el área de estudio.

Dadas las texturas de los suelos en superficie, generalmente arcillosos, es difícil que toda la precipitación que llega al suelo sea infiltrada. Por observaciones de campo se sabe que mucha de esa agua queda en charcos una vez que el suelo está saturado y se llega a evaporar. En el área, la escorrentía finalmente se canaliza a través del sistema de drenaje natural.

5.1.3.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se utilizaron los datos de evapotranspiración promedio mensual calculados por el IGG-CIGEO, 2015 (**Tabla 5-9 y Tabla 5-4**). Estos datos están basados en parámetros medidos por la estación completa Juigalpa (69034). La ETP se calculó utilizando la fórmula de Thornthwaite.

5.1.3.7. CAPACIDAD DE INFILTRACION

Para el estudio hidrogeológico, en esta investigación fueron realizadas 14 pruebas de infiltración in situ de tipo doble anillo. Los resultados obtenidos en estas pruebas de infiltración se resumen en la (**Tabla 5-10**).

Tabla 5-10. Valores de capacidad de infiltración en el área

Prueba	Conductividad Hidráulica[cm/h]	Conductividad Hidráulica[m/día]
PI-EC1	0.89	12.78720
PI-EC2	0.01	0.08640
PI-QA2	0.00	0.00432
PI-QA3	0.01	0.08640
PI-GA2	0.00	0.04320
PI-GA1	0.03	0.36288
PI-LC2	0.29	4.14720
PI-QA1	0.08	1.20960
PI-EP	0.02	0.34560
PI-PB	0.31	4.40640
PI-LC1	0.02	0.32832
PI-EC1	0.00	0.03456
PI-ET1	0.02	0.30240
PI-ET2	0.00	0.04320

Los datos de infiltración nos muestran resultados moderadamente lentos a muy lentos en las pruebas.

5.1.3.8. ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE INFILTRACIÓN K_v Y K_p

Para la estimación de la recarga se utilizaron los coeficientes de infiltración para la vegetación ($K_v = 0.09$) para menos del 50 % de cobertura con zacate y pendiente ($K_p = 0.06$) para una topografía fuerte mayor de 7 %. Además, de acuerdo con las características de la vegetación se estimó un rango de profundidad para las raíces de 2.5 m. Estos valores se tomaron de tablas que han sido propuestas por (Schosinsky & Losilla, 2000).

Se utilizaron valores promedio de capacidad de campo (CC) y de punto de marchites (PM) para los de suelos de acuerdo a los valores dados en las tablas propuestas por (Schosinsky & Losilla, 2000). Estos valores son $CC = 27-31$ y $PM = 13-17$.

5.1.3.9. BALANCE HÍDRICO DE LOS SUELOS

Utilizando el método Gunther Schosinsky (Schosinsky, 2006) y con base en los datos de precipitación, evapotranspiración (**Tabla 5-9**), capacidad de infiltración, tipos y usos de suelos, la pendiente y las propiedades de los suelos, se realizó un balance de humedad de suelos para determinar la recarga por lluvia al acuífero. Se utilizó una hoja electrónica elaborada por (Schosinsky, 2006). El balance correspondiente a la cuenca alta del Río Artiguas se muestra en la (**Tabla 5-11**). También se hizo balance para cada subcuenca, mostrados en el **Anexo E**.

Tabla 5-11. Balance hídrico de suelos de la cuenca alta del Río Artiguas.

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	101.52	45.33	29.08	40.11	144.83	214.22	470.46	282.66	184.10	209.42	157.33	83.37	1962.42
ESC (mm)	4.84	2.16	1.39	1.91	6.90	10.21	22.42	13.47	8.77	9.98	7.50	3.97	93.53
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	507.25	579.00	591.91	580.07	574.53	648.56	772.75	1046.25	1046.25	1046.25	112.00	438.75	
C1	0.28	0.31	0.30	0.30	0.46	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.28	0.14	
C2	0.23	0.25	0.22	0.21	0.33	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.11	
HD (mm)	170.02	185.58	182.24	181.43	280.61	424.03	804.45	890.16	791.60	816.92	-169.42	83.37	
ETR (mm)	29.77	32.42	40.92	45.64	70.79	90.03	144.10	143.90	128.30	115.70	-169.42	14.88	687.04
HSf (mm)	579.00	591.91	580.07	574.53	648.56	772.75	1046.25	1046.25	1046.25	1046.25	438.75	507.25	
DCC (mm)	467.25	454.34	466.18	471.72	397.69	273.50	0.00	0.00	0.00	0.00	607.50	539.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.85	138.76	55.80	93.72	0.00	0.00	341.13
NR (mm)	555.28	539.42	581.86	605.37	506.79	330.17	0.00	0.00	0.00	0.00	899.52	644.43	4662.85

El valor de recarga para para la cuenca alta del Río Artiguas es de 341.13 mm/anales. La (**Figura 5-10**) muestra la recarga de lluvia promedio por mes según los datos expuestos en el balance hídrico de suelos.

La mayor recarga ocurre entre julio y octubre, cuando aumenta la precipitación y los suelos aún están en capacidad de campo. Durante los meses de menor precipitación (de noviembre a junio), la lluvia alcanza solo para abastecer las necesidades de las plantas y los suelos bajan su capacidad de campo, pero nunca se llega al punto de marchites.

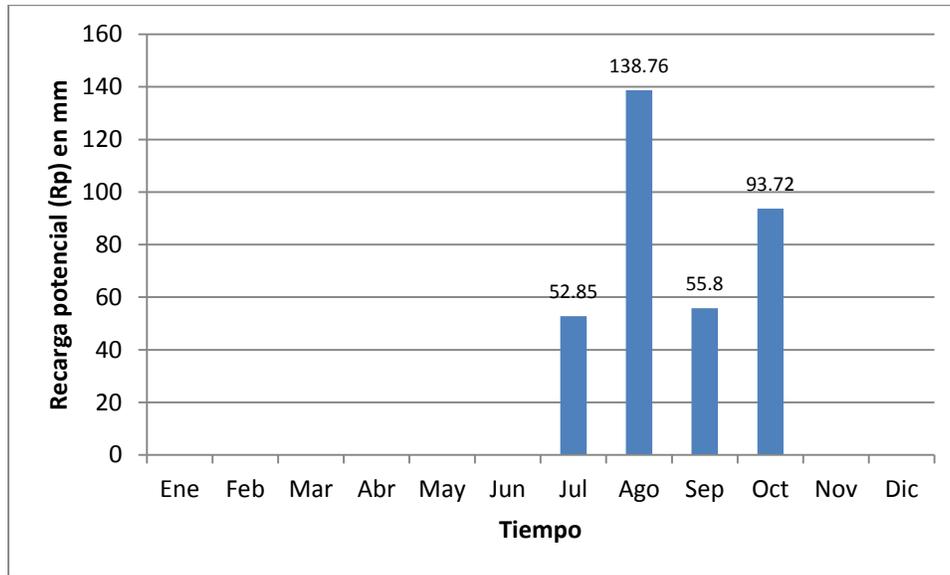


Figura 5-10. Recarga promedio mensual por lluvias en suelos de la cuenca alta del Río Artiguas.

En la (Tabla 5-12) se sintetiza los resultados realizados para cada subcuenca de la cuenca alta del Río Artiguas, donde se ubica la ciudad de Santo Domingo en el departamento de Chontales (Anexo 4).

Tabla 5-12. Resumen del balance hídrico de suelos en la cuenca alta del Río Artiguas.

Subcuenca	P (mm)	Ret (mm)	Pi (mm)	ESC (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Rp (mm)	Qi (m ³)
Qda. Alegre	2337.16	281.2	2044.66	11.3	1672.7	1111.45	626.71	1646367.2
Qda. Alegre 1	2337.16	281.2	1509.57	546.38	1672.7	820.44	173.38	120672
Qda. Alegre 2	2337.16	281.2	159.57	546.38	1672.7	820.44	173.38	42305
Qda. El Cedro	2337.16	281.2	1427.34	628.62	1672.7	661.51	40.83	174671
Qda. El Tamagás	2337.16	281.2	1943.84	112.12	1672.7	810.19	408.65	669368.7
Qda. El Paraíso	2337.16	281.2	1921.73	134.22	1672.7	677.05	310.44	441135
Qda. Peña Blanca	2337.16	281.2	2055.75	0.2	1672.7	839.97	490.78	500595.6
Qda. El Divisadero	2337.16	281.2	2055.75	0.2	1672.7	839.97	490.78	181063
Qda. El Cuatro	2337.16	281.2	2055.75	0.2	1672.7	709.95	411.55	745728.6
Qda. Buena Vista	2337.16	281.2	2055.75	0.2	1672.7	839.97	490.78	189932
Qda. Galilea 1	2337.16	281.2	2045.34	10.62	1672.7	837.2	483.14	41550
Qda. Galilea 2	2337.16	281.2	2024.78	31.18	1672.7	969.04	539.98	179273
Qda. Galilea 3	2337.16	281.2	2055.75	0.2	1672.7	839.97	490.78	155577
Cuenca Alta Río Sucio	2337.16	281.2	1962.42	93.53	1672.7	687.04	341.13	5585662.6

Qi: Caudal de agua que se infiltra al subsuelo para recargar a los acuíferos.

De la tabla anterior se deduce que en la subcuenca Quebrada Alegre ocurre la mayor recarga anual con 627 mm, equivalente a un volumen de agua subterránea 1, 646,367 m³. Otras subcuencas con importantes recargas son Quebrada El Tamagás con un volumen de flujo subterráneo circulante de 669,369 m³; Quebrada Peña Blanca en cuyo subsuelo circula un volumen de 500,596 m³ y en la Quebrada El Cuatro con un caudal circulante en el subsuelo de 745,729 m³.

El balance global realizado para la cuenca alta del Río Artiguas, refleja un flujo de agua subterránea equivalente a 5, 585,663 m³, mientras que la suma de balances de las subcuencas (Qdas. El Cedro, El Tamagás, El Paraíso, Peña Blanca, El Divisadero y El Cuatro), reflejan un aporte de agua subterránea equivalente a 2, 712,562 m³ que representa el 48.56 % del volumen total que circula en el subsuelo de la cuenca alta del Río Artiguas.

5.1.3.10. VOLUMEN DE RECARGA POR LLUVIA EN EL AREA INVESTIGADA

Para asignar un volumen de recarga al acuífero, se debe tomar en cuenta el área investigada (1.6374×10^7 m²), por lo tanto se tiene un volumen de agua recargada de 5, 585,663 m³ por año (**Tabla 5-13**).

Tabla 5-13. Volumen de recarga por lluvia en el área.

	Área de investigación [m ²]	Volumen agua recargada [m ³ / año]
Resultado final	1.6374x10 ⁷	5, 585,663

En la (**Tabla 5-14**) se muestra el resumen del cálculo de recarga por lluvia en el área. El valor de lluvia corresponde a la suma del promedio mensual estimada en la estación ordinaria Santo Domingo (equivalente a 2337.16 mm), la escorrentía corresponde a 93.53 mm, la retención por plantas es de 281.20 mm y el valor de ETP equivale a 1672.70 mm del total anual calculado. Por lo tanto, el valor de la recarga equivale en un 14.60 % del total de la lluvia caída en un año. El error en las estimaciones es de 2.2 %.

Tabla 5-14. Resumen de la recarga por lluvia en el área.

Factor	mm/ año	Factor	mm/año	Porcentaje
Lluvia	2337.16	ETP	1672.70	71.57
		Escorrentía	93.53	4,00
		Recarga	341.13	14.60
		Retención	281.20	12.03
Total	2337.16		2388.56	102,20

5.2. HIDROGEOLOGIA

5.2.1. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DE LA CUENCA

En nuestro País existen zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer poblaciones o para la irrigación de cultivos, por tanto las condiciones de explotabilidad y calidad de las mismas involucran el análisis de varios factores. La hidrogeología es una rama de la geología que involucra además de ésta a otras disciplinas tales como la geomorfología, hidrología, climatología, hidráulica, hidrogeoquímica y geofísica.

En la cuenca alta del Río Artiguas, las estructuras verticales como las fallas y vetas de cuarzo, actúan como conductos para el transporte de agua, emergiendo en los manantiales. No se ha detectado la ocurrencia de acuíferos regionales pero si, sistemas de flujos locales de agua subterránea poco profundos.

En la parte alta, el cauce principal del Río es poco profundo con valles que presentan paredes casi verticales, aguas abajo, se caracteriza por presentar saltos y pequeñas cataratas así como cambios en la dirección del cauce, controlados por debilidades estructurales. Análisis químicos isotópicos (^{18}O) realizados en aguas de manantiales, muestran bajas concentraciones de iones sugiriendo una rápida circulación de ésta a través del sistema de aguas subterráneas (Mendoza, 2006).

En general, el sistema acuífero en la cuenca alta del Río Artiguas está conformado por un medio poroso Cuaternario, un medio volcánico fracturado (ambos de origen natural) y por flujos de agua en el subsuelo canalizados por túneles, galerías y chimeneas abandonadas construidas en el pasado por laboreos mineros subterráneos. Actualmente, los flujos en estos sistemas de laboreos tienen su salida en el Túnel Azul a 407 msnm y en el Túnel Tapalwacito a 508 msnm.

Las unidades hidrogeológicas se han construido mediante la correlación de los distintos materiales litológicos que constituyen a las formaciones geológicas, definidas por características estructurales (fallamiento y fracturación) y propiedades hidráulicas a partir de las investigaciones geofísicas y de la información litológica obtenida de los piezómetros y pozos en el área.

La recarga a los acuíferos se da en toda la cuenca alta del Río Artiguas, a través del medio poroso superficial donde se encuentra el acuífero detrítico y a través del intenso fracturamiento característico de la zona. Los acuíferos generalmente son los que alimentan a las quebradas y por ende al Río Artiguas. Esto último se manifiesta en la gran cantidad de manantiales presentes.

El gradiente hidráulico en el área generalmente sigue el gradiente topográfico, que se manifiesta en el movimiento del flujo del agua subterránea y su descarga en las quebradas.

5.2.2. INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS

5.2.2.1. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA CON TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

La determinación de los aspectos geométricos del acuífero en la Cuenca Alta del Río Artiguas, es decir, las características geométricas de sus capas (permeables y no permeables), se establecieron correlacionando la información litológica con los datos geofísicos obtenidos.

Para conocer la distribución de capas en el subsuelo y los tipos de acuíferos en la cuenca (granular, fracturado o mixto) se empleó el Método de Tomografía Eléctrica con el arreglo Gradiente, lo que permite obtener la mayor cantidad de puntos de medición y es menos sensible a la presencia de estructuras verticales y topografías abruptas. Este método se basa en la implantación de electrodos a lo largo de perfiles, con una separación que viene condicionada por el grado de resolución deseada y la profundidad a investigar, de tal modo que, a menor separación mayor resolución en las capas superiores, pero menor profundidad alcanzada y viceversa.

Para la ejecución del levantamiento geofísico se escogieron 16 perfiles en diferentes sitios del área de estudio (**Figura 5-11**) con direcciones NW – SE y NE – SW, nombrados como T01-SD, T02-SD, T03-SD, T04-SD, T05-SD, T06-SD, T07-SD, T08-SD, T09-SD, T10-SD, T11-SD, T12-SD, T13-SD, T14-SD, T15-SD y T16-SD (**Tabla 5-15**). Para el presente estudio se utilizaron cables de 100 y 200 metros de longitud con una separación entre electrodos de 5 y 10 metros respectivamente, garantizando una profundidad de investigación de 80 hasta 130 metros. Un total de 13,150 metros lineales fueron medidos en el área investigada, la longitud de los perfiles varió entre 500 metros y 2,570 metros.

Tabla 5-15. Características Generales de Perfiles Geofísicos en el área de estudio.

Nombre	INICIO (UTM WGS-84)		FIN (UTM WGS-84)		Longitud (metros)	Rumbo	Prof. (m)
	Este (m)	Norte(m)	Este (m)	Norte (m)			
T01-SD	705927	1354992	708367	1355789	2570	SW-NE	150
T02-SD	707616	1354829	708023	1355332	800	S-NE	124
T03-SD	708294	1355847	707369	1356248	1000	NW-SE	130
T04-SD	706791	1356616	707146	1356342	800	NW-SE	125
T05-SD	708231	1356101	708385	1356651	600	S-N	124
T06-SD	708482	1356791	708545	1357347	600	S-N	90
T07-SD	709546	1357346	709878	1357747	600	S-NE	127
T08-SD	708871	1356535	709433	1356629	600	W-E	127
T09-SD	709846	1356586	710572	1356049	1000	NW-E	130
T10-SD	709437	1355636	710293	1355259	1000	NW-SE	150
T11-SD	708989	1355444	709577	1355425	800	W-E	124
T12-SD	708466	1355618	708923	1355822	500	SW-NE	90
T13-SD	708622	1355271	709169	1355516	610	SW-NE	90
T14-SD	708894	1355152	709259	1355316	410	SW-NE	85
T15-SD	708894	1355152	708633	1355736	700	SE-NW	90
T16-SD	709085	1355250	708853	1355749	560	SE-NW	90

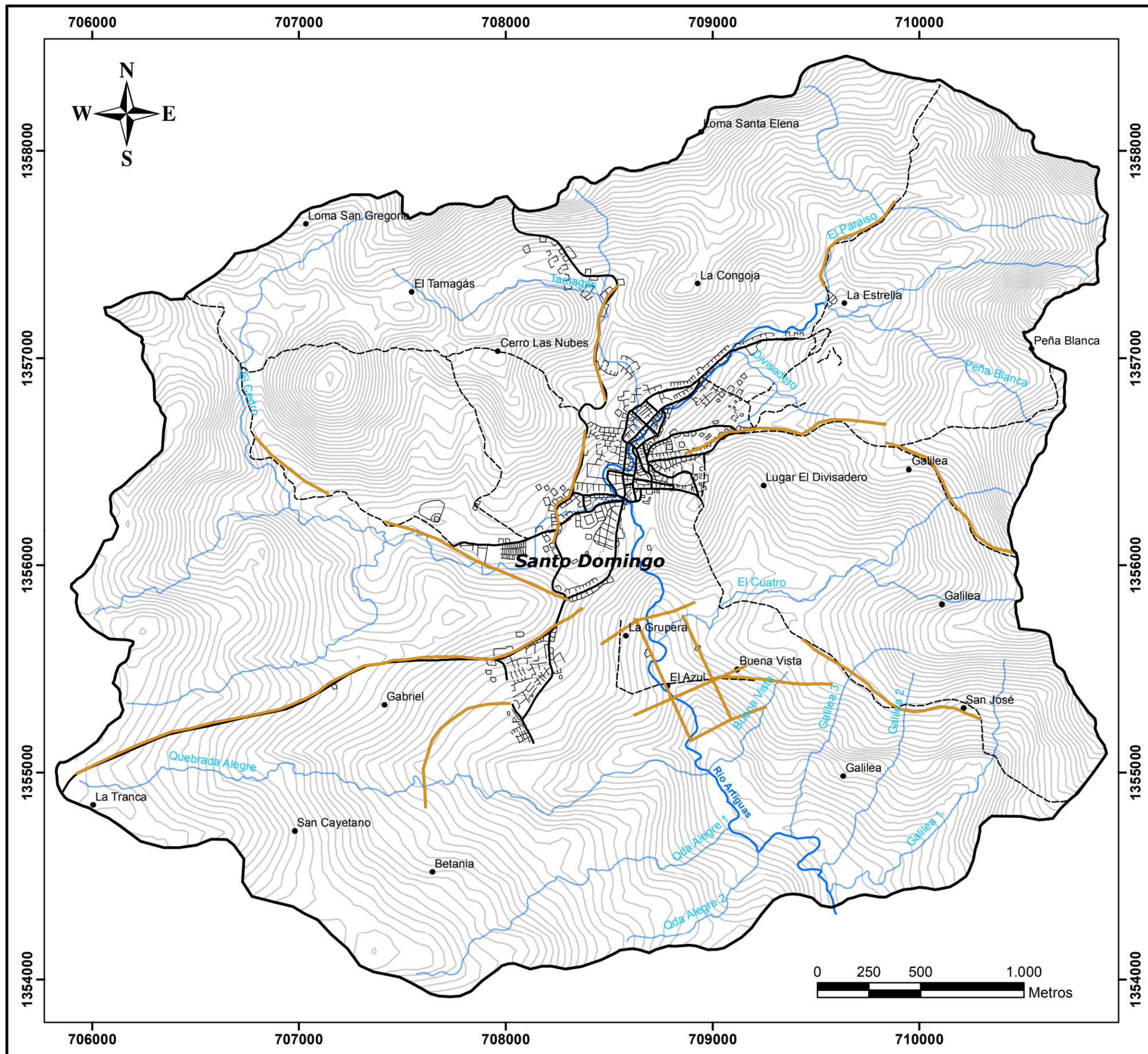


Foto: Mediciones Geofísicas de Resistividad Eléctrica.

Simbología

- Divisoria
- Perfiles de Tomografía Eléctrica
- Pueblos
- Ciudad
- Carretera Principal
- Carretera Secundaria
- Ríos Permanentes
- Ríos Secundarios
- Curvas de nivel



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Localización de Perfiles de Tomografía Eléctrica
"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González

Escala: 1:20.000

Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina

Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-11

Basados en los datos obtenidos, se generaron las Tomografías Eléctricas, donde la resistividad eléctrica se representa en una escala de colores, desde resistividades bajas (menores que 5 Ohm.m) hasta resistividades altas (alrededor de 1100 Ohm.m), mostradas en el **ANEXO B**. En esta investigación, se adopta una escala única de resistividad eléctrica según criterios de proximidad entre puntos de medición y cercanía entre perfiles.

La descripción del comportamiento eléctrico en superficie y en profundidad a partir de los resultados obtenidos por las Tomografías Eléctricas, se describe utilizando los rangos resistivos definidos a continuación (**Figura 5-12**).

- Bajas, valores menores de los 30 Ohm.m
- Medias, valores entre los 30 y 200 Ohm.m
- Altas, valores mayores de 200 Ohm.m

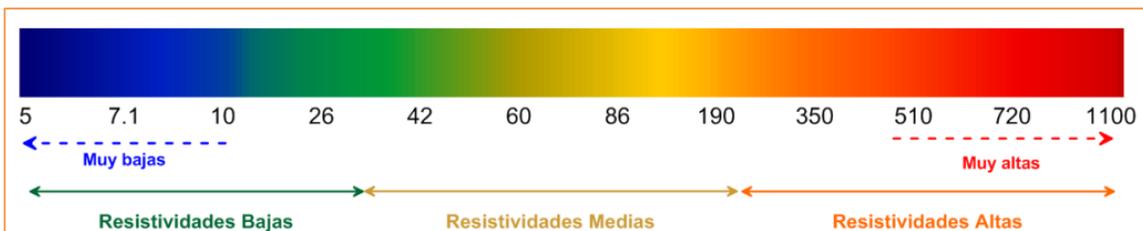


Figura 5-12. Escala de valores resistivos para el área investigada.



Foto 8. Mediciones eléctricas en el área de estudio.

➤ **Zonas de Resistividad Alta**

Las zonas de resistividades altas se encuentran caracterizadas por valores mayores a los 200 Ohm.m, y son característicos de materiales muy compactos, de poca transmisividad hidráulica, identificados por los tonos naranjas-rojos. Se pueden observar aflorando en las partes superficiales, así como en las partes más profundas de las imágenes tomográficas. También, se pueden observar zonas de resistividad muy alta, definidas por resistividades mayores a los 500 Ohm.m, asociadas a rocas macizas no meteorizadas, identificadas por los tonos rojos intensos.

➤ **Zonas de Resistividad Media**

Las zonas con valores de resistividad media poseen valores entre los 30 y 200 Ohm.m (colores verdes–ocres-amarillos), asociadas a materiales compactos. Poseen una mayor transmisividad hidráulica que los materiales de resistividad alta. En esta zona se encuentra localizada las áreas de mejor conductividad hidráulica; observadas en todas las tomografías eléctricas, a profundidades desde pocos metros hasta los 40 metros. Así mismo, se pueden observar en las zonas asociadas a fallas y fracturas que facilitan la infiltración de agua subterránea entre los bloques rocosos más consolidados.

➤ **Zonas de Resistividad Baja**

Las zonas de resistividad baja poseen resistividades menores a los 30 Ohm.m y son identificadas con los colores azules y verdes. Los tonos verdes pueden ser asociados a materiales no consolidados con alto contenido de arcilla y humedad. Los tonos azules (resistividades muy bajas) corresponden a valores menores a los 10 Ohm.m; y pueden ser asociados a tanto a zonas preferenciales de flujo de agua subterránea como a zonas muy arcillosas.

5.2.2.2. MODELO GENERALIZADO RESISTIVO DEL SUBSUELO

En la (Figura 5-13), se observa un modelo generalizado del subsuelo para el área de estudio, compuesto por tres capas, descritas a continuación:

La primera capa presenta resistividades medias a altas, característico de materiales muy compactos y buena transmisividad hidráulica, alcanzando hasta 20 metros de espesor.

Subyaciendo la primera capa, se encuentra una capa de resistividades bajas con muy alta transmisividad hidráulica, asociada directamente a zonas de flujo y descarga de agua subterránea, con espesores de hasta 40 metros.

La tercera capa posee resistividades altas, asociadas a rocas consolidadas con cierto grado de alteración, con muy buena conductividad hidráulica y altos contenidos de arcilla.

En el extremo izquierdo del modelo se observan valores de baja resistividad, que podrían ser asociados debido a la presencia de materiales meteorizados arcillosos así como a flujos de agua subterránea.

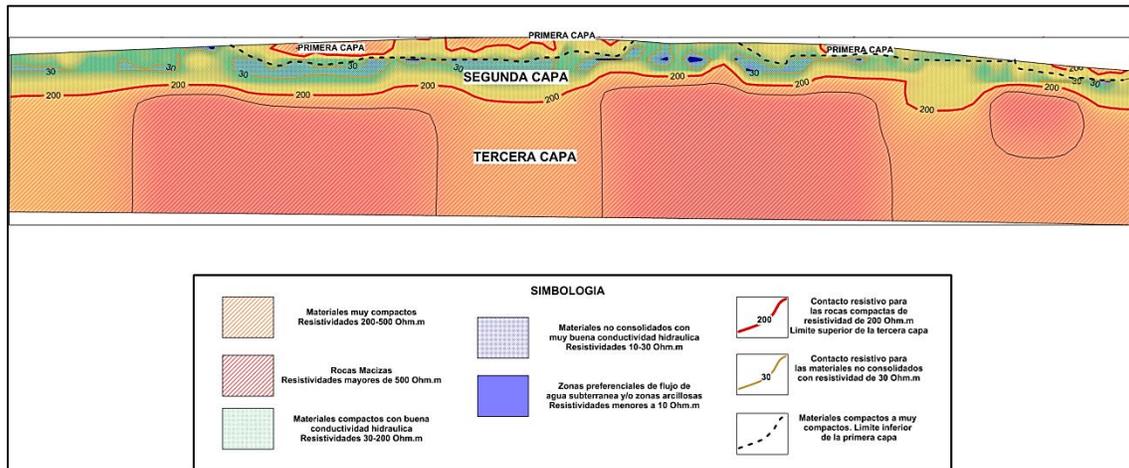


Figura 5-13. Modelo generalizado de resistividades eléctricas correspondientes a la cuenca.

5.2.2.3. FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

A partir de la interpretación de las imágenes Tomográficas de Resistividad Eléctrica, se seleccionaron sitios que presentaran las mejores condiciones para la localización de futuras fuentes de abastecimiento de agua potable. Los sitios fueron divididos en tres categorías: Alta, Media y Baja.

Los sitios de categoría alta están relacionados a lugares en donde la respuesta eléctrica en profundidad relacionada con la capa de rocas andesíticas presenta valores resistivos bajos, lo que sugiere un medio con muy buena transmisividad hidráulica. Estos sitios son los que presentan las mejores condiciones para la ubicación de pozos para el abastecimiento de la población.

La categoría Media, se refiere a sitios en donde se observa una disminución visible de la resistividad dentro de la capa de rocas andesíticas, esta leve disminución en la resistividad puede ser causado por la presencia de fracturamiento, lo que puede indicar la presencia de agua subterránea en dicha capa.

Los sitios de categoría baja está relacionada a sitios en donde es posible encontrar flujos de agua subterránea someros los que pueden ser considerados para la ubicación de pozos poco profundos y de baja capacidad. La localización y la ubicación en las Imágenes Tomográficas de Resistividad Eléctrica, se presentan en la **(Tabla 5-16)**.

Tabla 5-16. Ubicación de sitios favorables para la localización de pozos.

CÓDIGO	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	POSICIÓN EN EL PERFIL (m)	COORDENADAS UTM WGS84		CATEGORÍA
			ESTE	NORTE	
ZFPP1	T01-SD	260	706166	1355093	ALTA
ZFPP2	T01-SD	1650	707486	1355532	MEDIA
ZFPP3	T01-SD	1900	707731	1355552	MEDIA
ZFPP4	T02-SD	555	707816	1355300	MEDIA
ZFPP5	T03-SD	300	707658	1356174	BAJA
ZFPP6	T04-SD	175	706883	1356679	ALTA
ZFPP7	T04-SD	550	707103	1356348	MEDIA
ZFPP8	T05-SD	225	708268	1356319	BAJA
ZFPP9	T05-SD	425	708357	1356497	ALTA
ZFPP10	T06-SD	125	708452	1356911	BAJA
ZFPP11	T06-SD	250	708443	1357037	ALTA
ZFPP12	T08-SD	425	709274	1356249	MEDIA
ZFPP13	T09-SD	300	710008	1356429	BAJA
ZFPP14	T09-SD	640	710291	1356162	BAJA
ZFPP15	T09-SD	920	710535	1356048	MEDIA
ZFPP16	T10-SD	150	709560	1355554	BAJA
ZFPP17	T10-SD	500	709850	1355537	BAJA
ZFPP18	T11-SD	450	709436	1355426	BAJA

5.2.3. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

5.2.3.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Las principales unidades hidrogeológicas en el área de estudio se clasifican en cinco tipos de litologías y morfogénesis muy diferentes que van a condicionar el funcionamiento de los flujos de agua subterránea en profundidad. En esta investigación se han determinado las siguientes: Unidad Hidrogeológica Arcillosa (UHar), Unidad Hidrogeológica Andesita (UHa), Unidad Hidrogeológica Andesita Fracturada (UHaf), Unidad Hidrogeológica Brecha Andesítica (UHba) y la Unidad Hidrogeológica Toba Volcánica (UHtv). En la **(Tabla 5-17)** se resumen las características hidráulicas principales de estas unidades.

Tabla 5-17. Características de las unidades hidrogeológicas.

No.	Unidad Hidrogeológica	Características	T (m ² /d)	K (cm/s)	Promedio Espesor
1	UHar: Unidad Hidrogeológica arcillosa	Capa superficial de muy baja permeabilidad y muy baja transmisividad. Poco flujo de agua subterránea.	< 10	< 10 ⁻⁶	50 metros
2	UHa: Unidad Hidrogeológica andesita	De muy baja permeabilidad y muy baja transmisividad. Permite el flujo de agua subterránea principalmente por zonas de fallas y fracturas.	< 10	< 10 ⁻⁶	> 200 metros
3	UHaf: Unidad Hidrogeológica andesita fracturada	Constituye el acuífero principal semiconfinado de alta permeabilidad y alta transmisividad.	> 800	> 10 ⁻⁴	10 metros
4	UHba: Unidad hidrogeológica brecha andesítica.	De baja permeabilidad y transmisividad y flujo de agua subterránea.	< 50	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	20 metros
5	UHtv: Unidad Hidrogeológica toba volcánica.	De baja permeabilidad y transmisividad y poco flujo de agua subterránea.	< 50	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	20 metros

5.2.3.2. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

En hidrología, se denomina capacidad de infiltración a la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. La infiltración del agua juega un papel importante en los procesos de escorrentía como consecuencia de una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud e intensidad las lluvias pueden producir caudales diferentes. La infiltración depende de muchos factores, los principales son: tipo de suelo, intensidad de la precipitación y porosidad del suelo.

En relación a los factores antes mencionados, la velocidad de infiltración es máxima al inicio de las lluvias y generalmente va disminuyendo en forma progresiva a través del tiempo, ya sea al aumentar el contenido de humedad en el suelo o a medida que los suelos se expanden y cierran parcialmente los poros existentes en su interior. Cuando el valor de la velocidad de infiltración se vuelve constante se dice que se alcanzó la infiltración básica, relación que se utiliza para determinar la conductividad eléctrica, este parámetro es importante en estudios hidrogeológicos de cuencas.

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre genérico de pérdidas. En general, las pérdidas están constituidas por la interceptación en el follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, la retención en depresiones o charcos (que posteriormente se evapora o se infiltra), la evaporación y la infiltración. Además de que en la práctica es difícil separar estos cuatro componentes, la porción más considerable de las pérdidas está dada por la infiltración, por lo que es costumbre calcularlas conjuntamente bajo este nombre.

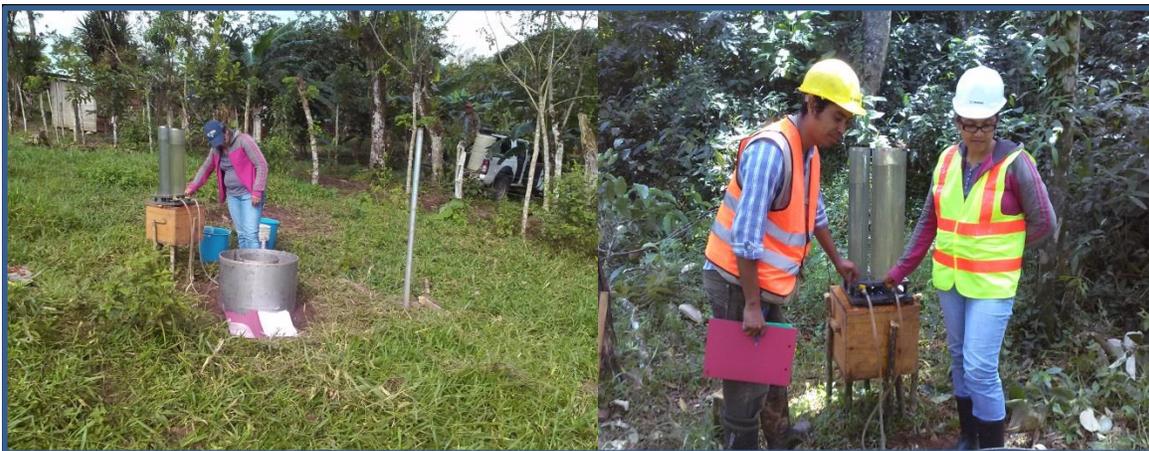


Foto 9. Infiltrómetro tipo doble anillo para medir la capacidad de infiltración de los suelos.

La infiltración juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escorrentía. En general, el volumen de infiltración es varias veces mayor que el de escorrentía durante una tormenta dada, especialmente en cuencas con un grado de urbanización relativamente bajo, como es el caso de la cuenca alta del Río Artiguas.

La velocidad de infiltración se obtuvo in situ mediante la denominada prueba de infiltración, empleando en este caso el infiltrómetro de doble anillo, con el propósito principal de determinar la conductividad hidráulica a partir de la determinación de la velocidad de infiltración en el suelo, así como la variación de los caudales. En esta investigación se realizaron 14 pruebas de infiltración (**Figura 5-14, Foto 9**), siguiendo los procedimientos de la ASTM D3385, considerado como un método versátil y adecuado para determinación de la capacidad de infiltración y la conductividad hidráulica.

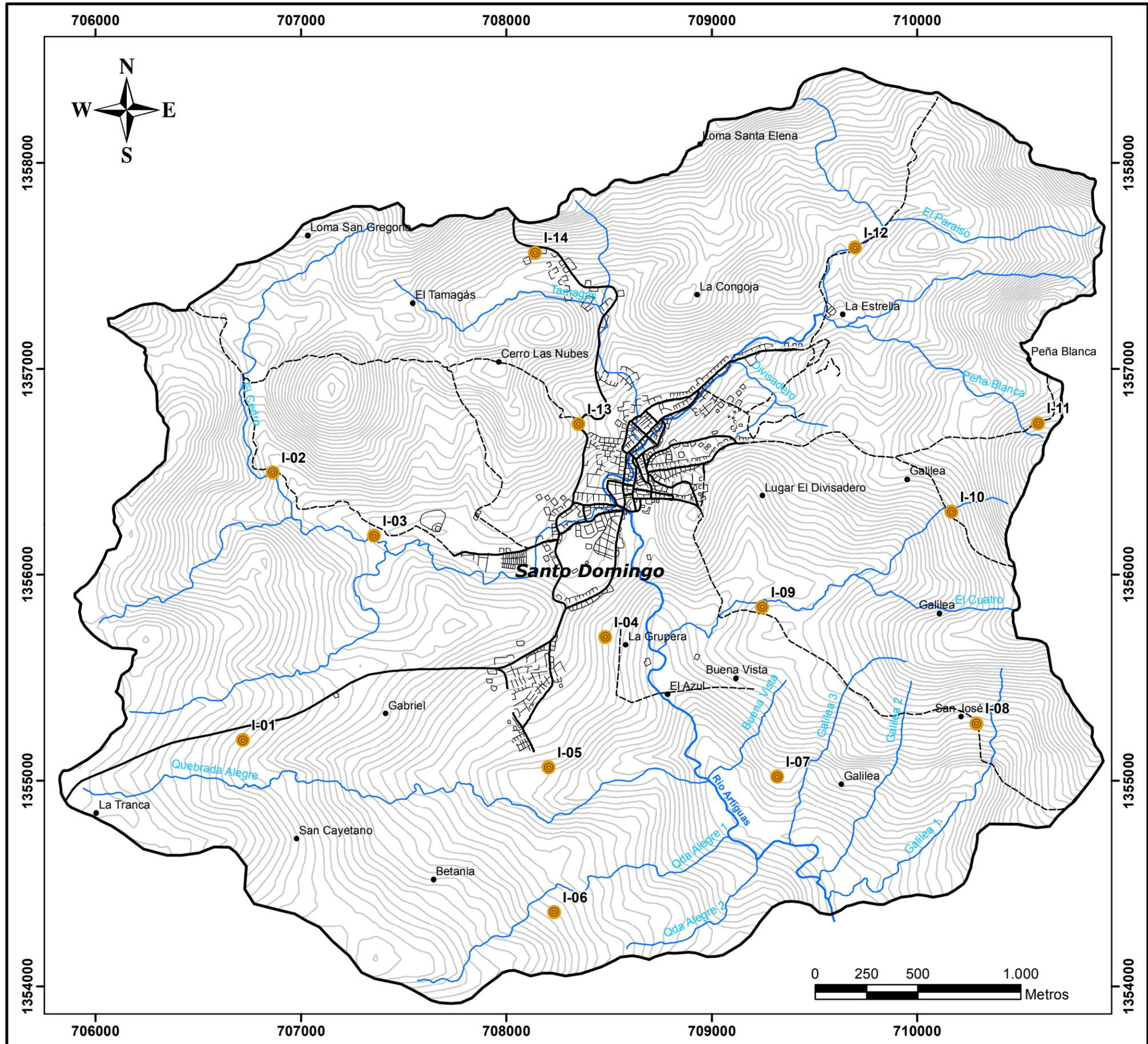


Foto: Mediciones de Pruebas de Infiltración.

Simbología

- Divisoria
- Prueba de Infiltración
- Pueblos
- Ciudad
- Carretera Principal
- Carretera Secundaria
- Ríos Permanentes
- Ríos Secundarios
- Curvas de nivel

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Localización de Pruebas de Infiltración

"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-14

Los tipos de suelos en que fueron realizadas estas pruebas son clasificados en su mayoría como suelos limosos o arcillo-arenosos. De acuerdo a los resultados de conductividad hidráulica, en general, las menores recargas se producen en la parte baja de las subcuencas y por tanto, las mayores recargas se producen en la parte media alta de dichas subcuencas (**Figura 5-15, Tabla 5-18 y ANEXO C**).

También se deduce que las mayores recargas se producen en las subcuencas: Quebrada El Cuatro, Quebrada Alegre, Quebrada El Paraíso, Quebrada Peña Blanca y Quebrada El Tamagás.

Tabla 5-18. Resultados de las pruebas de infiltración.

N°	ID	Coordenadas		Altura msnm	Conductividad hidráulica (K) cm/s	Referencia
		UTM WGS 84				
		Este	Norte			
		m	m			
1	PI-EC1	707356	1356189	511	0.0148	El Cedro 2
2	PI-EC2	708483	1355698	419	0.0001	El Cedro
3	PI-QA2	708206	1355064	486	0.000005	Quebrada Alegre
4	PI-QA3	708233	1354362	523	0.0001	Quebrada Alegre
5	PI-GA2	709319	1355019	460	0.00005	Quebrada Galilea
6	PI-GA1	710289	1355278	525	0.00042	Quebrada Galilea
7	PI-LC2	709247	1355843	427	0.0048	El Cuatro
8	PI-QA1	706718	1355196	624	0.0014	Quebrada Alegre
9	PI-EP	709699	1357589	557	0.0004	Quebrada El Paraíso
10	PI-PB	710590	1356735	708	0.0051	Peña Blanca
11	PI-LC1	710167	1356305	602	0.00038	Quebrada El Cuatro
12	PI-EC1	706863	1356496	556	0.00004	EL Cedro Javier Ocón
13	PI-ET1	708140	1357563	600	0.00035	El Tamagás (Marisol Guido)
14	PI-ET2	708352	1356732	547	0.00005	El Tamagás

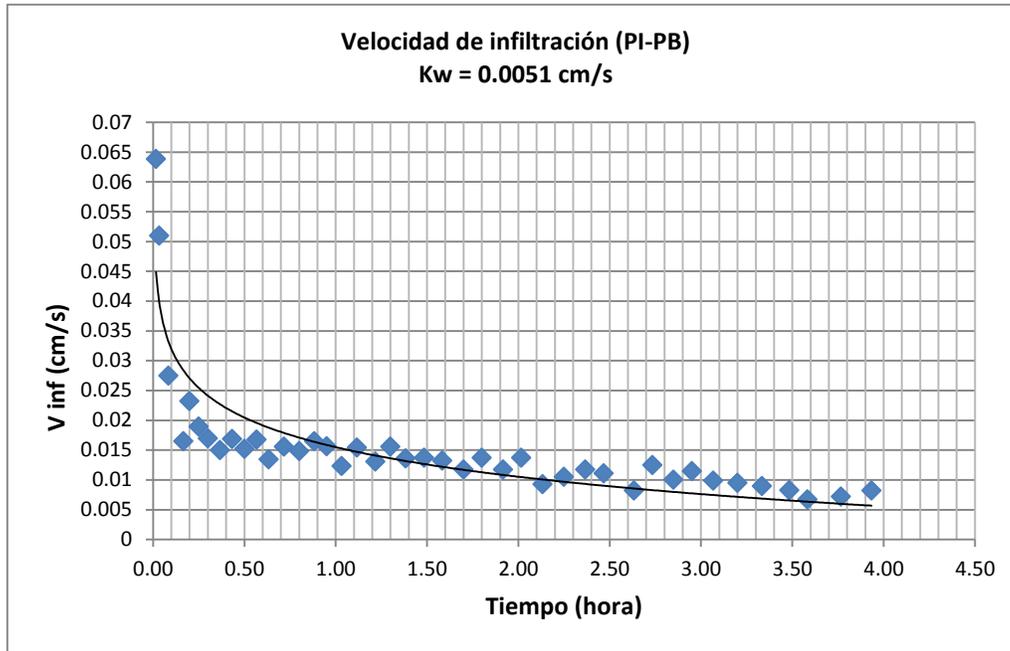


Figura 5-15. Velocidad de infiltración y conductividad hidráulica en la subcuenca Peña Blanca.

5.2.3.3. CALIDAD DEL AGUA

En los últimos años, la investigación hidrogeológica se ha centrado en los problemas de la calidad del agua subterránea. En la mayoría de los casos, no se trata ya de encontrar agua, sino de estudiar como la calidad del agua subterránea se ha visto afectada por actividades humanas, prever la evolución del problema, intentar mitigar, o, en un caso más afortunado, simplemente adoptar las medidas pertinentes para que estos problemas no lleguen a producirse.

La mala calidad del agua subterránea puede ser debida a causas naturales o a la actividad humana. En general, al hablar de contaminación nos referimos a esta última, por ejemplo, un vertido industrial. En muchas ocasiones, la distinción no es fácil, pues una actividad humana no contaminante (en general, los bombeos) altera un equilibrio previo, provocando el deterioro de la calidad del agua subterránea.

Entre las principales actividades humanas que potencialmente generan contaminantes y que degradan la calidad de los recursos en una cuenca tenemos: actividades domésticas que generan residuos sólidos y aguas residuales, actividades agrícolas que contaminan

con fertilizantes y plaguicidas que en ocasiones se degradan en metabolitos, actividad ganadera que genera compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros y en algunos casos metales pesados y finalmente la Industria Minera que genera contaminantes en las labores de tratamiento en la extracción de minerales o por infiltración en lagunas de almacenamiento y en depósitos de colas por la acción del agua de lluvia.

Desde el punto de vista del usuario, el concepto “calidad de agua” sirve para definir aquellas características químicas, físicas y biológicas que se emplean como patrón para calibrar la aceptabilidad de un agua cualquiera, estas características determinaran su utilidad para los usos doméstico, agrícola e industrial. El estudio de la composición química de las aguas provee indicadores importantes acerca de la calidad.

En este sentido, se evaluó la calidad actual de los recursos hídricos en la cuenca alta del Rio Artiguas, midiendo en campo y en laboratorio parámetros tales como: conductividad eléctrica (CE), Salinidad, pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto (OD), DBO, DQO, coliformes fecales y alcalinidad total, entre otros.

5.2.3.3.1. CALIDAD DEL AGUA POTABLE

En los estudios hidrogeológicos, la química de las aguas subterráneas se utiliza tanto para conocer su aptitud para determinados usos como para aclarar o resolver algunos procesos hidrogeológicos.

Caracterizar químicamente el agua involucra la determinación de varios parámetros, entre ellos los llamados análisis básicos para agua potable que además de expresar la composición química, sirve para realizar un balance iónico que expresa más claramente si existe o no contaminación por agentes químicos de acuerdo a normas de calidad establecidas para agua. Sin embargo existen otro tipo de sustancias químicas que además de ser perjudiciales para la salud afectan la calidad estética del agua tales como color, olor, sabor, debido a concentraciones de iones de hierro y manganeso.

En el agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos; estos son los iones fundamentales y sobre ellos descansa la mayor parte de los aspectos químicos e hidroquímicos. Estos iones se detallan en la **(Tabla 5-19)**.

Tabla 5-19. Iones mayores o fundamentales

Aniones		Cationes		No iones	
Cloruros	Cl ⁻	Sodio	Na ⁺	Sílice	SiO ₂
Sulfatos	SO ₄ ⁼	Calcio	Ca ⁺⁺	Dióxido de Carbono	CO ₂
Bicarbonatos	CO ₃ H ⁻	Magnesio	Mg ⁺⁺	Oxígeno Diatómico	O ₂

5.2.3.3.2. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Usualmente, el agua subterránea es de muy buena calidad, libre de gérmenes patógenos y turbidez, su temperatura y su composición química son generalmente constantes. Sin embargo, la calidad del agua subterránea depende del tipo y calidad de recarga, de las propiedades del suelo, de los procesos físico - químicos y biológicos en el suelo (IAEA, 1980).

El agua pura no existe en la naturaleza, por lo que su definición teórica como combinación química de oxígeno e hidrógeno no puede extenderse al estado en que se encuentra habitualmente.

El agua subterránea es importante para el consumo humano, y los cambios en su calidad pueden tener serias consecuencias. También es importante para el sustento de hábitats y para el mantenimiento de la calidad del flujo base que alimenta los ríos. La composición química del agua subterránea es una medida de su provecho como fuente de abastecimiento para consumo humano y animal, para irrigación, para la industria y otros propósitos. También influye en la salud y el funcionamiento de ecosistemas, por lo que es importante para detectar variaciones y dar las alertas tempranas de cambios en su calidad, tanto en sistemas naturales como en los efectos de contaminación.

5.2.3.3.3. PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA

Se requieren los siguientes parámetros y límites para la clasificación de las aguas según su calidad química, además, determinar el grado y las posibles fuentes de contaminación. Los métodos analíticos empleados para determinar estos parámetros son los especificados en la norma CAPRE y otras. Los resultados están referidos al punto donde se recolectó la muestra de agua, que fue ubicado según los objetivos de la investigación y tratando que la influencia humana fuese lo menor posible (**Figura 5-16 y Tabla 5-20**).

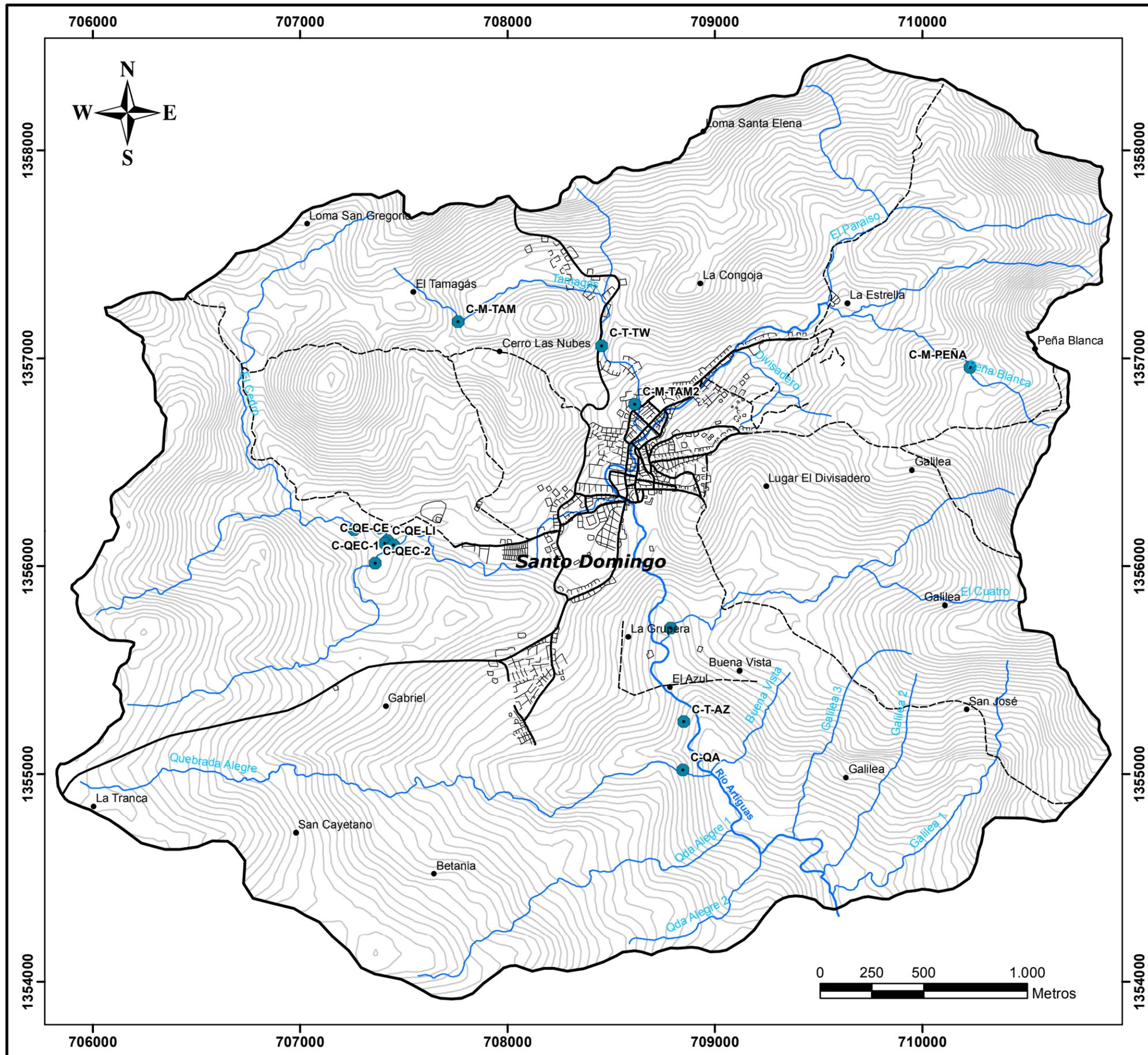


Foto: Toma de Muestras en Quebrada El Cuatro

Simbología

- Divisoria
- Muestreo de Agua
- Pueblos
- Ciudad
- Carretera Principal
- Carretera Secundaria
- Ríos Permanentes
- Ríos Secundarios
- Curvas de nivel



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Localización de Puntos de Muestreo de Agua
"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González

Escala: 1:20.000

Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina

Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-16

Tabla 5-20. Parámetros fisicoquímicos y límites permisibles para análisis de agua para consumo humano.

Parámetro	ID									Valor máximo admisible Norma CAPRE
	La Peña	M-TAM	M-TAM2	QA	Q-CUA	QEC1	QEC2	T-AZ	T-TW	
	FUENTE									
Man.	Man.	Man.	Río	Río	Río	Río	Man.	Man.		
Turbidez	30.80	0.85	0.60	6.90	4.90	30.70	5.10	0.40	1.20	5.00 UNT
pH	7.17	6.66	6.28	7.78	7.76	7.40	7.34	6.87	6.37	6.50-8.50 UNT pH
CE	61.60	75.50	99.00	94.50	100.00	66.20	67.00	202.50	99.40	*(30-1000) μ S/cm
STD	38.35	54.15	66.21	62.88	59.72	43.42	44.62	126.19	63.62	1000.00 mg/l
Color Ver.	20.00	5.00	5.00	15.00	15.00	15.00	15.00	5.00	5.00	15.00 mg/l (Pt-Co)
Ca	4.23	6.90	7.33	8.94	8.31	4.25	4.88	24.42	8.00	*200 mg/l CaCO ₃
Mg	2.09	2.11	3.29	3.16	3.75	2.14	2.20	5.47	2.87	50.00 mg/l CaCO ₃
Na	5.00	5.33	6.48	6.74	5.96	5.38	5.66	9.55	6.31	200.00 mg/l
K	0.85	1.98	2.11	0.78	1.02	1.38	0.77	2.08	2.16	10.00 mg/l
Cloruros	4.45	5.30	6.87	5.02	3.74	5.27	5.15	4.60	6.17	250 mg/l
Nitratos	0.25	0.69	5.96	0.25	1.70	0.25	0.25	2.50	1.18	50 mg/l
Sulfatos	1.67	1.76	3.29	1.14	1.39	1.77	0.86	19.79	6.41	250.00 mg/l
Carbonatos	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	*1.00 mg/l
Bicarbonatos	25.63	41.49	41.49	50.04	46.38	28.07	30.51	89.09	37.22	*150 mg/l
Dureza Total	19.15	25.92	31.85	35.30	36.20	19.40	21.25	83.45	31.76	*400 mg/l CaCO ₃
Alcalinidad T.	21.00	34.00	34.00	41.00	38.00	23.00	25.00	73.00	30.50	*150 mg/l
Alcalinidad F.	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	Sin ref. (mg/l)
Sílice R.D.	15.96	20.71	22.42	26.74	23.64	20.17	21.60	29.90	26.14	Sin ref. (mg/l)
Nitritos	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.10-3.00 mg/l
Hierro Total	2.61	0.07	0.04	0.64	0.55	2.10	0.37	0.06	0.11	0.30 mg/l
Fluoruros	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.70-1.50 mg/l
As (μ /l)	0.99	0.99	0.99					0.99	0.99	*10.00 μ g/l (OMS)
Hg (μ /l)	0.09	0.09	0.09					0.09	0.09	*1.00 μ g/l (OMS)

Dureza total: En general, según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua subterránea y superficial analizada en la cuenca alta del Río Artiguas se clasifica como blanda (0 - 60) mg/l CaCO₃. En la salida del Túnel Azul el agua se clasifica como moderadamente dura (61 - 120) mg/l CaCO₃.

Sólidos Totales Disueltos: En la cuenca alta del Río Artiguas, la caracterización de las aguas de acuerdo a su salinidad está basada en la concentración de los Sólidos Totales Disueltos (STD). Para el área investigada, el agua superficial y subterránea se clasifica como dulce puesto que las concentraciones son menores a 1000 mg/l.

Conductividad eléctrica: Al igual que los STD caracterizan el agua que circula superficialmente y en el subsuelo, la conductividad eléctrica (CE) caracteriza a los recursos hídricos según la cantidad y tipo de iones disueltos en ellos. En este sentido, el agua subterránea en la cuenca alta del Río Artiguas, no posee mineralización apreciable pernicioso para la salud humana. Así mismo, el agua superficial no presenta valores de este parámetro fuera de las normas.

Sulfatos: Estos están disueltos en las aguas del área de estudio en concentraciones bajas respecto al máximo permitido.

Cloruros: Los cloruros no son motivo de preocupación en las aguas superficiales y subterráneas del área puesto que están en concentraciones menores al máximo que estipula la norma que es de 250 mg/l.

Alcalinidad: Esta propiedad de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca alta del Río Artiguas está por debajo del máximo permisible para el consumo humano estipulada en las normas.

Dureza: Siendo la propiedad que caracteriza a un tipo de agua por la dificultad para hacer espuma con jabón debido a la presencia de elementos alcalinotérreos tales como el calcio y el magnesio principalmente, se califica como no dura el agua que circula en superficie y en el subsuelo, puesto que los valores de este parámetro están muy por debajo de la norma.

Magnesio: Este parámetro está relacionado con la dureza del agua. En este caso, no se encuentra en cantidades apreciables (muy por debajo del máximo permisible en la Norma CAPRE (**Tabla 5-20**) en las aguas superficiales y subterráneas que circulan en el área de estudio.

pH: valores de pH por debajo de 6.5 podría indicar agua corrosiva la cual puede movilizar metales en tuberías. Para valores de pH por debajo de 6.5, considerar un análisis de corrosión y/o un análisis por metales (especialmente plomo y cobre). En el área investigada en los manantiales M-TAM2 y T-TW (Túnel Tapalwasito) el pH está por debajo del mínimo permitido.

En resumen y desde el punto de vista fisicoquímico, el agua subterránea en general no presenta contaminación. Sin embargo, es necesario tener en cuenta la turbidez del agua del manantial La Peña, Quebrada Alegre (QA) y Quebrada El Cedro (QEC1) que está por encima de valor máximo permisible (5.00 UNT). Los resultados para cada muestra analizada son mostrados en **ANEXO D**. Otro parámetro a tomar en cuenta es el hierro total que supera el valor máximo permisible (0.30 mg/l, Norma CAPRE) en el manantial La Peña, Quebrada Alegre, Quebrada El Cuatro y Quebrada El Cedro.

5.2.3.3.4. TIPO QUÍMICO DE LAS AGUAS

Los datos correspondientes a un análisis, pueden representarse en gráficos de columnas, tipo pastel, radiales y poligonales. Estas representaciones permiten comparar distintos análisis entre sí y observar rápidamente, en un mismo análisis la distribución de aniones y cationes. También pueden utilizarse para representar en planos o perfiles hidrogeológicos la distribución espacial de las características químicas de las aguas subterráneas (Martínez-Alfaro, 2006).

En los diagramas triangulares (Piper, 1944), cada uno de los vértices de un triángulo equilátero representa el 100 % de la concentración en meq/l de un determinado elemento y el 0 % del elemento situado en el vértice siguiente según el sentido horario. Los valores del % de la concentración de cada elemento se representan trazando desde el punto del lado del triángulo que representa el % a representar, una recta paralela al lado opuesto al vértice correspondiente al 100 % del elemento que se considera. Solo es posible representar tres iones (tres aniones o tres cationes) de cada análisis, pero es posible representar muchos análisis en el mismo gráfico.

En este tipo de diagramas los puntos que quedan agrupados definen familias de aguas de características químicas semejantes en cuanto al contenido iónico. El tipo químico de las aguas se determina a partir de los aniones y cationes predominantes. En este estudio, el tipo químico de las aguas se ha establecido de acuerdo al porcentaje de las concentraciones de los aniones y cationes predominantes. Los cálculos para este análisis en el área evaluada se han tomado de la **(Tabla 5-20)**.

Para la cuenca alta del Río Artiguas, básicamente, las aguas superficiales y subterráneas son de tipo bicarbonatada-cálcica **(Figura 5-17)**. Esto significa que el agua que escurre superficialmente es de corto recorrido y que prácticamente ha tenido contacto con materiales arcillosos. Significa que el agua subterránea es de reciente infiltración con un tiempo de residencia relativamente corto. Además, se infiere que se infiltra preferencialmente por las zonas de fracturas o fallas.

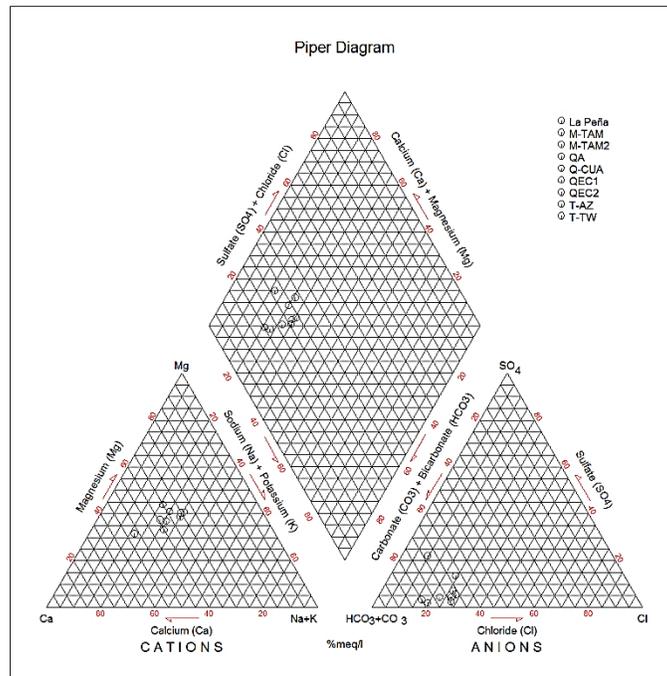


Figura 5-17. Diagrama de Piper con los resultados del análisis físico-químico.



Foto 10. Mediciones de parámetros físico-químicos en la Cuenca Alta del Río Artiguas.

5.2.4. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA Y SUS USOS

Los usos actuales del agua en la cuenca alta del Río Artiguas son fundamentalmente para abastecimiento de agua potable (consumo humano), minería artesanal, riego y minería industrial.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano son: El Túnel Azul, Manantial Peña Blanca y el Túnel Tapalwacito. El Túnel Azul constituye una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la población de la Ciudad de Santo Domingo (**Foto 11**).

El agua se canaliza tanto por el sistema de drenaje como por las estructuras mineras antiguas subterráneas construidas desde 1870 para la extracción mineral. Las fallas y fracturas facilitan la circulación del agua subterránea en grandes cantidades. Se estima que el caudal de agua subterránea que se descarga y se capta desde el túnel es de 22 L/s (HydroGeo, 2012).



Foto 11. Fuente de abastecimiento de agua para consumo humano (Túnel Azul).

El agua es captada desde el Túnel Azul, donde se ubican las bombas eléctricas que impulsan las aguas hasta dos pilas de distribución ubicadas cerca de El Divisadero. Esta planta de bombeo es operada por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). El agua potable se deriva por gravedad a la población desde las pilas a través de una red de tuberías.

El Manantial Peña Blanca se ubica en la naciente de la quebrada Peña Blanca Sur. Sus aguas son captadas y conducidas por medio de unas tuberías que luego se conectan al sistema de abastecimiento de agua para el sector La Estrella **(Foto 12)**.



Foto 12. Área de captación del manantial Peña Blanca ubicada en la subcuenca Peña Blanca.

En el sistema de abastecimiento de agua potable, parte de la población de Santo Domingo aprovecha el agua proveniente de una fuente ubicada en la subcuenca El Tamagás, conocido como Túnel Tapalwacito **(Foto 13)**.



Foto 13. Túnel Tapalwacito ubicado en la parte baja de la subcuenca Tamagás.

En la minería artesanal, el procesamiento de la mena se realiza con diferentes sistemas de molienda mecánicos (La Máquina y Las Rastras) y manuales (Molinetes o Bolillos) existentes en el área (**Foto 14**).

El agua empleada en La Máquina y en las Rastras proviene del Río Artiguas y de sus afluentes, que es desviada de su cauce natural mediante tuberías y es suministrada continuamente durante todo el proceso de molienda. En los molinetes se utiliza agua de consumo doméstico suministrada por la Aguadora y utiliza aprox. 20 litros por bolillazo.



Foto 14. Diferentes sistemas de molienda para el procesamiento de la mena (Rastras y Molinetes).

El agua de la cuenca alta del Río Artiguas y sus afluentes es utilizada para el cultivo de granos básicos como arroz, frijoles y maíz; los que se producen durante todo el año. Existen otros cultivos como: yuca, quequisque, malanga y helequeme. Del total de hectáreas cultivadas, solamente se riegan por gravedad un 0.5 %.

En la minería industrial, el agua es utilizada principalmente para el mantenimiento continuo de carreteras y caminos utilizados para el transporte de materiales de las zonas de explotación mineral hacia la planta de procesamiento en La Libertad.

En las partes alta, media y baja, de la cuenca en estudio, el agua es utilizada por mineros artesanales (güiriseros) en procesos de extracción de oro. Además, el agua es aprovechada para aguar al ganado. Así mismo, para riego de viveros para la reforestación del municipio de Santo Domingo. En el proceso de obtención del oro las rastras emplean cantidades de agua que son vertidas directamente al drenaje natural.

5.2.5. INVENTARIO DE POZOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO ARTIGUAS

Perforaciones diamantinas realizadas por (HidroGeo, 2012) (**Foto 15 y 16**) han permitido reconocer la geología, estructura y unidades hidro-litológicas asociadas al sistema acuífero local, así como la determinación del nivel piezométrico, los parámetros hidráulicos y el caudal del agua subterránea. El propósito adicional de la perforación es utilizarlas como pozos de monitoreo, por lo que fueron implementados para funcionar como piezómetros para conocer las condiciones del agua subterránea.

En la cuenca alta del Río Artiguas, en Jabalí Central y en Tajo Antena (áreas de la minería industrial), la empresa minera B2GOLD ha perforado piezómetros. También, irregularmente distribuidos se ubican pozos perforados (PP) de regular diámetro y pozos excavados (PE), mostrados en la (**Figura 5-18**).

En el área de Tajo Antena se perforaron 7 piezómetros y en Jabalí Central 7. En Tajo Antena, existen 2 sondeos que fueron construidos para funcionar como piezómetros, HGA-02 y HGA-03, desafortunadamente no están habilitados como pozos de monitoreo ni de muestreo, ya que ambos están totalmente en desuso por diferentes razones, tampoco tienen información litológica, ni de los niveles de agua.



Foto 15. Piezómetro HGC-04.



Foto.16. Piezómetro HGC-02.

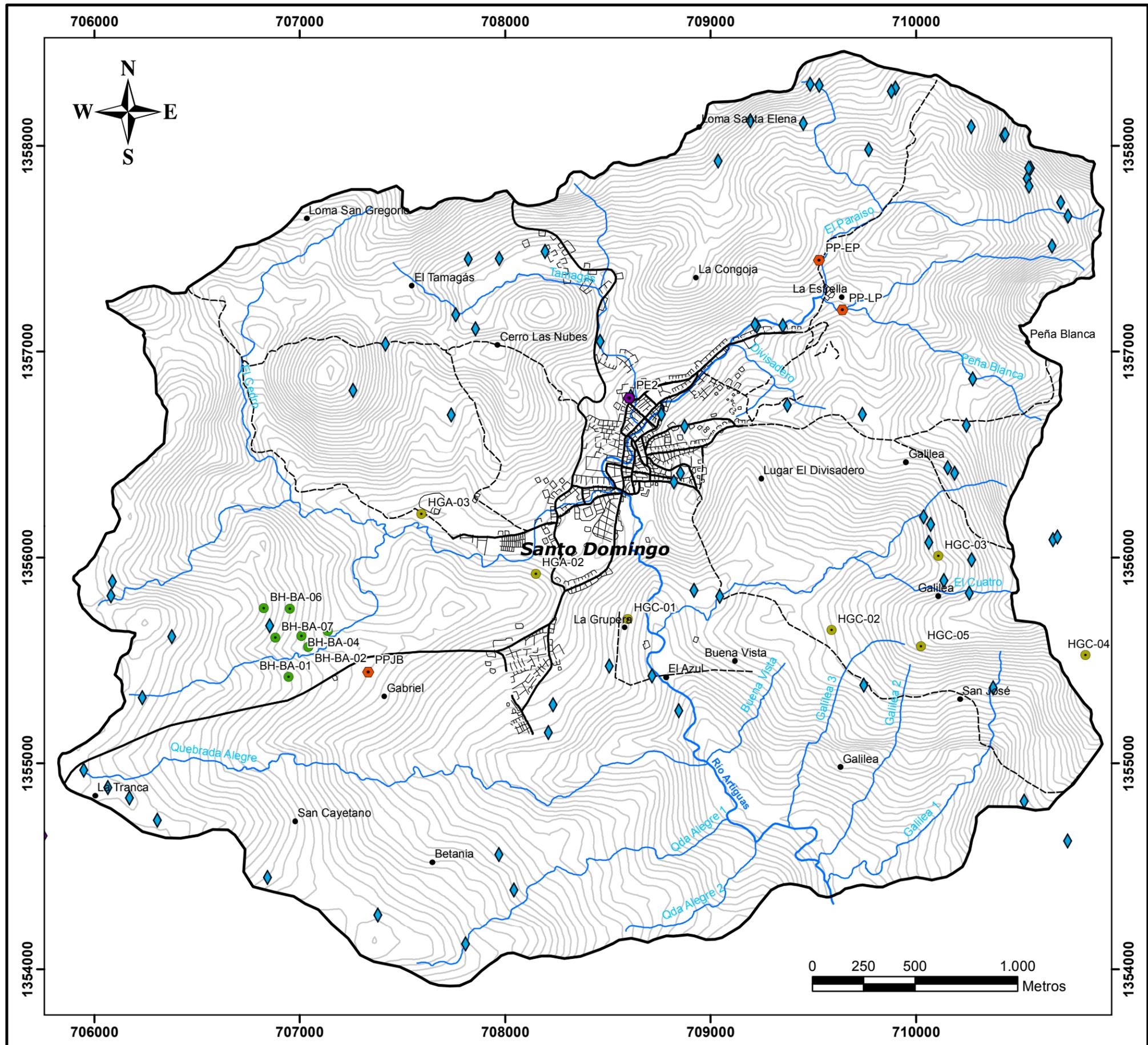


Foto: Fuente de Agua Natural Túnel Azul.

Simbología

- Piezómetros Jabalí Central
- Piezómetros Tajo Antena
- ◆ Pozos Excavados
- ◆ Pozos Perforados
- ◆ Manantiales

Divisoria	Carretera Secundaria
Pueblos	Ríos Permanentes
Ciudad	Ríos Secundarios
Carretera Principal	Curvas de nivel

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Localización de Fuentes de Agua

"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-18

El piezómetro instalado más cercano al área del Tajo Antena, es del denominado como HGC-01, con 230 metros de profundidad, determinando que el nivel promedio del agua se encuentra a una profundidad de 21.68 metros.

En el sitio donde se encuentra ubicado uno de los piezómetros (HGA-2), actualmente se está realizando la construcción de una obra civil particular; quedando totalmente sin acceso para llevar a cabo mediciones del nivel promedio del agua subterránea.

El otro piezómetro (HGA-3), localizado en las cercanías del campo de béisbol de Santo Domingo, se encuentra totalmente aterrado de materiales y desechos, imposibilitando realizar mediciones de los flujos de agua subterránea.

Un total de 14 pozos fueron inventariados en el área (**Tabla 5-21**). Existe un pozo perforado de abastecimiento de agua potable al Barrio José Breyón, sin acceso para medir los niveles de agua. Además existe un pozo perforado en la parte baja de la subcuenca Peña Blanca (**Foto 17**), el cual no está en uso en la actualidad.



Foto 17. Pozo perforado en la parte baja de la subcuenca Peña Blanca y Pozo perforado Barrio José Breyón.

Existen dos pozos excavados utilizados para consumo humano y acondicionado con una estructura de concreto alrededor. El agua de estos, en general es considerada potable y es utilizada para bebida, labores domésticas y baño (**Foto 18**). El pozo ilustrado en la foto de la izquierda es de uso particular y el de la foto derecha es para consumo público.



Foto 18. Pozos excavados en la cuenca alta del Río Artiguas.

Tabla 5-21. Inventario de pozos en la cuenca alta del Río Artiguas

Pozo	Coordenadas UTM-WGS 84		Altura msnm	NEA promedio		Prof. Pozo m
	Este	Norte		msnm	m	
Pozos perforados						
PPJB	707333	1355443	592		Sin info.	
PP-EP	709528	1357444			Sin info.	
PP-LP	709641	1357202	536	533.64	2.36	
Pozos Excavados						
PE1	705743	1354650	653	648.67	4.33	
PE2	708604	1356776	517	516.5	0.5	
Piezómetros Jabalí Central						
HGC-01	708596	1355702	460.84	439.16	21.68	230
HGC-02	709589	1355648	520.73	495.62	25.21	170.5
HGC-03	710109	1356008	569.11	427.69	141.42	215
HGC-04	710825	1355525	549.73	479.29	70.44	240
HGC-05	710024	1355567	585.01	545.8	39.21	220
HGA-02	708149	1355922	513	505	7	
HGA-03	707593	1356213	523	520	3	
Piezómetros Tajo Antena						
BH-BA-01	706946	1355420			11	31.1
BH-BA-02	707042	1355566			13.66	40
BH-BA-03	707137	1355642			7.87	48
BH-BA-04	707008	1355620			11.88	30
BH-BA-05	706952	1355751			14.04	30.05
BH-BA-06	706825	1355754			11.55	30.2
BH-BA-07	706880	1355610			15.5	30.6

Un inventario de todos los manantiales o fuentes de agua existentes en la cuenca alta del Río Artiguas, permitió localizar y clasificar al menos 99 manantiales, de acuerdo a su tipo; los que son clasificados como de fractura (TF) por meteorización (W) y por zonas de alteración de vetas de cuarzo (TV); mostrados en la **(Tabla 5-22)**.

Tabla 5-22. Inventario de manantiales en la cuenca alta del Río Artiguas

ID	Este	Norte	Altura	Tipo	ID	Este	Norte	Altura	Tipo
1	710705	1357726	710	TF	40	710154	1356435	604	TV
2	710740	1357657	713	TF	41	710188	1356410	605	TV
3	710542	1357843	693	TF	42	710246	1356641	635	W
4	710551	1357804	699	TF	43	706234	1355320	662	TV
5	710558	1357891	707	TF	44	706082	1355813	651	TV
6	710550	1357891	725	TF	45	706088	1355883	646	TV
7	710427	1358050	702	TF	46	705950	1354966	668	TF
8	710434	1358055	634	TF	47	706066	1354884	657	TF
9	710269	1358092	669	TF	48	706171	1354832	658	TF
10	709900	1358280	644	W	49	706307	1354725	649	TF
11	709881	1358266	635	W	50	706844	1354446	614	W
12	709770	1357981	622	W	51	707380	1354264	583	W
13	709530	1358292	636	W	52	707808	1354123	565	W
14	709485	1358299	637	W	53	708042	1354383	525	W
15	709451	1358108	610	TF	54	707970	1354559	524	W
16	709194	1358122	660	TF	55	708845	1355256	435	TF
17	709037	1357927	642	W	56	708715	1355425	463	W
18	710663	1357512	660	TF	57	708507	1355473	491	W
19	710276	1356868	633	TF	58	708210	1355149	500	W
20	709739	1356696	598	W	59	708234	1355285	509	W
21	709374	1356740	582	TV	60	708611	1356784	527	TF
22	708760	1356696	523	TF	61	708821	1356367	531	W
23	708195	1357487	597	TF	62	708854	1356410	532	W
24	707971	1357452	600	TF	63	710271	1352346	336	W
25	707820	1357451	615	TV	64	710858	1352547	365	W
26	707760	1357180	587	TV	65	711271	1352751	383	W
27	707261	1356812	640	TV	66	711526	1353169	385	W
28	707418	1357038	570	TV	67	711516	1353141	386	TF
29	707737	1356694	573	W	68	710687	1353493	370	TF
30	706854	1355668	615	TF	69	710654	1353531	375	TF
31	706378	1355616	648	W	70	710666	1353155	375	TF
32	710667	1356088	602	W	71	710541	1353281	359	W
33	710690	1356101	597	W	72	710304	1353234	371	W
34	710259	1355829	573	TV	73	709981	1353188	380	W
35	710136	1355887	550	TV	74	709633	1353503	398	W
36	710272	1355990	592	TF	75	709452	1353669	424	TF
37	710063	1356074	572	W	76	712054	1354057	403	TF
38	710071	1356160	565	W	77	712172	1354274	422	TF
39	710038	1356198	561	W	78	712170	1354261	423	TF

ID	Este	Norte	Altura	Tipo	ID	Este	Norte	Altura	Tipo
79	712006	1354740	456	TF	90	708980	1350757	403	W
80	712002	1354859	460	TF	91	708918	1351237	420	W
81	711695	1354951	450	TF	92	709224	1357124	563	TV
82	711457	1354850	442	TF	93	708874	1356636	503	W
83	711174	1354869	474	TF	94	707857	1357113	590	TV
84	711130	1354796	475	W	95	708463	1357050	570	TV
85	711073	1354712	470	W	96	709351	1357126	540	W
86	710739	1354624	496	TF	97	709217	1357133	550	W
87	710528	1354818	499	W	98	709045	1355811	480	TV
88	710376	1355368	528	TF	99	708920	1355840	490	TV
89	709746	1355380	520	W					

**TF: Manantial por fractura W: Manantial por meteorización TV: Manantial a través de veta de cuarzo.

5.3. VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO

5.3.1. FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACION

Se han identificado fuentes puntuales y no puntuales de contaminación; algunos de estos aspectos fueron investigados en la Alcaldía de la Ciudad de Santo Domingo en Chontales.

Entre las fuentes puntuales de contaminación dentro de la cuenca se pueden mencionar la minería industrial y artesanal aurífera, localizada en el área urbana y sub-urbana, generando una serie de contaminantes metálicos producto de las labores mineras.

Tanto la minería artesanal como la industrial modifican el régimen del flujo de aguas superficiales, ya que por su actividad, generan un aumento en la sedimentación en el sistema de drenaje como producto de la deforestación y los movimientos de tierra (**Foto 19**). Así mismo, modifican la capacidad de infiltración de los suelos en las zonas donde se realizan las actividades de la minería. En la parte alta y media de la cuenca la actividad minera artesanal vierte las aguas residuales provenientes del procesado de broza de los sistemas de molienda, rastras y molinetes (**Figura 5-19**) en las riberas de las quebradas.

En la parte baja de la cuenca, la contaminación se produce principalmente por el vertido de las aguas grises, domésticas y por la descarga de las aguas residuales de la actividad

minera artesanal (**Foto 20**), donde se encuentra asentado un porcentaje del casco urbano de la ciudad de Santo Domingo (**Tabla 5-23**).

Como resultado de la actividad minera, en estudios anteriores, se han detectado altas concentraciones de Plomo (Pb), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) en aguas superficiales, las que superaron los valores de las normas de agua de consumo humano de CAPRE, OMS y Canadienses.

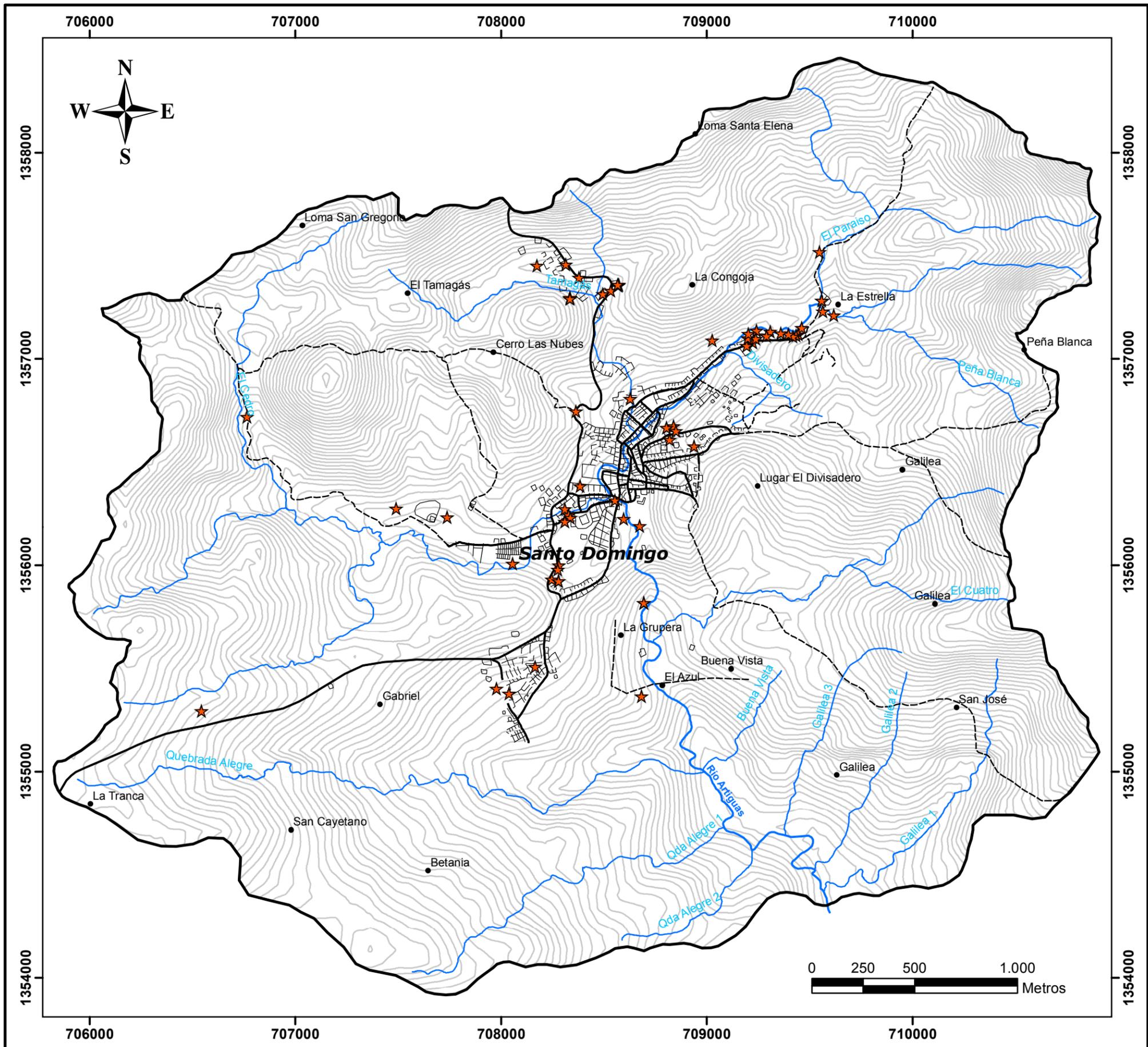


Foto: Rastra en Santo Domingo, Chontales.




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Fuentes Puntuales de Contaminación
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-19

Las características de la cuenca, con una topografía abrupta y altas precipitaciones, propicia el transporte de contaminantes a largas distancias, por lo que el problema de contaminación se extiende fuera de la cuenca a zonas más bajas.

Otras fuentes importantes de contaminación son las letrinas, los sumideros y el antiguo basurero; estas fuentes se localizan dentro del casco urbano de Santo Domingo y en las márgenes del río Artiguas.



Foto 19. Depósitos de sedimentos por la actividad minera artesanal en la confluencia de las Quebradas Peña Blanca - El Paraíso.

Las aguas residuales del poblado de Santo Domingo, contaminadas con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos de humanos y animales son vertidas o canalizadas en el cauce principal del Río Artiguas (Sucio). Su tratamiento nulo genera graves problemas de contaminación. En Santo Domingo, no se cuenta con sistema de drenaje sanitario y pluvial, las aguas negras y pluviales fluyen por gravedad a las partes más bajas y a los cauces del río y sus quebradas.

La basura y otros desechos sólidos, así como las aguas residuales domesticas son vertidas al Río Artiguas, desde las viviendas que cuentan con sistemas de letrinas y sumideros. Del total de viviendas en el Territorio Municipal (2,611), un 45% de las viviendas cuentan con letrinas, mientras que el sumidero es utilizado por un 4% de las viviendas. Alrededor del 51% de las viviendas no cuentan con ningún tipo de sistema sanitario, principalmente a nivel de las comunidades rurales.

En el casco urbano de Santo Domingo se brinda el servicio de recolección de basura, depositándose en un relleno sanitario que fue hecho con el apoyo de la empresa minera industrial Desminic - B2Gold y las autoridades locales. Como parte de la inversión en el tratamiento de los desechos sólidos, B2Gold está brindando financiamiento a una microempresa de reciclaje que se encarga de recolectar, procesar y acopiar los residuos plásticos para su venta al mercado nacional.

El relleno sanitario cuenta con tecnología moderna para reducir la contaminación y mejorar las condiciones sanitarias de la población; destinado a la disposición final de desechos o basura, en el que se toman múltiples medidas para reducir los problemas generados por otro método de tratamiento de la basura como son los botaderos no autorizados. El anterior vertedero de Santo Domingo estaba ubicado a cielo abierto y afectaba las fuentes de aguas superficiales y subterráneas del municipio. El buen manejo de desechos en el municipio no solo permitirá cuidar al medio ambiente, sino que contribuirá a reducir los brotes diarreicos, las enfermedades de la piel y otras afectaciones de la salud.

En Santo Domingo existe un Rastro de Cobertura Municipal, que brinda servicio a 6 pequeños mataderos de este poblado. Este se encuentra ubicado a escasas 30 varas del "Barrio Germán Pomares", lo que afecta la salud de los pobladores de este barrio y del resto de pobladores urbanos.

Entre las fuentes contaminantes no puntuales que afectan a la cuenca alta del Río Artiguas podemos mencionar principalmente la ganadería y la actividad agrícola.

Las principales actividades económicas de la cuenca se concentran en actividades de agricultura con cultivos de granos básicos, predominante en el área rural. La aplicación de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas y plaguicidas) en los cultivos, son considerados como fuentes no puntuales (difusas) de contaminación.

La ganadería es una de las actividades económicas más importante de Santo Domingo, la que también genera contaminación por excretas continuas. La crianza de ganado menor y cerdos, destinada para las familias productoras, genera contaminación por nitratos **(Foto 21)**.



Foto 20. Confluencia de la Quebrada Los Cedros-La Liona. Nótese la depositación de sedimentos por la actividad minera artesanal en La Subcuenca Los Cedros.



Foto 21. Zona de captación de agua superficial para uso doméstico afectado por la ganadería.

Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores

Tabla 5-23. Fuentes puntuales de contaminación en la Cuenca Alta del Río Artiguas, Santo Domingo, Chontales (Rastras).

IP	X	Y	Nombre	Barrio	Vol. de agua (m ³ /día)	Hg/Mes	Cianuro /Mes	Procesando (Ton/Día)	Des. Líq. (m ³ /Mes)	Des. Sól. (Ton/Mes)	Río Contaminado
1	709199	1357125	Leonel Borge	La Estrella	6	2 lbs		1/2 Ton		2	Artiguas
2	709200	1357108	José Daniel	La Estrella	5	1 lb		1 Ton		5	Artiguas
3	709235	1357088	Darío Maradiaga	La Estrella	5	18 oz		1/2 Ton			Artiguas
4	709279	1357118	Celia Silva	La Estrella	10	15 ml		1/2 Ton		1	Artiguas
5	709278	1357100	Pedro Sequeira	La Estrella	3	10 oz		1/2 Ton			Artiguas
6	709325	1357119	Sherly Lucrecia	La Estrella	3	8 lbs		1 Ton		15	Artiguas
7	709402	1357135	Eduardo Sequeira	La Estrella	10	30 oz		1/2 Ton			Artiguas
8	709574	1357244	Francisco	La Estrella	10	2 lb		1 Ton			Artiguas
9	709581	1357269	Plantel La Estrella	La Estrella		3 oz	1 oz	7 Ton			Qda. La Estrella
10	709548	1357431	Antonio Rocha	La Estrella	4	1 lb		1/2 Ton		4	Artiguas
11	708687	1355824	El Salto	El Salto				2 Ton			Artiguas
12	708561	1357356	Ricardo Urbina	El Tamagás	1			1 Ton			Qda. Tamagás
13	708522	1357340	Pedro Miranda	El Tamagás	3	15 lbs		1 Ton	10	20	Qda. Tamagás
14	708313	1357458	Manuel Escoto	El Tamagás	2	5 lb		2 Ton	12	20	Qda. Tamagás
15	708049	1357477	Marisol Prado	El Tamagás	3	6 lbs		1/2 Ton	25	50	
16	708232	1357352	Elvis Rostrán	La Estrella	3	2 lb		1/2 Ton		60	Qda. La Estrella
17	708333	1357291	Petrona González	El Tamagás	2	20 lbs		1 Ton	8	25	Qda. Tamagás
18	708335	1357300	Adonis González	El Tamagás		1 1/2 lb	10 gr	1/2 Ton			Qda. Tamagás
19	708502	1357302	Rolando Flores	El Tamagás		3 lbs	2 oz	1/2 Ton			Qda. Tamagás
20	708639	1356814	Danilo Díaz	Tapalwacito	2	1 lb		1/2 Ton			Qda. Tamagás
21	708821	1356612	Harry Castro	Jalteva	4	1 lb		1 Ton			Artiguas
22	708853	1356668	Rosa Urbina	Jalteva	5	1 lb		1/2 Ton			Artiguas
23	708827	1356684	Steneth Rodríguez	Jalteva				1/2 Ton			Artiguas
24	708801	1356672	Raquel Lazo	Jalteva	2	16 lbs		1 Ton	60	80	Artiguas
25	708679	1356162	Roberto Valle	Jabalí	2	20 lbs		7 Ton	8	90	Artiguas
26	708178	1355506	Rigoberto	Jabalí	9	1 lb	10 gr	3/4 Ton			
27	708288	1355919	Ester Miranda	Jabalí	2,5	15 lbs		3/4 Ton	6	20	Riachuelo
28	708158	1355309	Maria Gabriela	Jabalí	3	6 lbs			10	40	
29	706602	1355350	Marvin Gallo	La Hermandad	144	5 lbs			4	20	
30	708316	1356073	Octavio Mendoza	Sandino	2,5	10 lbs		3 1/2 Ton	3	15	Qda. La Liona
31	706731	1356655	Francisco Ocon	Carca Grande							
32	708225	1357152	Elvin Espinoza	El Tamagás	7	2 lbs	1 lb	2 Ton		43	Qda. Tamagás
33	708682	1355365	Arturo Trujillo					3 Ton			Artiguas
34	709226	1356920	Jeymi Miranda	La Estrella	1	16 oz		1 Ton			Artiguas
35	708359	1356757	Juan Pablo	Pedro J. Chamorro				1 Ton			
36	708044	1355382	Gabriel Gallo	La Hermandad	1,5	8 lbs			6	90	
37			Franklin Mendoza	Sandino	3	8 lbs		1/2 Ton	6	90	Artiguas
38			Elieth Espinoza	Sandino	5	1 lb					Qda. La Liona
39			Wilmor Sandino	Sandino	3	3 lbs			90	20	
40			Edgardo Silva	Sandino	1	2 lbs			30	0,5	
41			Isabel Useda	Pancasan	1,5	5 lbs			10	15	Qda. La Liona
42			Lester Monje	Pancasan	5	5 lbs		3/4 Ton	60	20	Qda. La Liona
43			Denis Laguna	Carlos Fonseca	3	8 lbs			10	50	
44			Santos Oporta	La Estrella	3	1 lb	1/2 lb	1 Ton		30	Artiguas
45			Naser Toledo	La Estrella				1 Ton			Artiguas
46			Lieving Gómez	La Estrella	3	1 lb		1 Ton	5	20	Artiguas
47			Franklin López	La Estrella				1 Ton			Artiguas
48			Heleodora Benavidez	La Estrella	3	1/2 lb		1 Ton			Artiguas
49			Yonis A. Pérez	El Tamagás	3	4 lbs		1 Ton	60	20	Qda. Tamagás
50			Victor Pérez	El Tamagás	2	4 lbs		1/2 Ton	20	20	Qda. Tamagás
51			Douglas González	Jabalí	46	10 lbs		1 Ton	1200	80	Qda. La Liona
52			Mario Cruz	Carca Grande	2	6 lbs		1/2 Ton	15	50	Ojo de agua

5.3.2. VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

La principal fuente de agua potable para muchas regiones de nuestro país está constituida por las aguas subterráneas. Sin embargo, en muchos casos, éstas son destino de los residuos de naturaleza líquida, producto de la actividad del hombre.

Las aguas subterráneas son un recurso importante que amerita cuidado, y en los últimos años el reto pasó de propender por una sostenibilidad en cuanto a su cantidad a la gestión de su calidad; esto principalmente por el incremento de actividades antrópicas sobre sus áreas de recarga, especialmente por prácticas agrícolas fundamentadas en el uso de agroquímicos.

El deterioro de los acuíferos puede ser irreversible, o su saneamiento extremadamente costoso. Además, la percepción de la población acerca de este problema y/o la preocupación por la protección de las aguas subterráneas es escasa o nula.

El término vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero o del agua subterránea se aplica para representar las características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser afectados adversamente por una carga contaminante que produzca cambios químicos, físicos o biológicos que superen los límites máximos establecidos en las normativas que regulan la potabilidad del agua.

La vulnerabilidad es principalmente función de:

- a) La capacidad de la zona saturada para limitar hidráulicamente la penetración de contaminantes;
- b) La capacidad de atenuación de los niveles situados sobre la zona saturada del acuífero, como resultado de su retención física y reacción química con los contaminantes.

La vulnerabilidad aquí es analizada como el nivel de penetración con que los contaminantes alcanzan una posición específica respecto al acuífero que alimenta al Túnel Azul, después de su integración en alguna posición sobre la zona no saturada.

Para la evaluación de la vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación se aplicó el método GOD (Foster, 1985; Foster & Hirata, 1988; Foster et al., 2002). Para el método GOD, se toman en cuenta tres parámetros: Grado de confinamiento hidráulico, Ocurrencia del sustrato sobreyacente (características litológicas y grado de consolidación de la zona

no saturada o capas confinantes) y Distancia al nivel del agua subterránea (no confinados) o al techo del acuífero (confinados).

En la **(Tabla 5-24)** se presentan los valores usados en las variables para determinar la vulnerabilidad intrínseca para el manantial Túnel Azul. El grado de confinamiento y la ocurrencia del sustrato no varían entre las áreas.

Tabla 5-24. Valores asignados para determinar vulnerabilidad intrínseca a la contaminación mediante el método GOD para el manantial Túnel Azul.

VARIABLES	VALORES	
Grado de confinamiento	Libre cubierto por materiales lateríticos	0,60
Ocurrencia del sustrato	Suelos volcánicos residuales	0,40
Distancia al agua subterránea	Entre 5 y 20 metros	0,80
GOD		0,19
VULNERABILIDAD INTRÍNSECA		BAJA

La vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de la Naciente en los materiales volcánicos se define como media. Esto por el hecho de estar cubierto por depósitos lateríticos arcillosos de baja permeabilidad. En los sectores más alejados de la naciente, la vulnerabilidad puede ser baja, ya que es de esperar un aumento en el espesor de la cobertura de suelos y la profundidad del nivel freático a mayor profundidad.

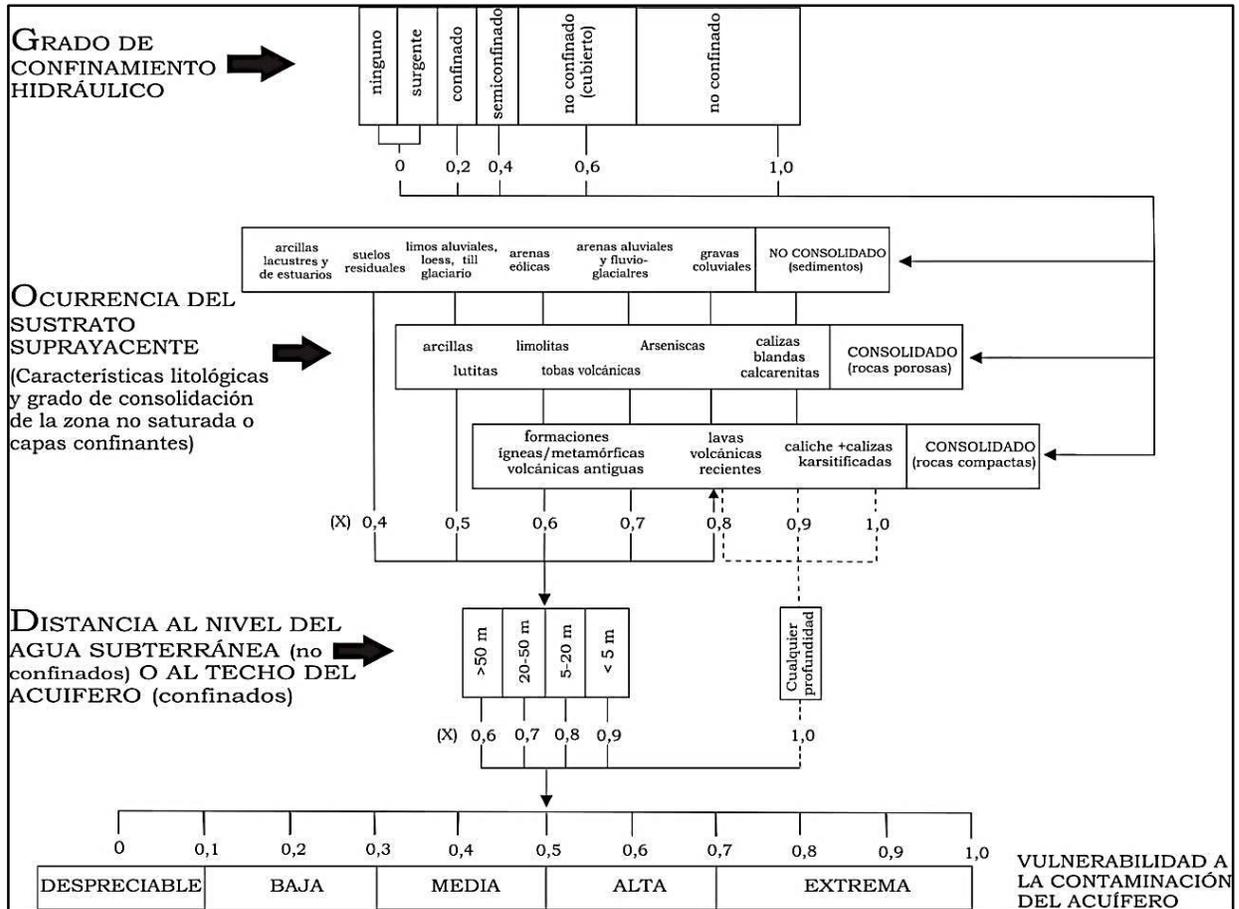


Figura 5-20. Esquema de Vulnerabilidad a la Contaminación del Acuífero (Foster e Hirata, 1991).

5.4. MODELACION HIDROGEOLOGICA

5.4.1. CONCEPTO DE MODELO

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en dos o tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos. Esta representación incluye la geometría de los acuíferos, delimitación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con sus posibilidades de almacenar y transmitir agua, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, condiciones del flujo de las aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico, características hidroquímicas y eventualmente isotópicas y delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga.

En términos generales, sintetiza las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterráneas en el subsuelo y sus relaciones con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos. Se realiza con base en el análisis e interpretación de información geológica, hidrológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica y permite tener una visión del comportamiento de los acuíferos o sistemas acuíferos de un área dada a la escala deseada.

5.4.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En esta investigación, se aprovechó la información existente de datos geofísicos y piezómetros que fueron perforados en la cuenca alta del Río Artiguas con el fin de conocer la litología del subsuelo en profundidad, parámetros hidráulicos y niveles freáticos. Se trazaron tres secciones transversales, denominadas como SH01-SD, SH02-SD y SH03-SD (**Figura 5-21**).

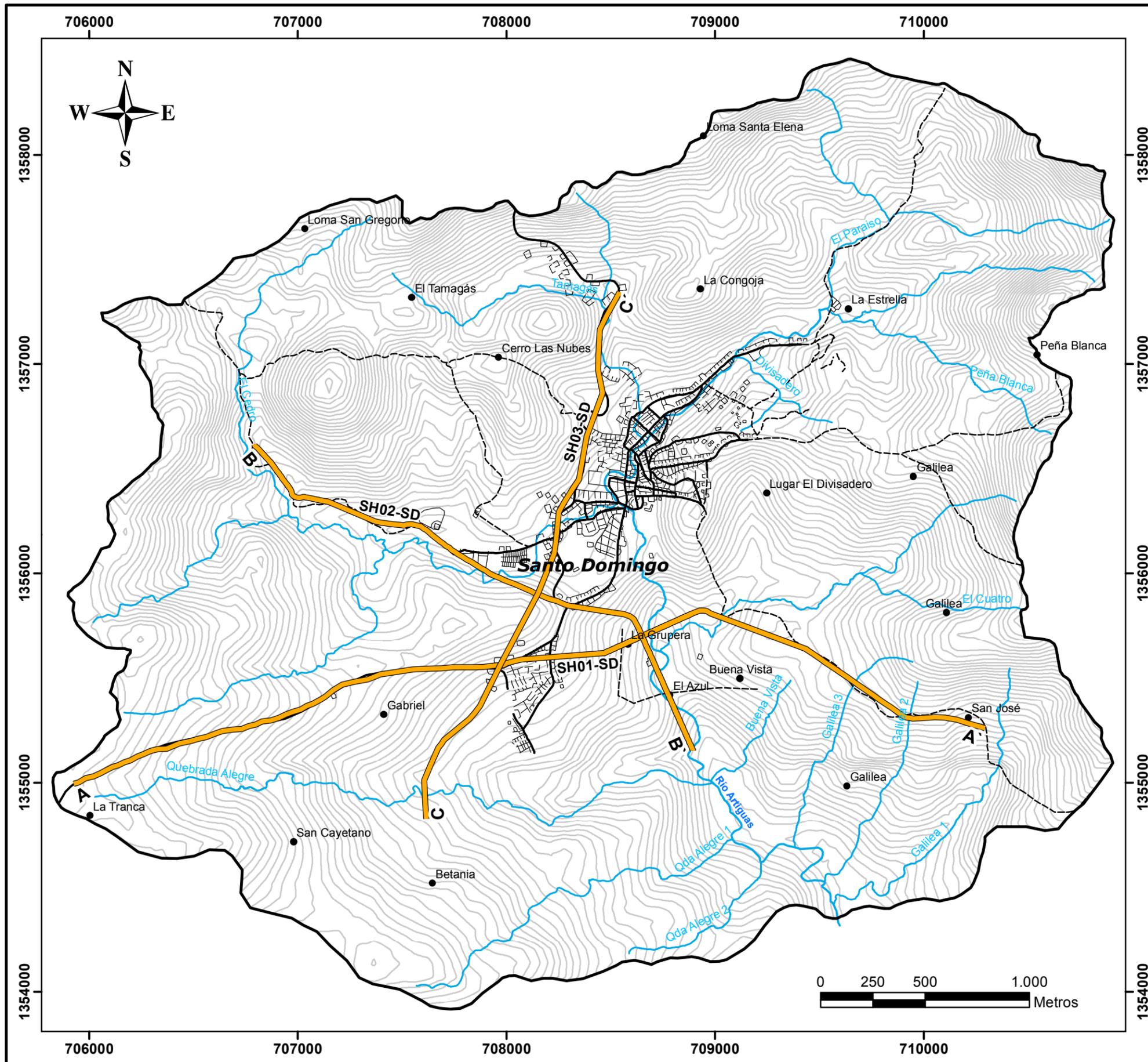


Foto: Piezómetro Ubicado en Area Minera Industrial.

Simbología

- Divisoria
- Secciones Hidrogeológicas
- Ciudad
- Pueblos
- Carretera Principal
- Carretera Secundaria
- Ríos Permanentes
- Ríos Secundarios
- Curvas de nivel

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa de Localización de Secciones Hidrogeológicas
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:20.000
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez

Fig. 5-21

Los datos utilizados en el modelo hidrogeológico fueron obtenidos a partir de la base digital del terreno obtenida de SRTM-30 (Shuttle Radar Topography Mission) para los datos topográficos, del levantamiento geofísico con el método de Tomografías Eléctricas (TE) se obtuvo la geometría de los estratos y de la base de datos de piezómetros se obtuvo la profundidad al agua subterránea y la distribución litológica en profundidad. La exageración vertical es 4 veces la horizontal.

Se distinguen las unidades hidrogeológicas siguientes:

Unidad Hidrogeológica arcillosa (UHar), con espesor de 20 a 50 metros, compuesta por depósitos arcillosos o rocas muy alteradas o saprolita, con baja permeabilidad, baja transmisividad y poco flujo de agua subterránea.

Unidad Hidrogeológica andesita (UHa), con espesor mayor a 200 metros, está compuesta por rocas volcánicas andesíticas compactas. Esta unidad tiene muy baja permeabilidad hidráulica y muy baja transmisividad, pero si está alterada, fracturada o fallada, la permeabilidad es alta, lo mismo que la transmisividad. Los flujos de agua subterránea entonces en esta unidad circulan preferencialmente por las fallas y zonas de fractura.

Unidad Hidrogeológica andesita fracturada (UHaf), con espesor entre 5 y 10 metros, compuesta por rocas volcánicas andesíticas fracturadas. El flujo de agua subterránea principalmente se produce en esta unidad. Constituye el acuífero principal de tipo semiconfinado, de alta permeabilidad y alta transmisividad.

Unidad Hidrogeológica brecha andesítica (UHba), con espesores de 10 a 20 metros, compuesta por rocas volcánicas andesíticas alteradas por procesos hidrotermales. Tiene transmisividad y permeabilidad media.

Unidad Hidrogeológica toba volcánica (UHtv), con espesores entre 10 y 20 metros, producto de la alteración hidrotermal de la andesita, con transmisividad y permeabilidad media.

5.4.2.1. SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA SH01-SD

A partir de los piezómetros HGC-01, 02, 05 y 04 (Hydro-Geo, 2012) e integrando la información geofísica generada en este estudio; en dirección Este-Oeste se elaboró la Sección Hidrogeológica SH01-SD (**Figura 5-22**) con una longitud de 4700 metros aproximadamente. La parte inicial de 2570 metros corresponde a T01-SD, su parte media representada por T12-SD de 500 metros y la parte final, compuesta por T10-SD con una longitud de 1000 metros. La cobertura total de las tomografías en la sección transversal es de 90 %.

En general, esta sección presenta un modelo de tres capas. La primera capa corresponde a afloramientos andesíticos, pertenecientes a la Unidad Hidrogeológica andesitas fracturadas (UHaf) y a la Unidad Hidrogeológica andesita (UHa). Tiene espesores de hasta 10 metros.

La segunda capa está compuesta principalmente por materiales arcillosos, pertenecientes a la Unidad Hidrogeológica arcillosa (UHa), de baja permeabilidad y transmisividad, con espesores que alcanzan los 50 metros de espesor. En esta zona se localizan pequeños flujos de agua.

La tercera capa corresponde a rocas volcánicas andesíticas compactas, pertenecientes a la Unidad Hidrogeológica andesita (UHa), de muy baja permeabilidad y muy baja transmisividad y con espesor mayor a 200 metros. Esta unidad, en profundidad se encuentra fracturada (UHaf) con espesores menor a 10 metros, muy permeable y de alta transmisividad. Constituye el acuífero principal de tipo semiconfinado que se recarga principalmente en las áreas donde aflora.

Entre los 1600 y 2200 metros sobre la sección, se observa una zona de rocas fracturadas (UHaf) que se extienden en profundidad de permeabilidad media y transmisividad media con flujos significativos de agua subterránea. Al inicio de la sección se observa una zona alterada y/o fracturada (UHaf y UHar), con una buena transmisividad y permeabilidad que facilita el flujo de agua subterránea en dirección al cauce principal de Quebrada Alegre.

Los niveles piezométricos, se encuentra en la unidad hidrogeológica UHar, que siendo una unidad de muy baja transmisividad (T) y permeabilidad (k) no se espera la ocurrencia de flujos importantes de agua. Por tanto, se deduce que los flujos de agua subterránea

importantes ocurren en la unidad hidrogeológica UHaf que constituye el acuífero principal semiconfinado.

En esta sección hidrogeológica los flujos de agua subterránea descargan en el sistema de drenaje de Quebrada Alegre, Quebrada Buena Vista y las quebradas Galilea para luego descargar en el cauce principal del Río Artiguas. También, del lado oeste la dirección del flujo subterráneo es hacia el Este y del lado este la dirección del flujo subterráneo es hacia el Oeste.

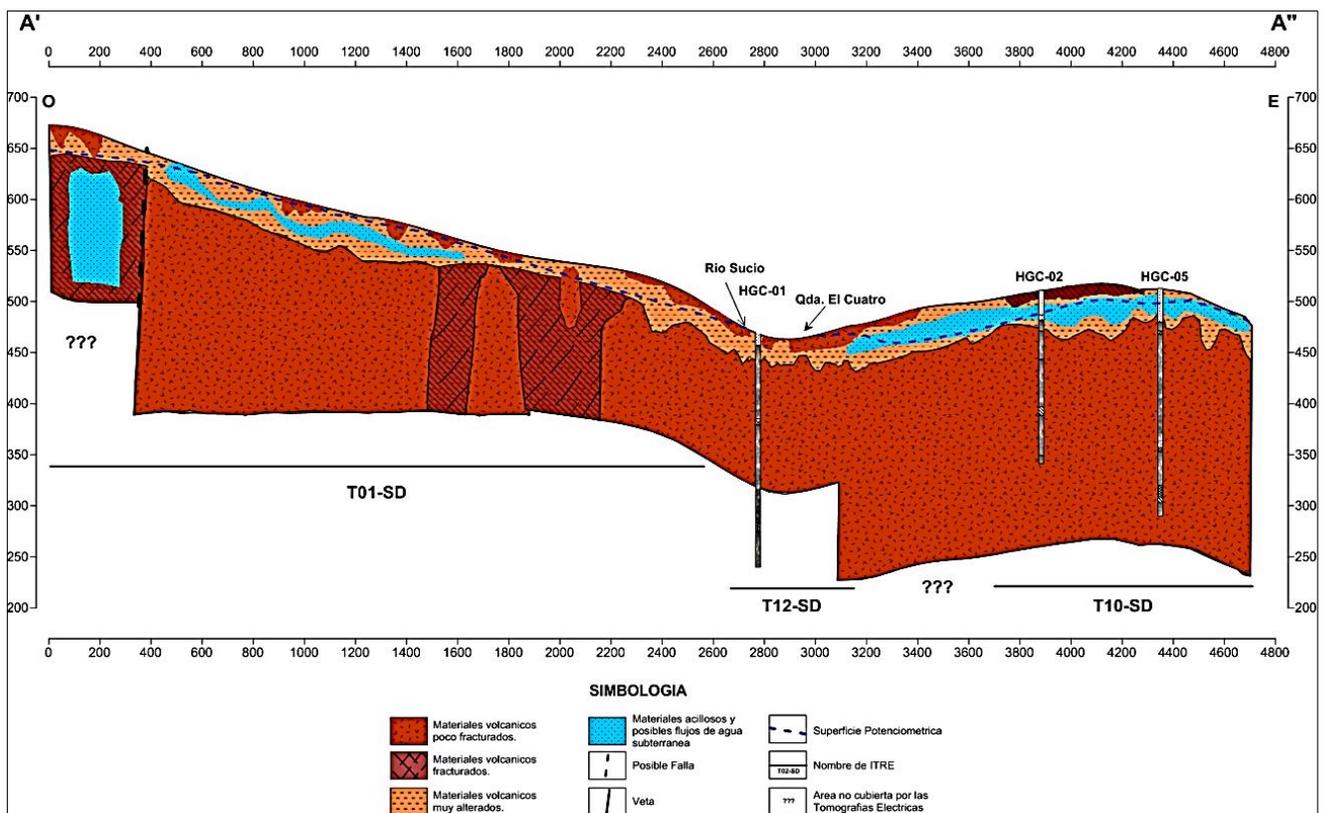


Figura 5-22. Sección Hidrogeológica SH01-SD.

5.4.2.2. SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA SH02-SD

La Sección Hidrogeológica SHD2-SD de 2780 metros de longitud, se extiende de noroeste a sureste (**Figura 5-23**) y se localiza en el extremo sur del poblado de Santo Domingo, finalizando en las cercanías del Túnel Azul. Se construyó con las tomografías eléctricas T04-SD ubicada en la parte inicial y de 800 metros de longitud, T03-SD en el

centro de la sección y con 1000 metros de longitud y en su parte final por la tomografía eléctrica T15-SD con una longitud de 700 metros. La cobertura total de las tomografías en la sección transversal es de 90 %.

En general, esta sección presenta un modelo de tres capas. La primera capa corresponde a afloramientos andesíticos fracturados o compactos los que pueden estar fracturados o poco fracturados (UHaf o UHa). Pueden llegar a alcanzar espesores de hasta 15 metros.

La segunda capa con espesor de hasta 50 metros, está compuesta principalmente por materiales arcillosos y rocas muy alteradas de la Unidad Hidrogeológica arcillosa (UHar). Esta capa tiene permeabilidad y transmisividad muy baja que no da lugar a flujos importantes de agua subterránea. En esta capa se localizan zonas de flujos de agua subterránea que interceptan la superficie del terreno descargando en forma de manantiales o áreas superficiales saturadas en el noroeste de la sección hidrogeológica.

La tercera capa corresponde a rocas andesíticas de la unidad hidrogeológica UHa con espesor mayor a los 200 metros con permeabilidad y transmisividad muy bajas que no dan lugar a flujos importantes de agua subterránea. En la sección se observa que esta unidad está fracturada formando bloques entre los 500 y 1700 metros sobre el perfil, con permeabilidades y transmisividad altas con flujos importantes de agua subterránea. Estas zonas de fracturamiento constituyen el acuífero principal semiconfinado.

En esta sección hidrogeológica, los flujos de agua subterránea se dirigen hacia (al suroeste) el sistema de drenaje de la Quebrada El Cedro a través de la unidad hidrogeológica andesitas fracturadas para posteriormente descargar en el cauce principal del Río Artiguas.

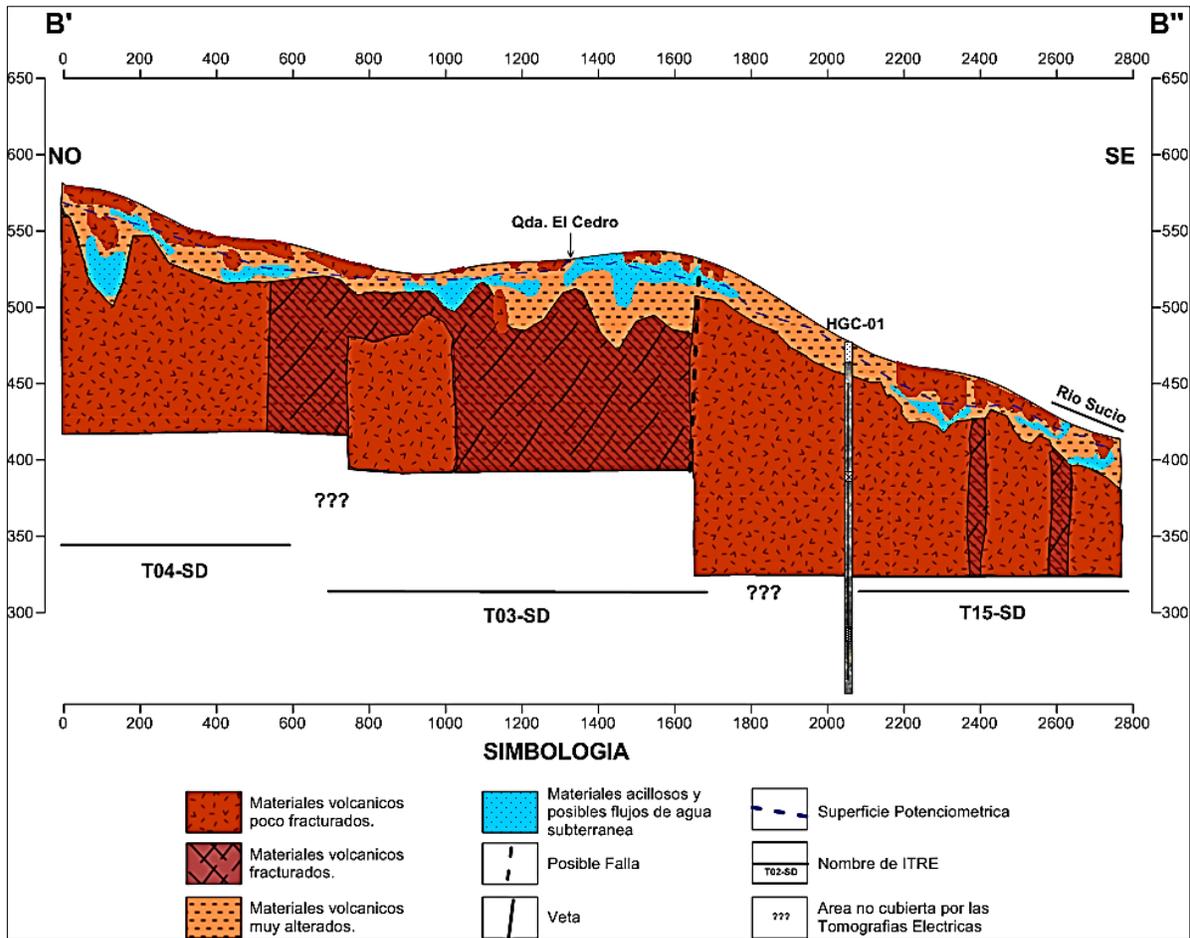


Figura 5-23. Sección Hidrogeológica SH02-SD

5.4.2.3. SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA SH03-SD

La sección hidrogeológica SH03-SD con una longitud de 2800 metros, se extiende de suroeste a noreste, iniciando en los alrededores del cauce principal de Quebrada Alegre, atravesando el poblado de Santo Domingo y finalizando en los alrededores del Cerro Tamagás. Se construyó con las tomografías eléctricas T02-SD en el inicio con 800 metros de longitud, T05-SD de 600 metros de longitud en el centro y con la T06-SD de 600 metros de longitud en el final (Figura 5-24).

En general, esta sección se presenta un modelo suavizado de tres capas. La primera capa corresponde a afloramientos andesíticos fracturados o compactos (UHaf y UHa) con

permeabilidad y transmisividad de media a alta. Su espesor puede alcanzar hasta 20 metros en el extremo noreste. La segunda capa que puede alcanzar espesores de 50 metros, está compuesta por materiales arcillosos o de rocas muy alteradas (UHar) de muy baja permeabilidad y transmisividad y poco flujo de agua subterránea. En esta capa se localizan lentes arcillosos-arenosos que pueden desarrollar acuíferos colgados de poca extensión y espesor pero que pueden ser explotados para abastecimiento de agua a un barrio. Estos acuíferos pueden interceptar la superficie del terreno en forma de manantial o como zona de filtración.

La capa más profunda corresponde a las rocas andesíticas compactas (UHa) con espesores de hasta 200 metros, con permeabilidades y transmisividad muy bajas con poco flujo de agua subterránea. En profundidad se desarrolla un acuífero semiconfinado en una capa de andesita fracturada con espesor menor a 10 metros. A los 600, 1800 y 2400 metros sobre el perfil, se pueden observar zonas de andesita fracturada (UHaf) con permeabilidad y transmisividad alta donde ocurren importantes flujos de agua subterránea.

En esta sección, los flujos de agua subterránea ocurren preferencialmente hacia el este para descargar en el sistema de drenaje inmediato y en el cauce principal del Río Artiguas. Los flujos de agua subterránea se canalizan principalmente por las capas y zonas de andesita fracturada y por los acuíferos lenticulares existentes en la Unidad Hidrogeológica arcillosa.

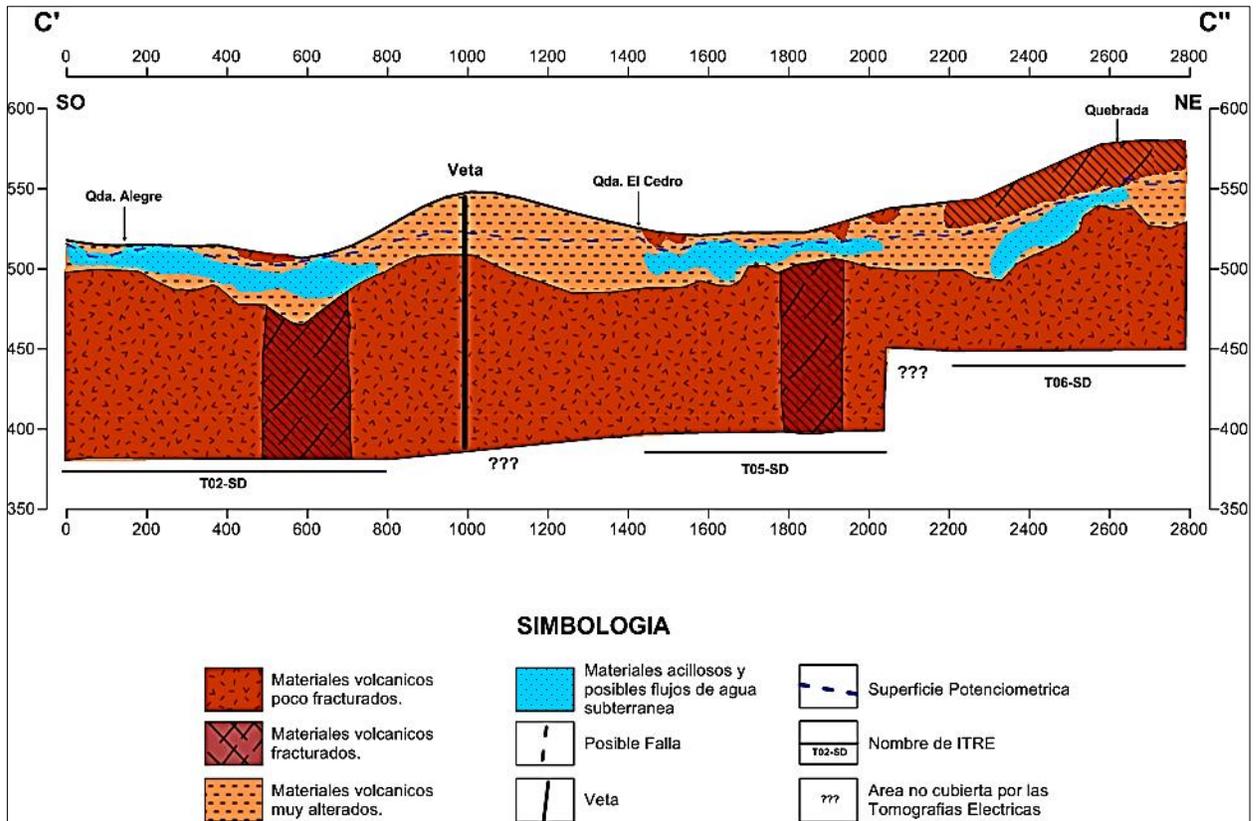


Figura 5-24. Sección Hidrogeológica SH03-SD

5.5. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

En la cuenca alta del Río Artiguas, con altura mínima de 380 msnm, máxima de 670 msnm, pendiente 0.044 %; en un área de 16.374 Km² llueve un promedio anual de 2337.16 mm, de la que se evapotranspira el 71.57 %, se escurre a través del sistema de drenaje el 4 %, es retenida por el follaje el 12.03 % y el 14.60 % (341.13 mm) se infiltra en el subsuelo para recargar a los acuíferos.

En general, a profundidades menores de 250 metros, el subsuelo está compuesto principalmente por dos capas bien definidas: la más superficial fundamentalmente arcillosa tiene espesores desde algunos metros hasta 50 metros aproximadamente, de muy baja permeabilidad y transmisividad, con muy poco flujos de agua subterránea. En ella se desarrollan pequeños acuíferos colgados arcillosos - arenosos o de andesita fracturada que incluso pueden aflorar en la superficie.

La capa más profunda es la compuesta por andesita compacta, de permeabilidad y transmisividad muy bajas, tal que los flujos de agua subterránea son muy pequeños. Esta potente capa, a dos profundidades (a 50 m y 200 m) se encuentra muy fracturada y lateralmente extendidas con espesores menores a 10 m que pueden aflorar en las partes más altas o extenderse hacia cuencas vecinas (**Fig. 5-22**). Se encuentran también fracturamiento de la andesita geoméricamente tabular que se extiende verticalmente en profundidad. Esta capa puede aflorar en superficie y en algunos cauces (**Figuras 5-23 y 5-24**).

La fracción de lluvia que debe recargar a los acuíferos, se infiltra por los afloramientos arcillosos-arenosos y andesita fracturadas que constituyen los acuíferos colgados que se encuentran en la capa superficial arcillosa. Así mismo, el agua de lluvia se infiltra a través del fracturamiento de la andesita que aflora en superficie, sobre todo en las áreas topográficamente altas donde también la capa arcillosa es muy delgada, recargando a los acuíferos de porosidad secundaria (andesita fracturada) que se encuentran a diferentes niveles a menos de 250 metros de profundidad.

En el área, el agua que se infiltra puntualmente puede emerger a la superficie (Manantiales) o puede emerger en zonas topográficamente bajas (humedales) conocidas como áreas de descarga. Estas áreas normalmente se encuentran en las riveras de cauces de ríos, mismos que son alimentados por los acuíferos, de la misma manera que los ríos, en algunos tramos alimentan a los acuíferos que interceptan.

En las divisorias entre subcuencas y en las áreas de recarga (topografía alta), el flujo es principalmente vertical (descendente), por tanto, los niveles piezométricos son más profundo como es el caso de niveles de agua medidos en el piezómetro HGC-03. En las áreas de descarga el flujo de agua es subhorizontal.

En la cuenca alta del Río Artiguas en promedio anual se ha estimado que precipita 5, 983,130 m³, de los cuales se evapotranspira 4, 282,112 m³, es retenido por la vegetación 719,872 m³, como escurrimiento superficial 239,437 m³ y 5,585,663 m³ circula en los acuíferos.

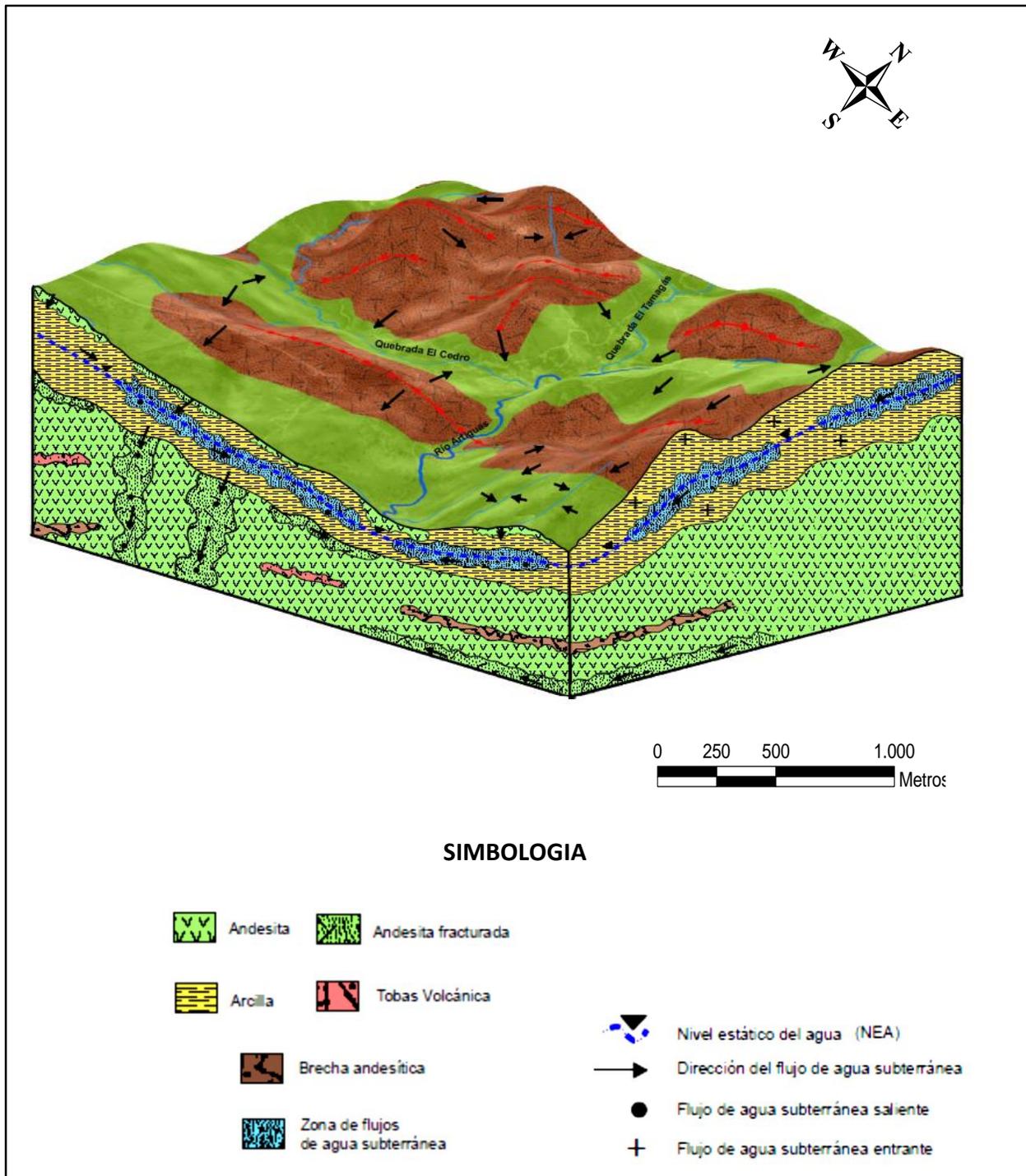


Figura 5-25. Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Cuenca Alta del Río Artigas.

En el mapa hidrogeológico (**Fig. 5-26**) que corresponde a la Cuenca Alta del Río Artiguas se representan las alturas de los niveles de agua subterránea y la dirección de su movimiento. En el mapa también se ubican las fuentes de agua existentes en el área tales como manantiales, pozos y galerías. Así mismo se muestran tres perfiles de secciones hidrogeológicas que representan en profundidad la distribución de capas desde el punto de vista de la geofísica así como las discontinuidades horizontales y verticales de estas capas relacionadas con Fallamiento y/o fracturamiento (**Figuras 5-22, 5-23 y 5-24**). De igual manera en el mapa se representan fallas asociadas o no con mineralización metálica.

La recarga de los acuíferos profundos puede ser por procesos de percolación desde la superficie o infiltrándose por los sistemas de fracturas y fallas. Estos sistemas eventualmente pueden servir de conducto en los procesos de contaminación de las aguas subterráneas.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. Geológicamente, el área de estudio está representada por rocas volcánicas Terciarias, principalmente andesitas que se encuentran alteradas hidrotermalmente. Estas rocas volcánicas también se encuentran fuertemente fracturadas y meteorizadas generando una capa de suelo arcillosa en la parte superficial con espesor máximo aproximado de 50 metros.
2. Geomorfológicamente, el área se ubica en un ambiente de caldera erosionada con elevaciones que oscilan entre 390 y 760 msnm, con pendientes máximas de 70° y topografía abrupta.
3. La cuenca alta del Río Artiguas está controlada estructuralmente por patrones de fallamiento de direcciones NW-SE, NE-SW y E-W.
4. Según la clasificación de Horton, se determinó que el Río Artiguas es de quinto orden, indicando que es una red de drenaje densa, de respuesta rápida a los eventos lluviosos y con tiempos de concentración relativamente cortos. Para la Cuenca Alta del Río Artiguas, el tiempo de concentración de la escorrentía superficial se estimó en aproximadamente una hora.
5. Los caudales aforados en las trece (13) subcuencas estudiadas, variaron desde 0.014 m³/s en la Quebrada El Divisadero, hasta 0.30 m³/s en la Quebrada El Cedro. El caudal de agua superficial que circula en la cuenca alta del Río Artiguas alcanza los 1.5 m³/s. Las Quebradas El Cedro, Alegre, Quebrada El Paraíso y Quebrada El Cuatro; son las que aportan la mayor cantidad de agua superficial en el área; representando las mejores fuentes de aprovechamiento de aguas superficiales.
6. El área investigada tiene 5 unidades hidrogeológicas denominadas como; (UH_a) el basamento hidrogeológico con rocas andesíticas masivas y espesores mayores a 200 m; dentro de la cual se encuentran las unidades hidrogeológicas brecha andesítica (UH_{ba}),

toba volcánica (UHtv) y la Unidad hidrogeológica andesita fracturada (UHaf) que corresponde al acuífero principal, de alta transmisividad, compuesta por rocas andesíticas fracturadas y con un espesor menor a 10 metros. La unidad hidrogeológica arcillosa (UHAr) es la capa superficial de muy baja permeabilidad y transmisividad con pocos flujos de agua subterránea y espesores hasta de 50 metros. La permeabilidad en estas unidades varía entre 5×10^{-6} a 5.1×10^{-3} cm/s.

7. De acuerdo a los resultados obtenidos para calidad de agua, el agua está clasificada esencialmente como bicarbonatada-cálcica, indicando que el agua subterránea que circula en la cuenca en estudio es de reciente infiltración y no recibe aporte de otras cuencas vecinas.

8. Las concentraciones de fluoruro, arsénico y mercurio son menores al valor máximo admisible según algunas normas (O.M.S. 1995 y CAPRE), indicando la no conexión hidráulica entre los flujos superficiales de agua y las aguas subterráneas. Las concentraciones de hierro total superan el valor máximo admisible (0.30 mg/l, según CAPRE, 1993), en el manantial La Peña y las quebradas Alegre, El Cuatro y El Cedro. Estas concentraciones son producto de la descomposición de la andesita por la acción hidrotermal.

9. Se realizaron 13 balances hídricos correspondientes a las subcuencas que conforman la cuenca alta del Río Artiguas para conocer la cantidad de agua recargada, los sectores de recarga y los meses o periodos de mayor recarga. Se deduce que la recarga a los acuíferos se origina en la parte alta de la cuenca, a través del medio poroso superficial donde se encuentra el acuífero detrítico arcilloso arenoso y a través del intenso fracturamiento característico de la zona.

10. Existe un acuífero superior en la unidad hidrogeológica arcillosa-arenosa (UHara) de baja transmisividad de tipo libre. Un acuífero más profundo en la unidad hidrogeológica andesita fracturada (UHaf) de alta transmisividad y confinado.

11. La dirección del flujo de agua subterránea, en la parte NW es en dirección SE, en la parte NE el flujo es hacia el SW, orientados hacia el cauce principal del río Artiguas.

12. Se consideran como alternativas de abastecimiento de agua a la población urbana de Santo Domingo, las fuentes superficiales de Quebrada Alegre, El Cedro y el Paraíso.

13. No existe interconexión de las aguas superficiales que circulan en las subcuencas El Cedro y Quebrada Alegre con las aguas subterráneas que alimentan al Túnel Azul.

6.2. RECOMENDACIONES

1. Elaboración de Propuesta de protección de las fuentes principales de agua subterránea y superficial en la parte alta de la cuenca del Río Artiguas.

2. La fuente del Túnel Azul debe ser conservada y protegida ante cualquier evento o posibilidad de contaminación, para lo cual se recomienda un estudio específico para determinar zonas de protección ante cualquier tipo de contaminación.

3. Como alternativa futura de abastecimiento de agua para consumo humano de la ciudad de Santo Domingo, se recomienda tomar en consideración los sitios favorables propuestos en este estudio.

4. Los sitios de rastras son puntos de contaminación para las aguas superficiales del Río Artiguas y sus afluentes, por lo que se recomienda implementar alternativas de manejo de los desechos provenientes de la minería artesanal.

5. Se recomienda desarrollar un Plan de protección y conservación de las aguas superficiales y subterráneas en Santo Domingo.

6. Se recomienda, que en caso de realizarse trabajos de explotación, en los niveles subterráneos, donde se intercepta la Veta Jabalí y el Túnel Azul, implementar obras de protección para la preservación de esta fuente de agua.

7. Se recomienda continuar realizando monitoreos de calidad de agua en el Túnel Azul y las otras fuentes principales de agua de la cuenca alta del Río Artiguas.

CAPITULO VII

7. BIBLIOGRAFIA

- Andre, L., Rosen, K. & Torstendahl, J., 1997. *Minor field study of mercury and lead pollution from gold refining in central Nicaragua*. Luleå University of Technology, Sweden.
- Aronsson, M. & Wallner, C., 2002. *Inventory of springs and hydrochemical investigations of groundwater in the drainage basin of Sucio river, Nicaragua*. Lund University, Sweden.
- ASTM, 2008. D 3385. Guía estándar para la determinación de la caracterización de la rata de infiltración de agua en el terreno empleando infiltrómetros de anillo doble.
- ASTM, 2008. D2938 Practica estándar de clasificación de suelos para propósitos ingenieriles. ASTM Internacional.
- B2GOLD-DESMINIC S.A., 2012. Línea Base Santo Domingo-Chontales, Nicaragua. Tomo I
- Bouwer H, 1986. Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. U.S. Water Conservation Laboratory, ARS, USDA. Phoenix Arizona.
- Carranza, G. & Ginet, C., 1987. Prospección geoquímica regional. Región Central de Nicaragua, Boaco-Rama. INMINE/SGAB/ASDI.
- Dahlin, T., 2001. The Development of DC Resistivity Imaging Techniques. Computers Geosciences.
- Darce, M., 1987. Geología del distrito minero La Libertad, Nicaragua. Revista Geológica de América Central.
- Darce, M., 1989. *Mineralogical alteration patterns, chemical mobility and origin of the La Libertad gold deposits, Nicaragua*. Ph.D. Thesis, University Stockholm, Sweden.
- Ehrenborg, J., 1996. *Una Nueva Estratigrafía de Rocas Volcánicas Terciarias en la Región Central de Nicaragua*. Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Luleå.

- Espinoza, L. & Espinoza, T., (2005). *Impacto de la minería en la calidad del agua en la Microcuenca del Río Artiguas. Énfasis en metales pesados*. Tesis, Universidad Centroamericana. UCA.
- Grunander, K. & Nordenberg, E., (2004). *Investigation of Groundwater-Surface Water Interaction in the Drainage Basin of the River Sucio, Nicaragua*. Lund University, Sweden.
- Herrera, M., 2005. *Mapeo Geológico de la Sub-Cuenca Sur del Río Sucio en Santo Domingo, Chontales*. Tesis, UNAN-Managua.
- Hodgson, G., 1972. Mapa Geológico de la hoja topográfica La Libertad. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Managua, Nicaragua.
- Hodgson, G., 2000. Geología Regional: Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.
- Horton, R.E. Erosional Development of Streams, Geo. Soc, Am. Bul., vol. 56, pp. 281-283, 1945.
- Hydro-Geo, 2012. *Estudio hidrogeológico del proyecto Jabalí Central. Chontales, Nicaragua*.
- IAEA, 1980. Uranium evaluation and mining techniques, STI/PUB/524
- IGG-CIGEO, 2014. *Estudio geofísico del Túnel Azul y Rampa Jabalí Santo Domingo Chontales*. Tomo I.
- IGG-CIGEO, 2015. *Estudio Hidrogeológico y Balance Hídrico en la Cuenca Alta del Río Artiguas en Santo Domingo, Chontales*.
- INETER-COSUDE, 2004. *Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua*.
- Lilljequist, R. & Hodgson, G., 1983. *Structures and rocks formations related to precious metal veins deposits in Nicaragua*.
- Loke, M.H. & Barker, R.D., 1996. Rapid Least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a Quasi-Newton Method. Geophysical Prospecting.
- Loke, M.H. & Dahlin, T., 2002. A Comparison of the Gauss-Newton and Quasi-Newton Methods in Resistivity Imaging Inversion. Journal of Applied Geophysics.
- MARENA/INFOM/CIRA/UNAN-Managua/Alcaldías de La Libertad, Santo Domingo, San Pedro de Lovago, Santo Tomas y Villa Sandino., Diciembre 2006. Diagnóstico ambiental de la Subcuenca Alta de los ríos Siquia y Mico.

- Martínez-Alfaro, 2006. Fundamentos de Hidrogeología, Ediciones Paraninfo S.A. ISBN 13: 9788484762393 e ISBN 10: 8484762394
- McBirney, Alexander R. and Howel Williams, 1965. Volcanic History of Nicaragua Volumen 55. University of California publications in geological sciences, Calif University of California Berkeley.
- Mendoza, A., 2002. *Geophysical and hydrogeological investigations in the Rio Sucio watershed, Nicaragua*. Lund University, Sweden.
- Mendoza, A., 2006. *Groundwater occurrence and risk of pollution in a mountain watershed of Nicaragua*. Lund University, Sweden.
- Muñoz C, Fernández B, Espinoza C y Rodríguez F, 2003. Estandarización de ensayos de conductividad hidráulica decampo para el diseño de obras de infiltración. Santiago-Chile.
- Oldenburg, D.W. & Li, Y., 1994. Inversion of induced Polarization Data. Geophysics.
- Parsons Corporation Report., 1972. The geology of western Nicaragua, Final Tech. Rept., 4, Nicaragua Tax Improvement and Natural Resources Inventory Project, Managua, Nicaragua.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A, 193: 120-45.
- Picado, F., 2008. *Fluvial transport and risk of mercury in a gold mining area*. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA).
- Romero, F., 1996. *Contaminación de Hg y Pb en fuentes de agua, área de Santo Domingo, Chontales*. Centro de Investigaciones Geo-científicas, Managua.
- Rodríguez, D., 1998. *Mineral deposits and metalogenic provinces in Nicaragua*. En: Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D., 1998. Investigación Científica en Nicaragua. Proyecto Conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.
- Silva, G., 1994. *Diagnóstico decontaminación ambiental generada por la actividad minera sobre los ríos Sucio, Mico y Sinecapa, Nicaragua*. Universidad Federal de Brasil.
- Sánchez, M., 2004. *Estudio Geológico de la parte Norte de la Sub-Cuenca del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales*. Tesis, UNAN-Managua.

- Troéng, B., 1987. *Structural interpretation of La Libertad área*. INMINE/SGAB/ASDI.
- Tsourlos, P., 1995. Modeling Interpretation and Inversion of Multielectrode Resistivity Survey Data. Ph.D. Dissertation. Dept. of Electronics, University of York, York, United Kingdom.
- http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/CHONTALES/sto_domingo.pdf

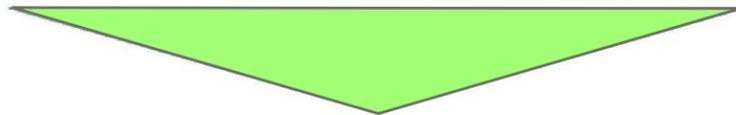
ANEXOS

ANEXO A

Aforos en la cuenca alta del Río
Artiguas



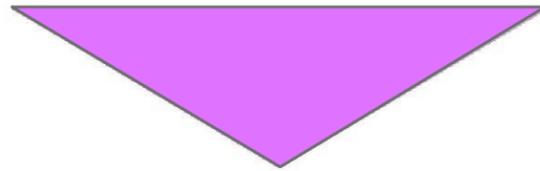
Quebrada El Cedro: $A = 0.32 \text{ m}^2$, $v = 0.10 \text{ m/s}$, $Q = 0.320 \text{ m}^3/\text{s}$



Quebrada El Divisadero: $A = 0.04 \text{ m}^2$, $v = 0.40 \text{ m/s}$, $Q = 0.014 \text{ m}^3/\text{s}$



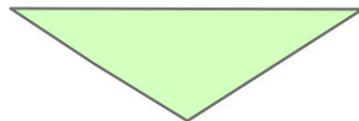
Quebrada Galilea 1: $A = 0.16 \text{ m}^2$, $v = 0.19 \text{ m/s}$, $Q = 0.030 \text{ m}^3/\text{s}$



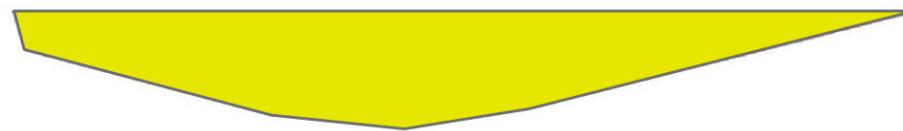
Quebrada Galilea 2: $A = 0.04 \text{ m}^2$, $v = 0.20 \text{ m/s}$, $Q = 0.076 \text{ m}^3/\text{s}$



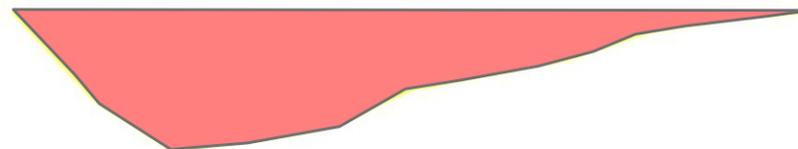
Quebrada Alegre: $A = 0.71 \text{ m}^2$, $v = 0.40 \text{ m/s}$, $Q = 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$



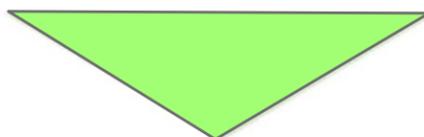
Quebrada Alegre 1: $A = 0.03 \text{ m}^2$, $v = 1.00 \text{ m/s}$, $Q = 0.030 \text{ m}^3/\text{s}$



Quebrada El Cuatro: $A = 0.15 \text{ m}^2$, $v = 0.70 \text{ m/s}$, $Q = 0.105 \text{ m}^3/\text{s}$



Quebrada El Paraíso: $A = 0.35 \text{ m}^2$, $v = 0.50 \text{ m/s}$, $Q = 0.175 \text{ m}^3/\text{s}$



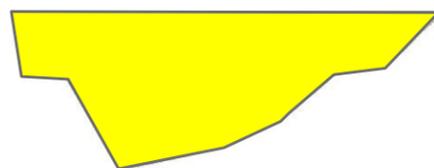
Quebrada El Tamagás: $A = 0.15 \text{ m}^2$, $v = 0.60 \text{ m/s}$, $Q = 0.090 \text{ m}^3/\text{s}$



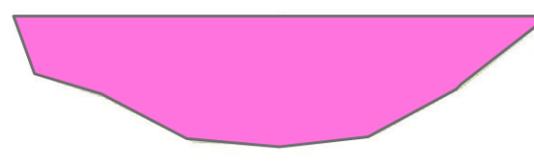
Quebrada Peña Blanca: $A = 0.18 \text{ m}^2$, $v = 0.40 \text{ m/s}$, $Q = 0.072 \text{ m}^3/\text{s}$



Río Artiguas (Salida): $A = 2.83 \text{ m}^2$, $v = 0.53 \text{ m/s}$, $Q = 1.50 \text{ m}^3/\text{s}$



Río Artiguas (Inicio): $A = 0.55 \text{ m}^2$, $v = 0.50 \text{ m/s}$, $Q = 0.275 \text{ m}^3/\text{s}$



Túnel Azul (Salida): $A = 0.24 \text{ m}^2$, $v = 0.50 \text{ m/s}$, $Q = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua

“Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores”

Aforos en la Cuenca Alta del Río Artiguas

Br. Greicy Daniela Aldana González

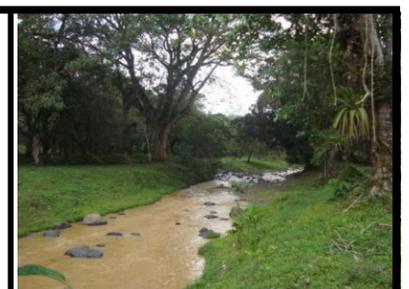
Anexo A

Simbología

Q= Caudal circulante en el cauce del río

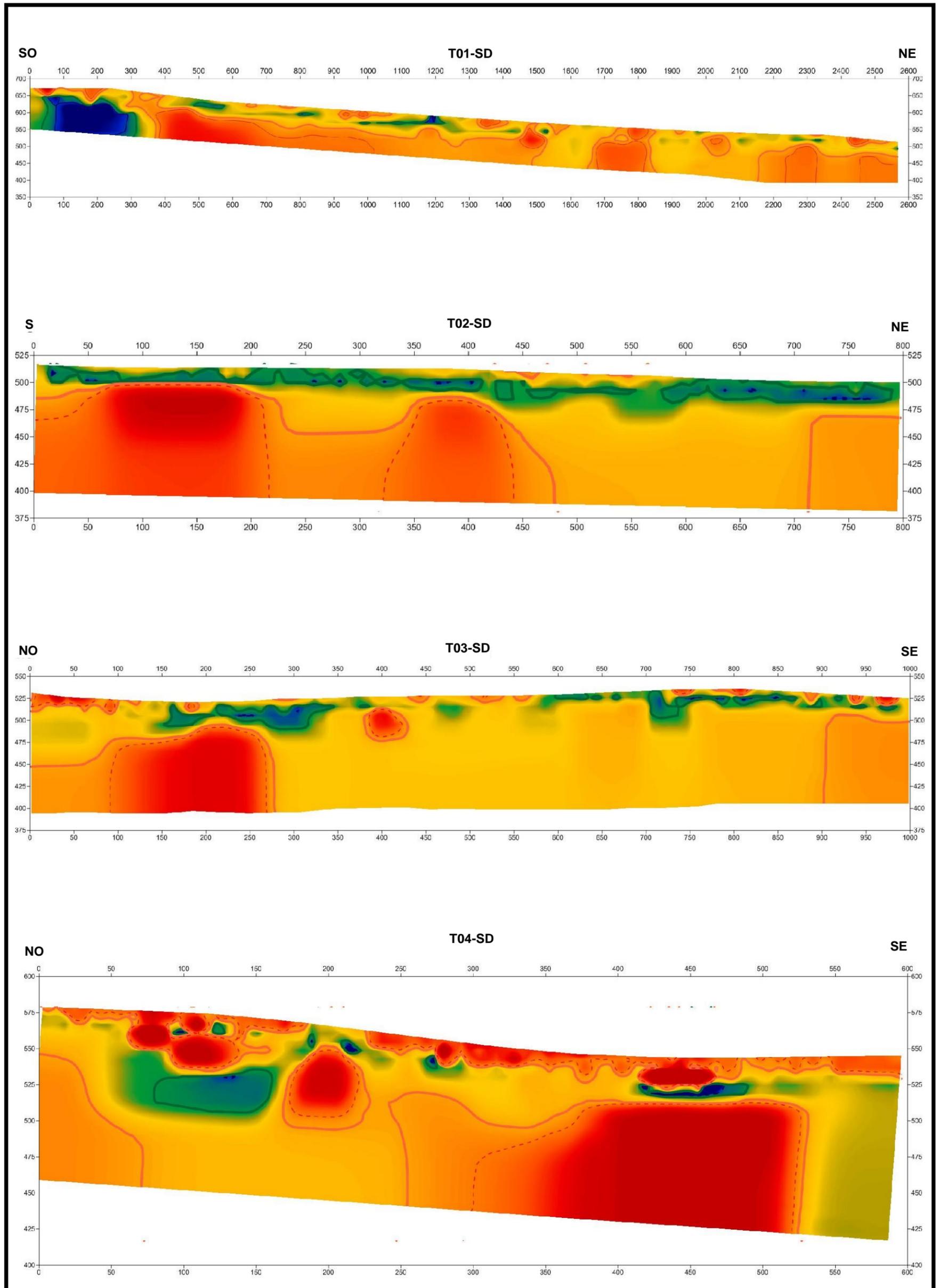
v= Velocidad de la corriente en el cauce del río

A= Área del perímetro mojado en el cauce del río

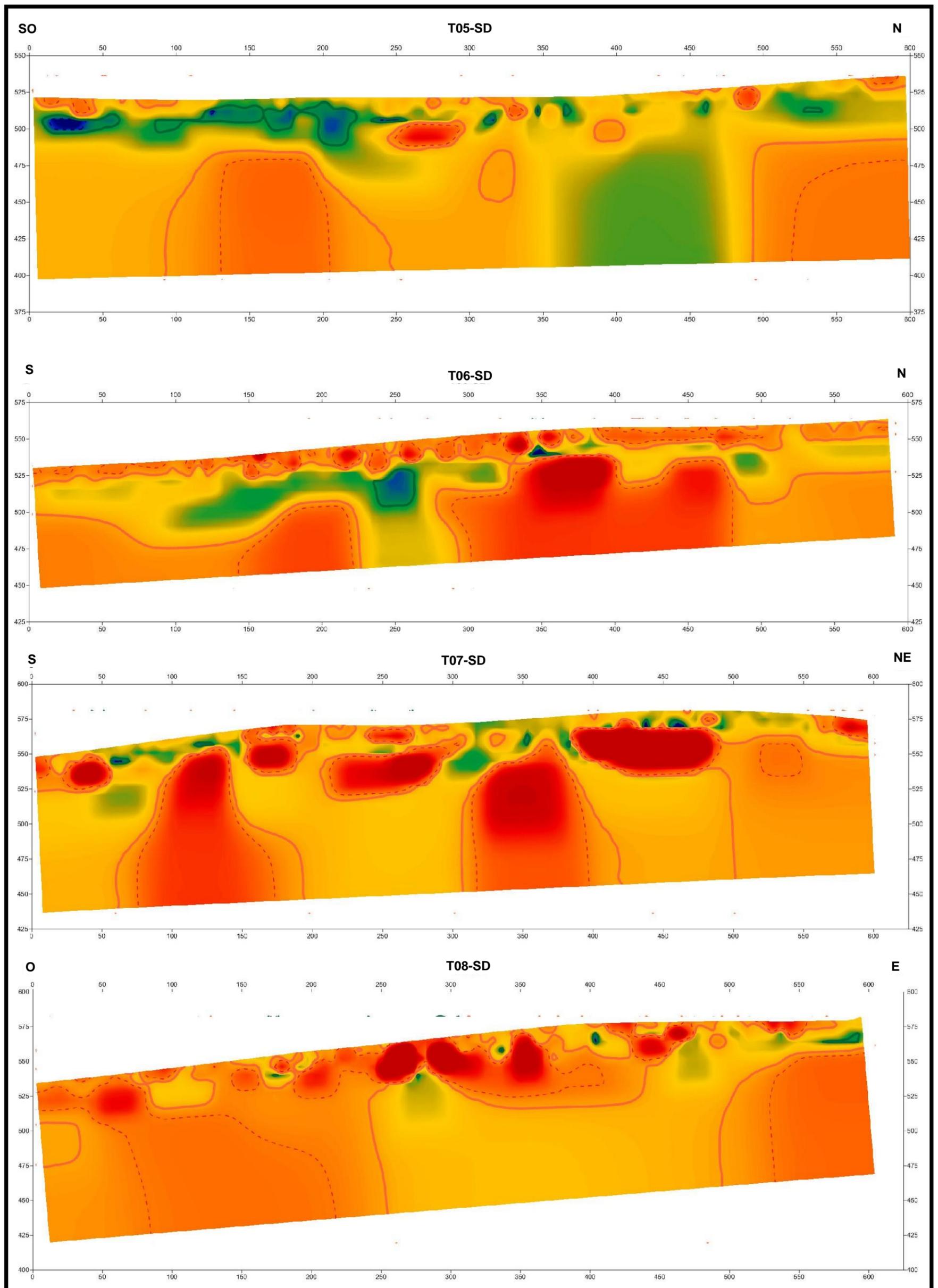


ANEXO B

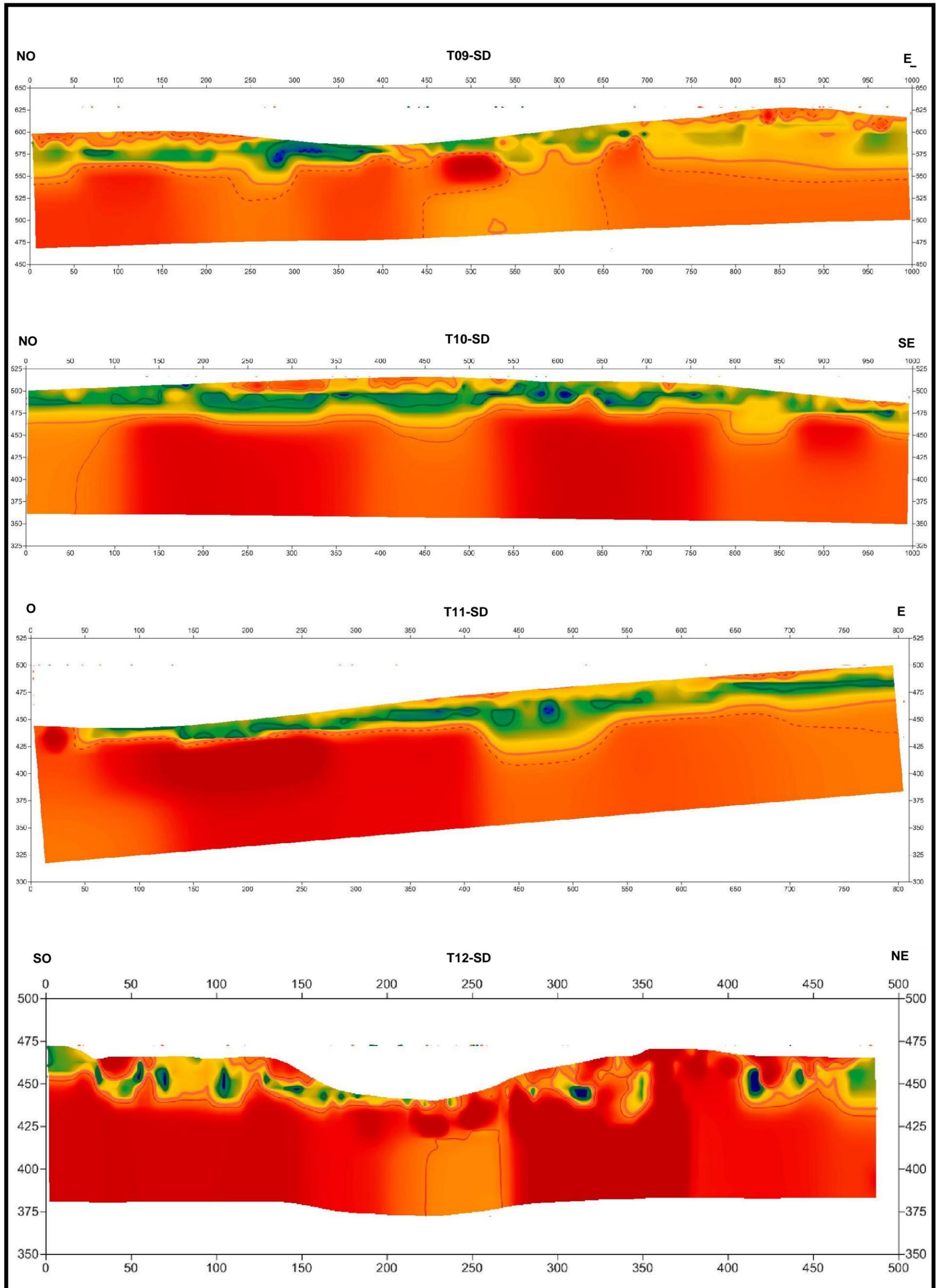
Tomografías Eléctricas en la cuenca
alta del Río Artiguas

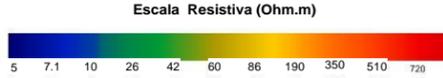


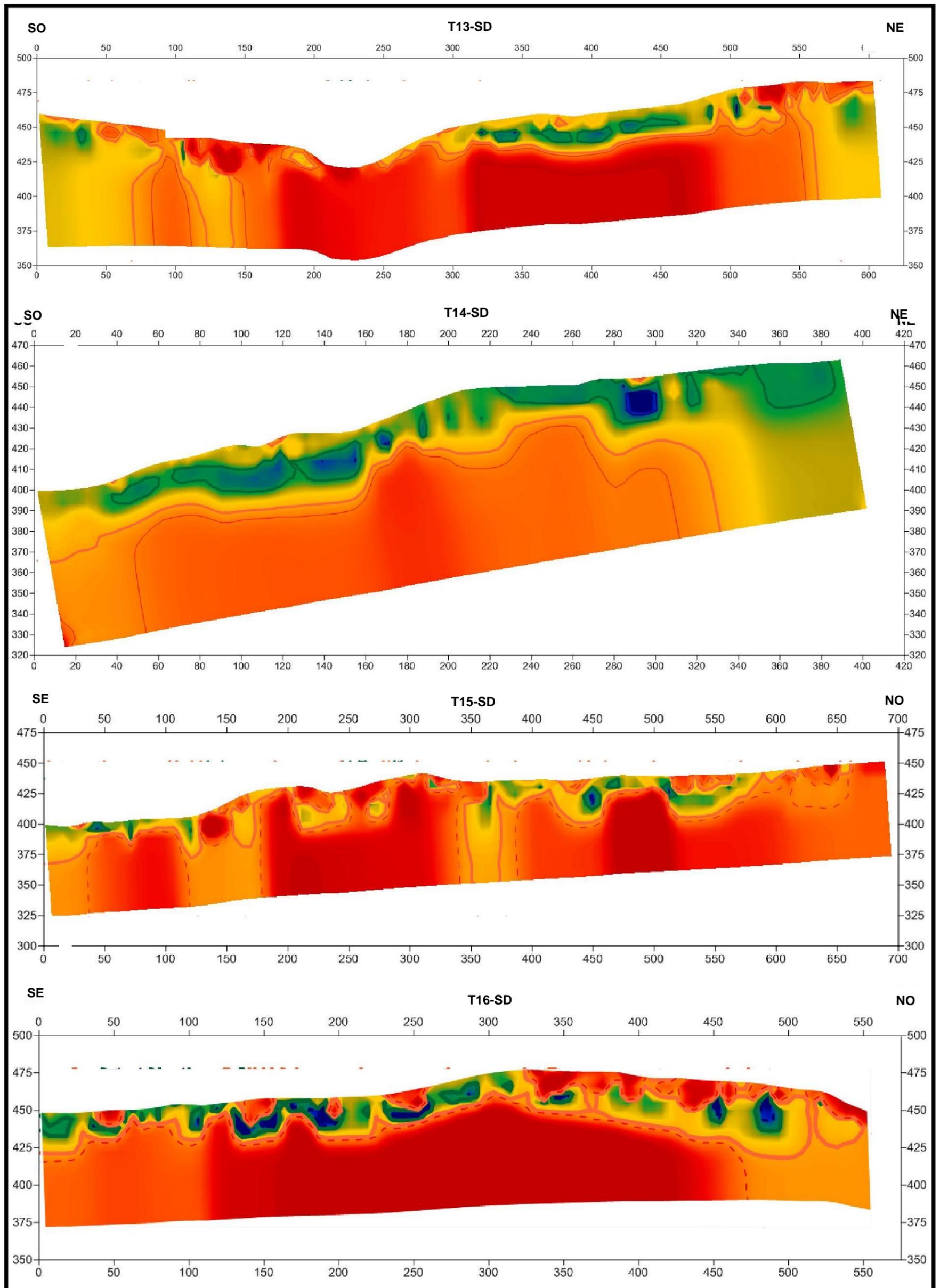
	Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua	Escala Resistiva (Ohm.m)	
"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"			
Tomografías Eléctricas T01-SD, T02-SD, T03-SD y T04-SD			
Br. Greicy Daniela Aldana González	Anexo B-1		



 <p>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua</p>	<p>Escala Resistiva (Ohm.m)</p>  <p>5 7.1 10 26 42 60 86 190 350 510 720 1100</p>	
<p>"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"</p> <p>Tomografías Eléctrica T05-SD, T06-SD, T07-SD y T08-SD</p>		
<p>Br. Greicy Daniela Aldana González</p>	<p>Anexo B-2</p>	



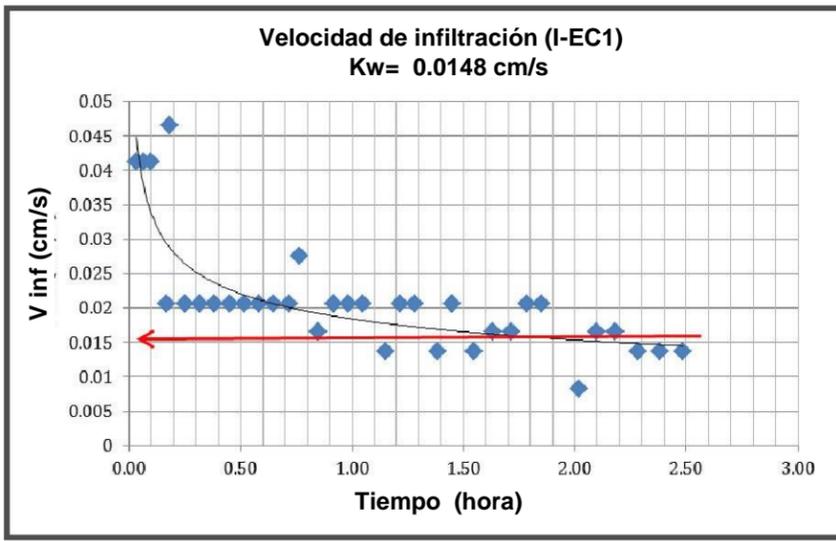
	<p>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua</p>	<p style="text-align: center;">Escala Resistiva (Ohm.m)</p> 	
<p>"Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"</p>			
<p style="text-align: center;">Tomografías Eléctricas T09-SD, T10-SD, T11-SD y T12-SD</p>			
<p>Br. Greicy Daniela Aldana González</p>	<p>Anexo B-3</p>		



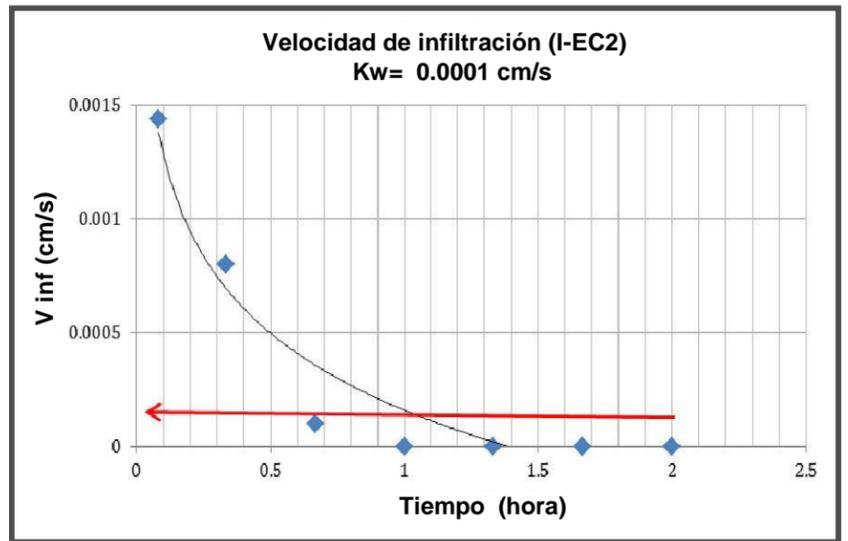
	<p>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua</p>	<p>Escala Resistiva (Ohm.m)</p>	
<p>“Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores”</p>			
<p>Tomografías Eléctricas T13-SD, T14-SD, T15-SD y T16-SD</p>			
<p>Br. Greicy Daniela Aldana González.</p>	<p>Anexo B-4</p>		

ANEXO C

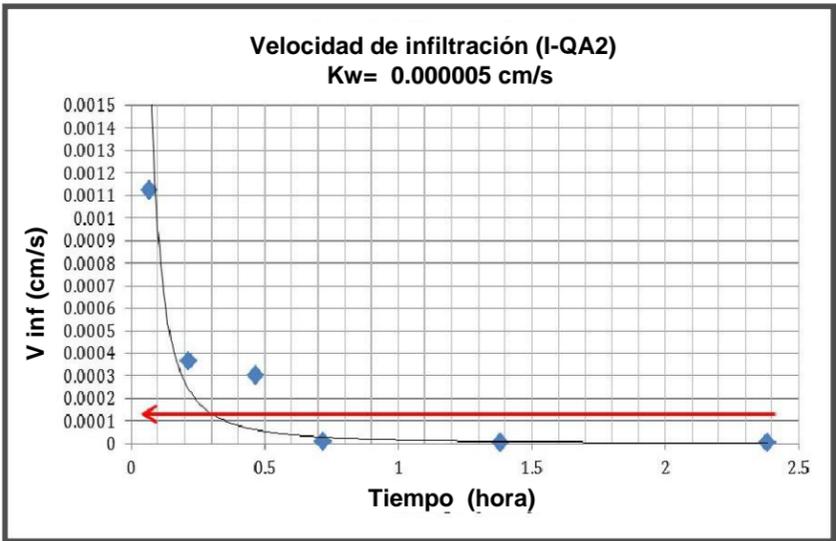
Conductividades Hidráulicas en la
cuenca alta del Río Artiguas



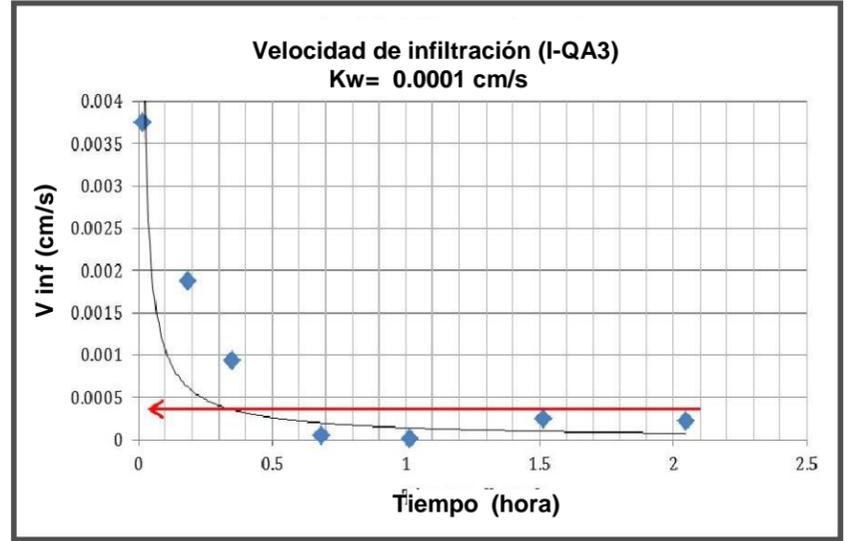
El Cedro 2



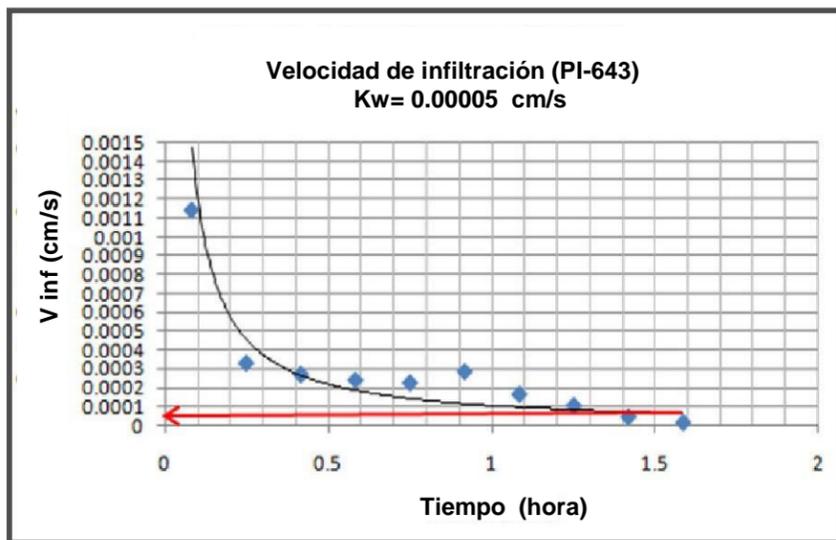
El Cedro



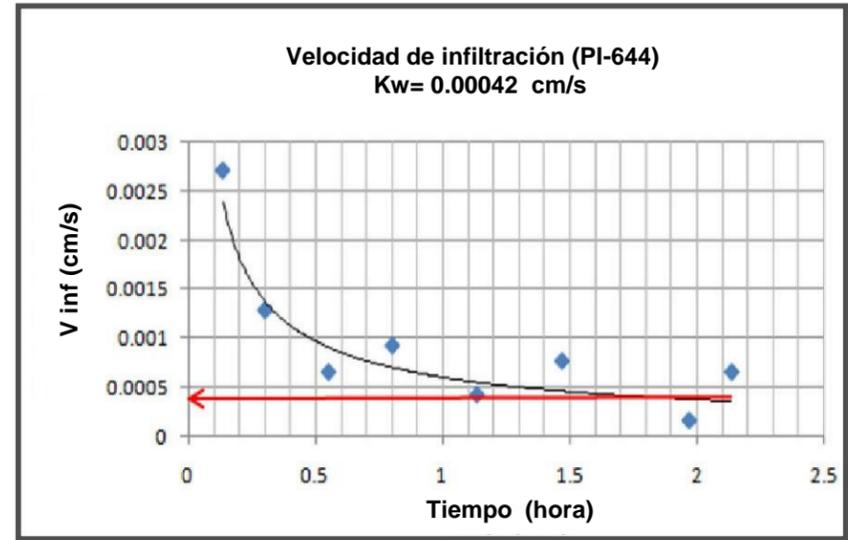
Quebrada Alegre



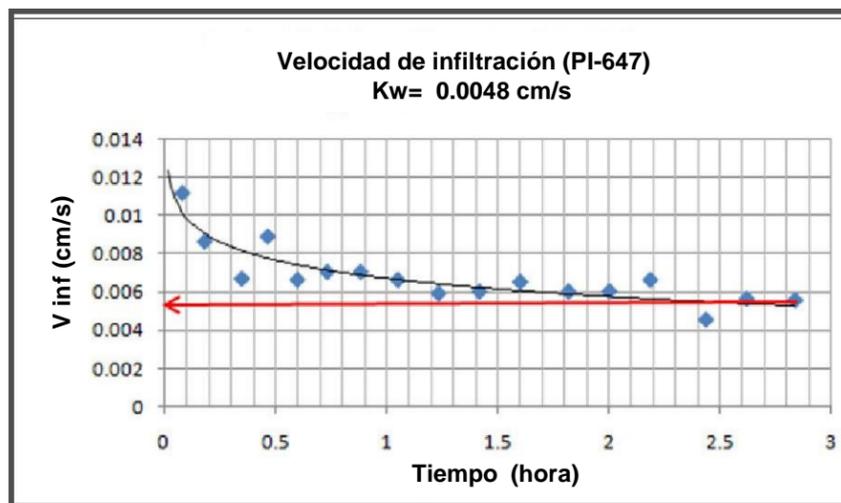
Quebrada Alegre



Quebrada Galilea



Quebrada Galilea



El Cuatro



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua

“Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores”

Conductividad Hidráulica en la Cuenca Alta del Río Artiguas

Br. Greicy Daniela Aldana González

Anexo C-1

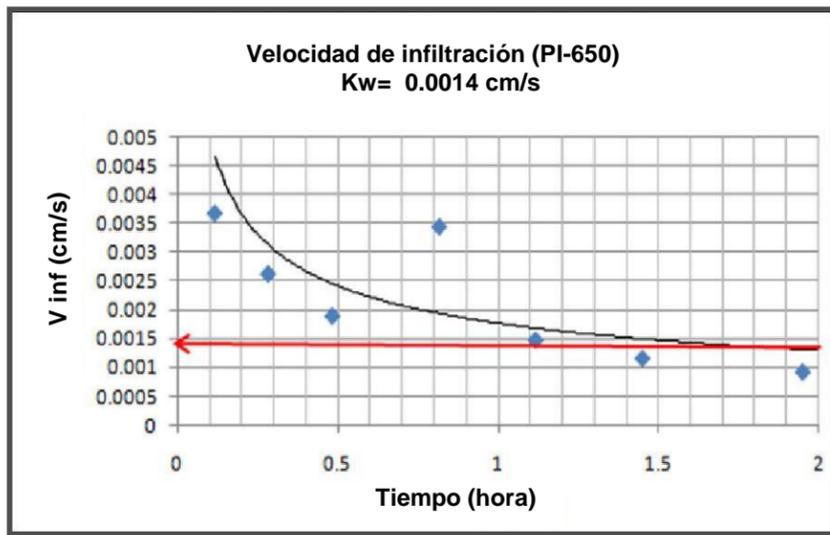
Simbología

V_{inf} = Velocidad de infiltración (cm/s)

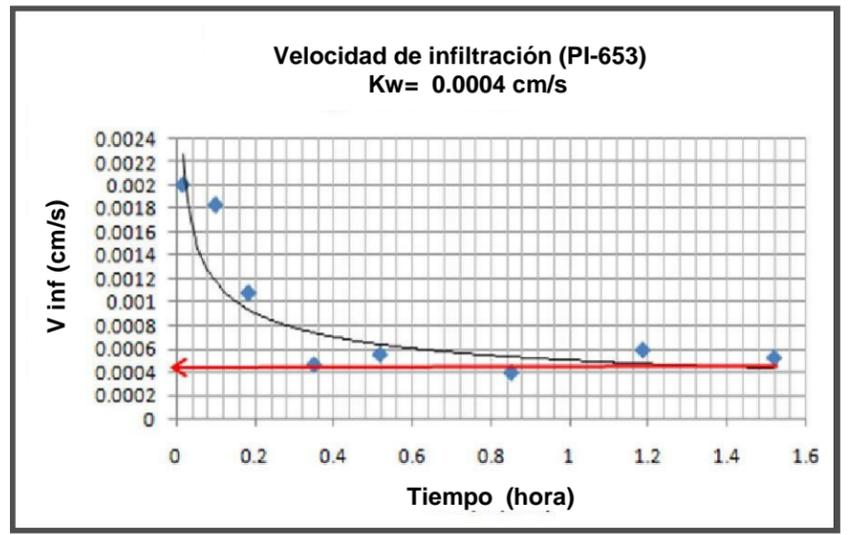
T= Tiempo (hora)

K_w = Conductividad hidráulica (cm/s)

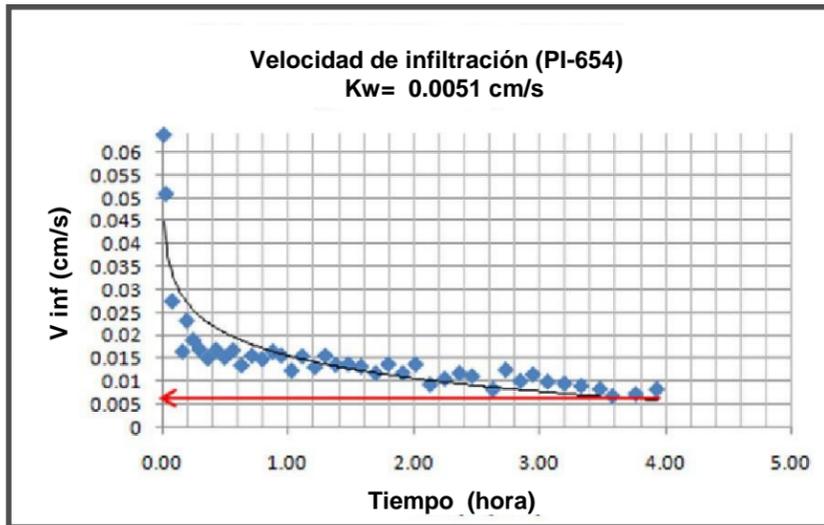




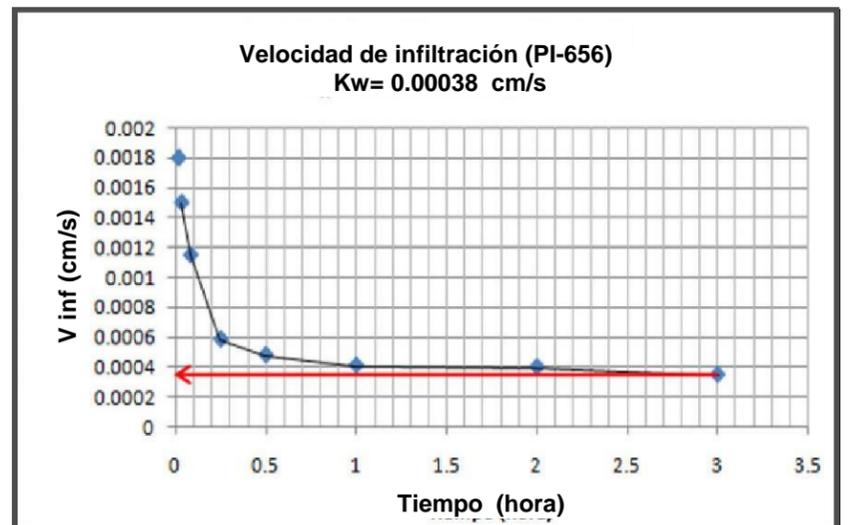
Quebrada Alegre



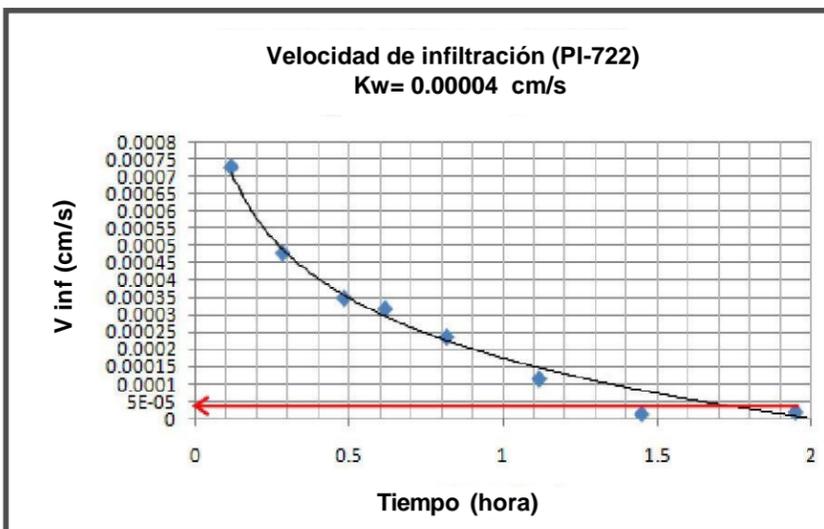
Quebrada Paraíso



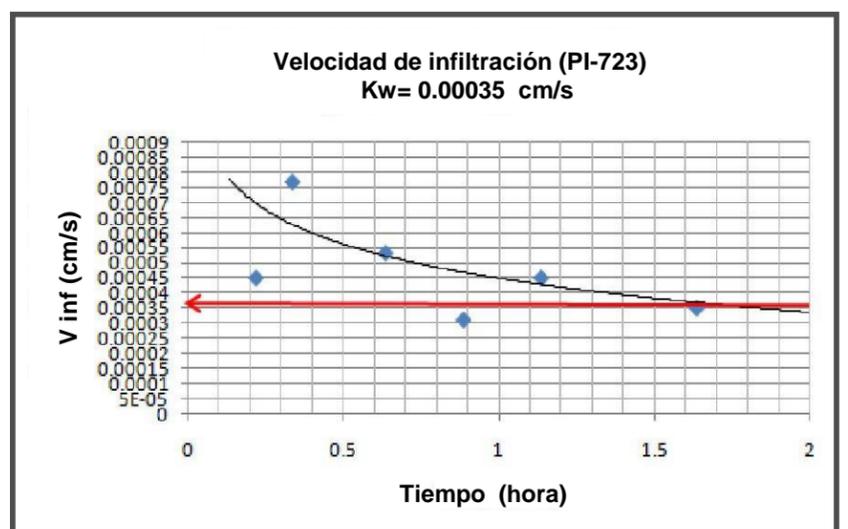
Peña Blanca



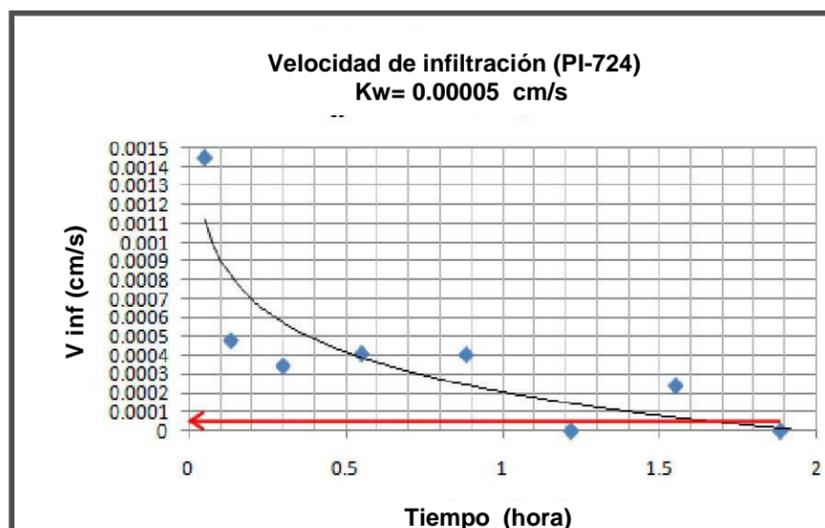
Quebrada El Cuatro



Quebrada El Cedro



Quebrada El Tamagás



Quebrada El Tamagás

 <p>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua</p>	
<p>“Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores”</p>	
<p>Conductividad Hidráulica en la Cuenca Alta del Río Artiguas</p>	
<p>Br. Greicy Daniela Aldana González</p>	<p>Anexo C-2</p>

<p>Simbología</p> <p>V_{inf}= Velocidad de infiltración (cm/s)</p> <p>T= Tiempo (hora)</p> <p>K_w= Conductividad hidráulica (cm/s)</p>

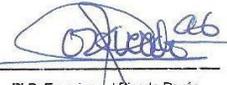
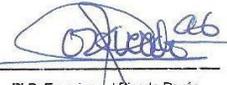
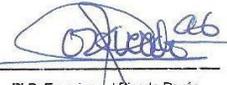


ANEXO D

Resultados Analíticos de las aguas de
la Cuenca alta del Río Artiguas

RESULTADOS ANALITICOS DE METALES PESADOS

Quebrada El Tamagás (M-TAM)

	Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6932 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni																						
Resultados Analíticos de Metales Pesados																							
CLIENTE <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA Rotonda Universitaria 200 m al Este Managua, Managua Ing. Lener Sequeira Tel. 22703983 </div>	MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE LUGAR Y/O COMUNIDAD MUNICIPIO, DEPARTAMENTO COORDENADAS FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CODIGO DEL LABORATORIO FECHA DE RECEPCION FECHA DE INICIO DEL ANALISIS FECHA DEL REPORTE	AGUA NATURAL Manantial M - TAM El Tamagás Santo Domingo Santo Domingo, Chontales 1357177N: 707762 E 2014-12-12 09 h 35 CM-821 2014-12-15 2014-12-15 2014-12-18																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Parámetros</th> <th style="width: 15%;">Método</th> <th style="width: 10%;">Límite de Detección</th> <th style="width: 10%;">Resultados</th> <th style="width: 10%;">Unidades</th> <th style="width: 40%;">Valores máximos admisibles OMS²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arsénico total</td> <td>E. Rothery. et al, 1984¹</td> <td>0,99</td> <td>< Id</td> <td>µg. l⁻¹</td> <td>10,00 µg l⁻¹</td> </tr> <tr> <td>Mercurio total</td> <td>E. Rothery. et al, 1984¹</td> <td>0,09</td> <td>< Id</td> <td>µg. l⁻¹</td> <td>1,00 µg l⁻¹</td> </tr> </tbody> </table>						Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valores máximos admisibles OMS ²	Arsénico total	E. Rothery. et al, 1984 ¹	0,99	< Id	µg. l ⁻¹	10,00 µg l ⁻¹	Mercurio total	E. Rothery. et al, 1984 ¹	0,09	< Id	µg. l ⁻¹	1,00 µg l ⁻¹
Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valores máximos admisibles OMS ²																		
Arsénico total	E. Rothery. et al, 1984 ¹	0,99	< Id	µg. l ⁻¹	10,00 µg l ⁻¹																		
Mercurio total	E. Rothery. et al, 1984 ¹	0,09	< Id	µg. l ⁻¹	1,00 µg l ⁻¹																		
Observación: Muestras recolectadas y transportadas por el cliente, muestras tomadas cuatro días antes de ingresar al laboratorio, cliente asume responsabilidad al proporcionarle los datos.																							
Datos de Campos Proporcionados por el cliente: pH: 6,00 Unidades de pH Temperatura: 22,90 °C Conductividad Eléctrica: 58,70 µS.cm ⁻¹ Salinidad: 1 ‰																							
Clavo: Id: Límite de detección.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  MSc. Maximina Altamirano Espinoza </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  Ph.D. Francisco J. Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos </td> </tr> </table>				 MSc. Maximina Altamirano Espinoza	 Ph.D. Francisco J. Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos																
 MSc. Maximina Altamirano Espinoza	 Ph.D. Francisco J. Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos																						
Referencias: 1 E. Rothery, 1984. Operaton Manual - VISA 76, VARIAN. 2 Organización Mundial de la Salud, 1996. Guías para la calidad del agua potable. 2ª Ed. Ginebra: OMS.																							

Quebrada El Tamagás (M-TAM2)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al Este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

Resultados Analíticos de Metales Pesados

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Manantial
IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	M - TAM2
LUGAR Y/O COMUNIDAD	El Tamagás Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1356780N: 708613 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-12
HORA DE MUESTREO	13 h 00
CODIGO DEL LABORATORIO	CM-819
FECHA DE RECEPCION	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2014-12-18

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valores máximos admisibles
					OMS ²
Arsénico total	E. Rothery. et al, 1984 ¹	0,99	< Id	µg. l ⁻¹	10,00 µg l ⁻¹
Mercurio total	E. Rothery. et al, 1984 ¹	0,09	< Id	µg. l ⁻¹	1,00 µg l ⁻¹

Observación: Muestras recolectadas y transportadas por el cliente, muestras tomadas cuatro días antes de ingresar al laboratorio, cliente asume responsabilidad al proporcionarle los datos.

Datos de Campos Proporcionados por el cliente:

pH: 5,60 Unidades de pH
 Temperatura: 24,70 °C
 Conductividad Eléctrica: 87,00 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰

Clave:
 Id: Límite de detección.

Referencias:

- 1 E. Rothery, 1984. Operación Manual - VQA 76, VARIAN.
- 2 Organización Mundial de la Salud, 1995. Guías para la calidad del agua potable. 2ª Ed. Ginebra: OMS.

 MSc. Maximina Altamirano Espinoza	 Ph.D. Francisco J. Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos
---------------------------------------	--

Túnel Tapalwacito (T-TW)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postasl 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos de Metales Pesados

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al Este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE LUGAR Y/O COMUNIDAD MUNICIPIO, DEPARTAMENTO COORDENADAS FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO	AGUA NATURAL Manantial T - TW Tapalwacito Santo Domingo Santo Domingo, Chontales 1357061N: 708454 E 2014-12-12 08 h 30
CODIGO DEL LABORATORIO FECHA DE RECEPCION FECHA DE INICIO DEL ANALISIS FECHA DEL REPORTE	CM-820 2014-12-15 2014-12-15 2014-12-18

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valores máximos admisibles
					OMS ²
Arsénico total	E. Rothery, et al, 1984 ¹	0,99	< Id	µg. l ⁻¹	10,00 µg l ⁻¹
Mercurio total	E. Rothery, et al, 1984 ¹	0,09	< Id	µg. l ⁻¹	1,00 µg l ⁻¹

Observación: Muestras recolectadas y transportadas por el cliente, muestras tomadas cuatro días antes de ingresar al laboratorio, cliente asume responsabilidad al proporcionarle los datos.

Datos de Campos Proporcionados por el cliente:

pH: 5.95 Unidades de pH
 Temperatura: 23.20 °C
 Conductividad Eléctrica: 100.70 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰

Clave:

Id: Límite de detección.

Referencias:

1. E. Rothery, 1984. Operation Manual - VGA 76, VARIAN.
2. Organización Mundial de la Salud, 1995. Guías para la calidad del agua potable. 2ª Ed. Ginebra: OMS.

 MSc. Maximina Altamirano Espinoza	 Ph.D. Francisco J. Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos
---------------------------------------	--

Túnel Azul (T-AZ)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postasl 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos de Metales Pesados

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al Este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Manantial
IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	T - AZ
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Túnel Azul Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1355252N: 708851 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-11
HORA DE MUESTREO	11 h 50
CODIGO DEL LABORATORIO	CM-823
FECHA DE RECEPCION	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2014-12-18

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valores máximos admisibles
					OMS ²
Arsénico total	E. Rothery, et al, 1984 ¹	0,99	< Id	µg. l ⁻¹	10,00 µg l ⁻¹
Mercurio total	E. Rothery, et al, 1984 ¹	0,09	< Id	µg. l ⁻¹	1,00 µg l ⁻¹

Observación: Muestras recolectadas y transportadas por el cliente, muestras tomadas cuatro días antes de ingresar al laboratorio, cliente asume responsabilidad al proporcionarle los datos.

Datos de Campos Proporcionados por el cliente:

pH: 6.32 Unidades de pH
 Temperatura: 24,80 °C
 Conductividad Eléctrica: 202,70 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰

Clave:

Id: Límite de detección.

Referencias:

- 1 E. Rothery, 1984. Operation Manual - VGA 76, VARIAN.
- 2 Organización Mundial de la Salud, 1996. Guías para la calidad del agua potable. 2ª Ed. Ginebra: OMS.

 MSc. Maximina Altamirano Espinoza	 PhD. Francisco J Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos
---------------------------------------	--

Quebrada Peña Blanca (La Peña)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al Este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

Resultados Analíticos de Metales Pesados

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Manantial
IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	La Peña
LUGAR Y/O COMUNIDAD	La Peña Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1356957N: 710231 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-12
HORA DE MUESTREO	11 h 40
CODIGO DEL LABORATORIO	CM-822
FECHA DE RECEPCION	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2014-12-18

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	Valores máximos admisibles
					DMS ²
Arsénico total	E. Rothery, et al, 1984 ¹	0,99	< Id	µg. l ⁻¹	10,00 µg l ⁻¹
Mercurio total	E. Rothery, et al, 1984 ¹	0,09	< Id	µg. l ⁻¹	1,00 µg l ⁻¹

Observación: Muestras recolectadas y transportadas por el cliente, muestras tomadas cuatro días antes de ingresar al laboratorio, cliente asume responsabilidad al proporcionarle los datos.

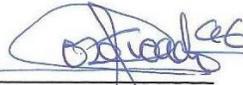
Datos de Campos Proporcionados por el cliente:

pH: 6.68 Unidades de pH
 Temperatura: 23.30 °C
 Conductividad Eléctrica: 61,60 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰

Clave:
 Id: Límite de detección.

Referencias:

- 1 E. Rothery, 1984. Operation Manual - VGA 76, VARIAN.
- 2 Organización Mundial de la Salud, 1995. Guías para la calidad del agua potable. 2ª Ed. Ginebra: OMS.

 MSc. Maximina Altamirano Espinoza	 Ph.D. Francisco J. Picado Pavón Jefe Lab. Contaminantes Metálicos
---	---

RESULTADOS ANALITICOS FISICO-QUIMICOS

Quebrada Peña Blanca (La Peña)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE LUGAR Y/O COMUNIDAD MUNICIPIO, DEPARTAMENTO COORDENADAS FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CÓDIGO DEL LABORATORIO FECHA DE RECEPCIÓN FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS FECHA DEL REPORTE	AGUA NATURAL Manantial La Peña La Peña, Santo Domingo Santo Domingo, Chontales 1356957 N; 710231 E 2014-12-12 11 h 40 AN-1304 2014-12-15 2014-12-15 2015-01-22
--	---

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	meq.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		30,80	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		7,17	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 26,4 °C	2510.B ¹		61,60	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030. E ¹		38,35	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		20,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	4,23	mg.l ⁻¹	0,211		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	2,09	mg.l ⁻¹	0,172		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	5,00	mg.l ⁻¹	0,218		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	0,85	mg.l ⁻¹	0,022		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25	4,45	mg.l ⁻¹	0,126		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	1,67	mg.l ⁻¹	0,035		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	26,63	mg.l ⁻¹	0,420		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	19,15	mg.l ⁻¹	0,383		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	21,00	mg.l ⁻¹	0,420		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	15,96	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹		2,61	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030. E ¹		3,49	%			

Clave:
 < ld: El valor está por debajo del límite de detección
 < rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 6,68 Unidades de pH
 Temperatura: 23,3 °C
 Conductividad: 61,6 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰
 Elevación: 619 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitró por fórmula

Lic. Mario Mejía Téllez

MSc. Jünette Molina Mardía
 Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st. Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS - 900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03. U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Quebrada El Tamagás (M-TAM)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
Rotonda Universitaria 200 m al este
Managua, Managua
Ing. Lener Sequeira
Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA

FUENTE
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
LUGAR Y/O COMUNIDAD
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO
COORDENADAS
FECHA DE MUESTREO
HORA DE MUESTREO

AGUA NATURAL

Manantial
M - TAM
El Tamagás, Santo Domingo
Santo Domingo, Chontales
1357177 N; 707762 E
2014-12-12
09 h 35

CÓDIGO DEL LABORATORIO
FECHA DE RECEPCIÓN
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS
FECHA DEL REPORTE

AN-1303
2014-12-15
2014-12-15
2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	mg.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		0,85	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		6,66	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 25,7 °C	2510.B ¹		75,50	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E ¹		54,15	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		5,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	6,90	mg.l ⁻¹	0,344		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	2,11	mg.l ⁻¹	0,174		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	5,33	mg.l ⁻¹	0,232		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	1,98	mg.l ⁻¹	0,051		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25	5,30	mg.l ⁻¹	0,150		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	0,69	mg.l ⁻¹	0,011		50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	1,76	mg.l ⁻¹	0,037		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	41,49	mg.l ⁻¹	0,680		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	25,92	mg.l ⁻¹	0,518		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	34,00	mg.l ⁻¹	0,680		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	20,71	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	0,07	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E ¹		4,59	%			

Clave:

< ld: El valor está por debajo del límite de detección
< rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 6 Unidades de pH
Temperatura: 22,9 °C
Conductividad: 59,7 µS.cm⁻¹
Salinidad: 1 ‰
Elevación: 569 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrógeno por fórmula

Lip. Mario Mejía Téllez

MSc. Jurette Molina Macías
Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st. Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS-900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03. U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Quebrada El Tamagás (M-TAM2)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE LUGAR Y/O COMUNIDAD MUNICIPIO, DEPARTAMENTO COORDENADAS FECHA DE MUESTREO HORÀ DE MUESTREO	AGUA NATURAL Manantial M - TAM2 El Tamagás, Santo Domingo Santo Domingo, Chontales 1356780 N; 708613 E 2014-12-12 13 h 00
CÓDIGO DEL LABORATORIO FECHA DE RECEPCIÓN FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS FECHA DEL REPORTE	AN-1305 2014-12-15 2014-12-15 2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de		Resultados	Unidades	meq.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
		Detección						
TURBIDEZ	2130.B ¹			0,60	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹			6,28	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 26,1 °C	2510.B ¹			99,00	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E ¹			66,21	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹			5,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25		7,33	mg.l ⁻¹	0,366		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25		3,29	mg.l ⁻¹	0,271		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25		6,48	mg.l ⁻¹	0,282		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25		2,11	mg.l ⁻¹	0,054		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25		6,87	mg.l ⁻¹	0,194		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25		5,96	mg.l ⁻¹	0,096		50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25		3,29	mg.l ⁻¹	0,068		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00		< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75		41,49	mg.l ⁻¹	0,680		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25		31,85	mg.l ⁻¹	0,637		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62		34,00	mg.l ⁻¹	0,680		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67		< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20		22,42	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003		0,003	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02		0,04	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25		< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E ¹			3,23	%			

Clave:
 < ld: El valor está por debajo del límite de detección
 < rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 5,6 Unidades de pH
 Temperatura: 24,7 °C
 Conductividad: 87 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰
 Elevación: 539 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrógeno por fórmula

 Lic. Mario Mejía Téllez	 MSc. Jupette Molina Marcial Jefe de laboratorio de Aguas Naturales
-----------------------------	---

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition. Washington: APHA.
² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS-900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03. U.S.A.
³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE). (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Quebrada Alegre (QA)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
Rotonda Universitaria 200 m al este
Managua, Managua
Ing. Lener Sequeira
Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Río
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	QA
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Quebrada Alegre, Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1355020 N; 708845 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-11
HORA DE MUESTREO	12 h 50
CÓDIGO DEL LABORATORIO	AN-1299
FECHA DE RECEPCIÓN	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	mg.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		6,90	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		7,78	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 27,1 °C	2510.B ¹		94,50	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E ¹		62,88	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		15,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	8,94	mg.l ⁻¹	0,446		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	3,16	mg.l ⁻¹	0,260		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	6,74	mg.l ⁻¹	0,293		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	0,78	mg.l ⁻¹	0,020		10,00 mg.l ⁻¹
CLORURO	4110.B ¹	0,25	5,02	mg.l ⁻¹	0,142		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	1,14	mg.l ⁻¹	0,024		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	50,04	mg.l ⁻¹	0,820		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	35,30	mg.l ⁻¹	0,706		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	41,00	mg.l ⁻¹	0,820		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	26,74	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	0,64	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORURO	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E ¹		1,65	%			

Clave:

< ld: El valor está por debajo del límite de detección
< rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente:

pH: 7,59 Unidades de pH
Temperatura: 23,1 °C
Conductividad: 92,4 µS.cm⁻¹
Salinidad: 1 ‰
Elevación: 442 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitró por fórmula

Lic. Mario Mejía Téllez

MSc. Juriette Molina Marín
Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 st. Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS-900 Ion Chromatography System Operator's Manual*, Rev. 03. U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1999). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Quebrada El Cuatro (Q-CUA)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
Rotonda Universitaria 200 m al este
Managua, Managua
Ing. Lener Sequeira
Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA
FUENTE
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
LUGAR Y/O COMUNIDAD
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO
COORDENADAS
FECHA DE MUESTREO
HORA DE MUESTREO

AGUA NATURAL
Río
Q - CUA
Quebrada El Cuatro, Santo Domingo
Santo Domingo, Chontales
1355702 N; 708786 E
2014-12-13
09 h 15

CÓDIGO DEL LABORATORIO
FECHA DE RECEPCIÓN
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS
FECHA DEL REPORTE

AN-1306
2014-12-15
2014-12-15
2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de		Resultados	Unidades	meq.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
		Detección						
TURBIDEZ	2130.B ¹			4,90	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹			7,76	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 25,0 °C	2510.B ¹			100,00	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E ¹			59,72	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹			15,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25		8,31	mg.l ⁻¹	0,415		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25		3,75	mg.l ⁻¹	0,309		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25		5,96	mg.l ⁻¹	0,259		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25		1,02	mg.l ⁻¹	0,026		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25		3,74	mg.l ⁻¹	0,106		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25		1,70	mg.l ⁻¹	0,027		50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25		1,39	mg.l ⁻¹	0,029		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00		< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75		46,38	mg.l ⁻¹	0,760		Sin referencia
DUREZA TOTAL Comp CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25		36,20	mg.l ⁻¹	0,724		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Comp CaCO ₃	2320.B ¹	0,62		38,00	mg.l ⁻¹	0,760		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67		< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20		23,64	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003		< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ **
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02		0,55	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25		< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E ¹			4,51	%			

Clave:

< ld: El valor está por debajo del límite de detección
< rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 7 Unidades de pH
Temperatura: 21,4 °C
Conductividad: 95,6 µS.cm⁻¹
Salinidad: 1 ‰
Elevación: 463 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrato por fórmula

Lic. Mario Mejía Téllez

MSc. Junette Molina Marcia
 Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS-900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03. U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Quebrada El Cedro (QEC-1)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
Rotonda Universitaria 200 m al este
Managua, Managua
Ing. Lener Sequeira
Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Río
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	QEC 1
LUGAR Y/O COMUNIDAD	El Cedro, Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1356176 N; 707260 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-11
HORA DE MUESTREO	13 h 45
CÓDIGO DEL LABORATORIO	AN-1300
FECHA DE RECEPCIÓN	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	meq.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		30,70	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		7,40	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 27,5 °C	2510.B ¹		66,20	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030. E ¹		43,42	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		15,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	4,25	mg.l ⁻¹	0,212		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	2,14	mg.l ⁻¹	0,176		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	5,38	mg.l ⁻¹	0,234		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	1,38	mg.l ⁻¹	0,035		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25	5,27	mg.l ⁻¹	0,149		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	1,77	mg.l ⁻¹	0,037		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	28,07	mg.l ⁻¹	0,460		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	19,40	mg.l ⁻¹	0,388		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	23,00	mg.l ⁻¹	0,460		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	20,17	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	2,10	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IÓNICO DE LA MUESTRA	1030. E ¹		0,84	%			

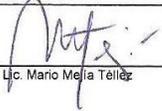
Clave:

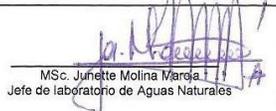
< ld: El valor está por debajo del límite de detección
< rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 6,9 Unidades de pH
Temperatura: 23,1 °C
Conductividad: 66 µS cm⁻¹
Salinidad: 1 ‰
Elevación: 542 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrógeno por fórmula


 Lic. Mario Mejía Téllez


 MSc. Junette Molina Marcial
 Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st. Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS - 900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03. U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Quebrada El Cedro (QEC2)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
Rotonda Universitaria 200 m al este
Managua, Managua
Ing. Lener Sequeira
Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Río
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	QEC 2
LUGAR Y/O COMUNIDAD	El Cedro, Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1356014 N; 707361 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-11
HORA DE MUESTREO	14 h 20
CÓDIGO DEL LABORATORIO	AN-1301
FECHA DE RECEPCIÓN	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	mg.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		5,10	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		7,34	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 25,7 °C	2510.B ¹		67,00	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E ¹		44,62	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		15,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	4,88	mg.l ⁻¹	0,244		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	2,20	mg.l ⁻¹	0,181		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	5,66	mg.l ⁻¹	0,246		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	0,77	mg.l ⁻¹	0,020		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25	5,15	mg.l ⁻¹	0,145		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	0,86	mg.l ⁻¹	0,018		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	30,51	mg.l ⁻¹	0,500		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	21,25	mg.l ⁻¹	0,425		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	25,00	mg.l ⁻¹	0,500		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	21,60	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	0,37	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E ¹		2,07	%			

Clave:

< ld: El valor está por debajo del límite de detección
< rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 6,83 Unidades de pH
Temperatura: 22,8 °C
Conductividad: 66,4 µS.cm⁻¹
Salinidad: No Reportada
Elevación: 533 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrato por fórmula

 U.c. Mario Mejía Téllez	 MSc. Junette Molina Mardía Jefe de laboratorio de Aguas Naturales
-----------------------------	--

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 st. Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS-900 Ion Chromatography System Operator's Manual*, Rev. 03. U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Túnel Azul (T-AZ)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
Rotonda Universitaria 200 m al este
Managua, Managua
Ing. Lener Sequeira
Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA NATURAL
FUENTE	Manantial
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	T - AZ
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Túnel Azul, Santo Domingo
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Santo Domingo, Chontales
COORDENADAS	1356252 N; 708851 E
FECHA DE MUESTREO	2014-12-11
HORA DE MUESTREO	11 h 50
CÓDIGO DEL LABORATORIO	AN-1298
FECHA DE RECEPCIÓN	2014-12-15
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2014-12-15
FECHA DEL REPORTE	2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	mg.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		0,40	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		6,87	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 27,8 °C	2510.B ¹		202,50	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030.E ¹		126,19	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		5,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	24,42	mg.l ⁻¹	1,219		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	5,47	mg.l ⁻¹	0,450		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	9,55	mg.l ⁻¹	0,415		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	2,08	mg.l ⁻¹	0,053		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25	4,60	mg.l ⁻¹	0,130		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	2,50	mg.l ⁻¹	0,040		50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	19,79	mg.l ⁻¹	0,412		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	89,09	mg.l ⁻¹	1,460		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	83,45	mg.l ⁻¹	1,669		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	73,00	mg.l ⁻¹	1,460		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	29,90	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	0,06	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030.E ¹		2,27	%			

Clave:

< ld: El valor está por debajo del límite de detección
< rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 6,32 Unidades de pH
Temperatura: 24,8 °C
Conductividad: 202,7 µS.cm⁻¹
Salinidad: 1 ‰
Elevación: 397 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrógeno por fórmula

Lic. Mario Mejía Téllez
MSc. Junette Molina Marcial
Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st. Edition. Washington: APHA.

² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS-900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03 U.S.A.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

Túnel Tapalwacito (T-TW)



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

IGG - CIGEO / UNAN - MANAGUA
 Rotonda Universitaria 200 m al este
 Managua, Managua
 Ing. Lener Sequeira
 Tel. 22703983

MATRIZ DE LA MUESTRA

FUENTE
 IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
 LUGAR Y/O COMUNIDAD
 MUNICIPIO, DEPARTAMENTO
 COORDENADAS
 FECHA DE MUESTREO
 HORA DE MUESTREO

AGUA NATURAL

Manantial
 T - TW
 Tapalwacito, Santo Domingo
 Santo Domingo, Chontales
 1357061 N; 708454 E
 2014-12-12
 08 h 30

CÓDIGO DEL LABORATORIO

FECHA DE RECEPCIÓN
 FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS
 FECHA DEL REPORTE

AN-1302

2014-12-15
 2014-12-15
 2015-01-22

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades	mg.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ³
TURBIDEZ	2130.B ¹		1,20	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-H.B ¹		6,37	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 26,6 °C	2510.B ¹		99,40	µS.cm ⁻¹		1,0 a 100 000,00	Sin referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030. E ¹		63,62	mg.l ⁻¹			1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120.B ¹		5,0	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	ICS-900 ²	0,25	8,00	mg.l ⁻¹	0,399		Sin referencia
MAGNESIO	ICS-900 ²	0,25	2,87	mg.l ⁻¹	0,236		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	ICS-900 ²	0,25	6,31	mg.l ⁻¹	0,274		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	ICS-900 ²	0,25	2,16	mg.l ⁻¹	0,055		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110.B ¹	0,25	6,17	mg.l ⁻¹	0,174		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110.B ¹	0,25	1,18	mg.l ⁻¹	0,019		50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110.B ¹	0,25	6,41	mg.l ⁻¹	0,133		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320.B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
BICARBONATOS	2320.B ¹	0,75	37,22	mg.l ⁻¹	0,610		Sin referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	ICS-900 ²	0,25	31,76	mg.l ⁻¹	0,635		Sin referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320.B ¹	0,62	30,50	mg.l ⁻¹	0,610		Sin referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320.B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			Sin referencia
SILICE REACTIVO DISUELTO	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	26,14	mg.l ⁻¹			Sin referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	< ld	mg.l ⁻¹			0,10 ó 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	0,11	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4110.B ¹	0,25	< ld	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IONICO DE LA MUESTRA	1030. E ¹		1,47	%			

Clave:

< ld: El valor está por debajo del límite de detección
 < rd: El valor está por debajo del rango de detección

Datos de campo suministrados por el cliente :

pH: 5,95 Unidades de pH
 Temperatura: 23,2 °C
 Conductividad: 100,7 µS.cm⁻¹
 Salinidad: 1 ‰
 Elevación: 508 msnm

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrato por fórmula

Lc. Mario Mejía Téllez

MSc. Juliette Molina Marcial
 Jefe de laboratorio de Aguas Naturales

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st. Edition. Washington: APHA.
² Thermo Fisher Scientific. (2012). *Dionex ICS - 900 Ion Chromatography System Operator's Manual*. Rev. 03. U.S.A.
³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Normas de Calidad para consumo humano*. Costa Rica.

ANEXO E

Balance Hídrico de los suelos
por subcuencas

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA ALEGRE

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca Quebrada Alegre													
Fecha:	2015													
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos													
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	390.00													
Kp [0.01%]	0.10													
Kv [0.01%]	0.09													
Kfc [0.01%]	0.8099						por peso							
I [0.01%] =	0.9999								(%)		(mm)			
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00			627.75			
PR (mm)	1500.00						PM	13.00			263.25			
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00			364.50			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16	
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20	
Pi (mm)	106.35	47.49	30.47	42.02	151.71	224.40	492.83	296.10	192.86	219.38	164.81	87.34	2055.75	
ESC (mm)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20	
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5	
HSi (mm)	333.59	392.07	391.88	368.68	356.00	416.84	521.35	627.75	627.75	627.75	112.00	273.01		
C1	0.48	0.48	0.44	0.40	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.04	0.27		
C2	0.33	0.33	0.25	0.21	0.34	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	0.02	0.18		
HD (mm)	176.69	176.30	159.10	147.44	244.47	377.99	750.93	660.60	557.36	583.88	13.56	97.10		
ETR (mm)	47.88	47.67	53.67	54.69	90.88	119.89	144.10	143.90	128.30	115.70	3.79	26.76	977.24	
HSf (mm)	392.07	391.88	368.68	356.00	416.84	521.35	627.75	627.75	627.75	627.75	273.01	333.59		
DCC (mm)	235.68	235.87	259.07	271.75	210.91	106.40	0.00	0.00	0.00	0.00	354.74	294.16		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	242.33	152.20	64.56	103.68	0.00	0.00	562.77	
NR (mm)	305.61	305.70	362.00	396.36	299.93	133.21	0.00	0.00	0.00	0.00	473.54	387.70	2664.04	

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA ALEGRE1

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca Quebrada Alegre 1													
Fecha:	2015													
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos													
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	86.40													
Kp [0.01%]	0.10													
Kv [0.01%]	0.18													
Kfc [0.01%]	0.4542						por peso							
I [0.01%] =	0.7342						(%) (mm)							
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00						627.75
PR (mm)	1500.00						PM	13.00						263.25
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00						364.50
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12													

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	78.09	34.87	22.37	30.85	111.41	164.78	361.89	217.43	141.62	161.09	121.02	64.14	1509.57
ESC (mm)	28.26	12.62	8.10	11.17	40.32	59.64	130.99	78.70	51.26	58.31	43.80	23.21	546.38
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	309.71	354.05	354.94	338.84	330.21	375.31	451.09	627.75	627.75	627.75	112.00	263.25	
C1	0.34	0.34	0.31	0.29	0.49	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.08	0.18	
C2	0.23	0.23	0.18	0.15	0.25	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.12	
HD (mm)	124.55	125.68	114.07	106.44	178.37	276.84	549.74	581.93	506.12	525.59	-30.23	64.14	
ETR (mm)	33.75	33.98	38.48	39.48	66.31	89.00	144.10	143.90	128.30	115.70	-30.23	17.67	820.44
HSf (mm)	354.05	354.94	338.84	330.21	375.31	451.09	627.75	627.75	627.75	627.75	263.25	309.71	
DCC (mm)	273.70	272.81	288.91	297.54	252.44	176.66	0.00	0.00	0.00	0.00	364.50	318.04	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.14	73.53	13.32	45.39	0.00	0.00	173.38
NR (mm)	357.75	356.32	407.03	437.36	366.03	234.36	0.00	0.00	0.00	0.00	517.33	420.66	3096.85

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA ALEGRE 2

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca Quebrada Alegre 2												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	86.40												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	0.4542						por peso						
I [0.01%] =	0.7342						(%) (mm)						
DS (g/cm ³):	1.35						CC		31.00		627.75		
PR (mm)	1500.00						PM		13.00		263.25		
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)		18.00		364.50		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	78.09	34.87	22.37	30.85	111.41	164.78	361.89	217.43	141.62	161.09	121.02	64.14	1509.57
ESC (mm)	28.26	12.62	8.10	11.17	40.32	59.64	130.99	78.70	51.26	58.31	43.80	23.21	546.38
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	309.71	354.05	354.94	338.84	330.21	375.31	451.09	627.75	627.75	627.75	112.00	263.25	
C1	0.34	0.34	0.31	0.29	0.49	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.08	0.18	
C2	0.23	0.23	0.18	0.15	0.25	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.12	
HD (mm)	124.55	125.68	114.07	106.44	178.37	276.84	549.74	581.93	506.12	525.59	-30.23	64.14	
ETR (mm)	33.75	33.98	38.48	39.48	66.31	89.00	144.10	143.90	128.30	115.70	-30.23	17.67	820.44
HSf (mm)	354.05	354.94	338.84	330.21	375.31	451.09	627.75	627.75	627.75	627.75	263.25	309.71	
DCC (mm)	273.70	272.81	288.91	297.54	252.44	176.66	0.00	0.00	0.00	0.00	364.50	318.04	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.14	73.53	13.32	45.39	0.00	0.00	173.38
NR (mm)	357.75	356.32	407.03	437.36	366.03	234.36	0.00	0.00	0.00	0.00	517.33	420.66	3096.85

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA EL CEDRO

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca El Cedro													
Fecha:	2015													
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos													
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	86.40													
Kp [0.01%]	0.06													
Kv [0.01%]	0.18													
Kfc [0.01%]	0.4542						por peso							
I [0.01%] =	0.6942						(%) (mm)							
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00						837.00
PR (mm)	2000.00						PM	13.00						351.00
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00						486.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16	
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20	
Pi (mm)	73.84	32.97	21.15	29.17	105.34	155.81	342.18	205.59	133.90	152.32	114.43	60.64	1427.34	
ESC (mm)	32.52	14.52	9.32	12.85	46.39	68.62	150.70	90.54	58.97	67.08	50.40	26.71	628.62	
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5	
HSi (mm)	398.49	446.48	452.15	440.25	433.79	482.38	564.58	773.68	835.61	837.00	112.00	351.00		
C1	0.25	0.26	0.25	0.24	0.39	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.26	0.12		
C2	0.19	0.20	0.17	0.15	0.24	0.41	0.85	1.00	1.00	1.00	0.00	0.09		
HD (mm)	121.33	128.45	122.31	118.42	188.13	287.18	555.76	628.27	618.51	638.32	-124.57	60.64		
ETR (mm)	25.84	27.30	33.06	35.63	56.75	73.60	133.08	143.66	128.30	115.70	-124.57	13.15	661.51	
HSf (mm)	446.48	452.15	440.25	433.79	482.38	564.58	773.68	835.61	837.00	837.00	351.00	398.49		
DCC (mm)	390.52	384.85	396.75	403.21	354.62	272.42	63.32	1.39	0.00	0.00	486.00	438.51		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.21	36.62	0.00	0.00	40.83	
NR (mm)	482.47	475.05	520.29	546.88	477.77	345.52	74.34	1.63	0.00	0.00	733.17	545.66	4202.79	

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA EL TAMAGAS

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca El Tamagás												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]							302.40						
Kp [0.01%]							0.10						
Kv [0.01%]							0.09						
Kfc [0.01%]							0.7555						
I [0.01%] =							0.9455						
DS (g/cm ³):							1.35						
PR (mm)							2000.00						
HSi (mm)							112.00						
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?							11						
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1							0.12						
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	100.56	44.90	28.81	39.73	143.46	212.19	466.00	279.98	182.36	207.44	155.84	82.59	1943.84
ESC (mm)	5.80	2.59	1.66	2.29	8.27	12.24	26.88	16.15	10.52	11.96	8.99	4.76	112.12
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	415.67	481.03	488.76	472.54	463.75	529.92	641.87	837.00	837.00	837.00	112.00	351.00	
C1	0.34	0.36	0.34	0.33	0.53	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.17	0.17	
C2	0.26	0.27	0.23	0.21	0.33	0.56	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.13	
HD (mm)	165.23	174.94	166.56	161.27	256.20	391.11	756.87	765.98	668.36	693.44	-83.16	82.59	
ETR (mm)	35.20	37.18	45.02	48.52	77.28	100.24	144.10	143.90	128.30	115.70	-83.16	17.91	810.19
HSf (mm)	481.03	488.76	472.54	463.75	529.92	641.87	837.00	837.00	837.00	837.00	351.00	415.67	
DCC (mm)	355.97	348.24	364.46	373.25	307.08	195.13	0.00	0.00	0.00	0.00	486.00	421.33	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	126.77	136.08	54.06	91.74	0.00	0.00	408.65
NR (mm)	438.57	428.56	476.04	504.03	409.70	241.59	0.00	0.00	0.00	0.00	691.76	523.71	3713.97

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA EL PARAISO

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca El Paraíso												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.												P: Precipitación Media Mensual.	
I: Infiltración.												Pi: Precipitación que infiltra.	
CC: Capacidad de Campo.												ESC: Escorrentía Superficial	
PM: Punto de Marchitez.												ETP: Evapotranspiración Potencial.	
PR: Profundidad de Raíces.												ETR: Evapotranspiración Real.	
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.												HSi: Humedad de Suelo Inicial.	
DS: Densidad de Suelo.												HD: Humedad Disponible	
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR												HSf: Humedad de Suelo Final.	
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR												DCC: Déficit de Capacidad de Campo.	
Kp: Factor por pendiente (ver léame)												Rp: Recarga Potencial	
Kv: Factor por vegetación (ver léame)												NR: Necesidad de Riego.	
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración												Ret: Retención de Lluvia	
fc [mm/d]	346.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.09												
Kfc [0.01%]	0.7847											por peso	
I [0.01%] =	0.9347											(%) (mm)	
DS (g/cm ³):	1.35											CC	
PR (mm)	2500.00											31.00	1046.25
HSi (mm)	112.00											PM	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11											13.00	438.75
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12											(CC-PM)	18.00 607.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	99.41	44.39	28.48	39.28	141.82	209.77	460.70	276.80	180.29	205.08	154.06	81.65	1921.73
ESC (mm)	6.94	3.10	1.99	2.74	9.91	14.65	32.18	19.33	12.59	14.32	10.76	5.70	134.22
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	505.83	576.09	588.73	577.14	571.72	644.21	765.82	1046.25	1046.25	1046.25	112.00	438.75	
C1	0.27	0.30	0.29	0.29	0.45	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.28	0.13	
C2	0.22	0.24	0.22	0.21	0.32	0.52	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.11	
HD (mm)	166.49	181.73	178.46	177.66	274.79	415.24	787.78	884.30	787.79	812.58	-172.69	81.65	
ETR (mm)	29.15	31.75	40.07	44.70	69.33	88.17	144.10	143.90	128.30	115.70	-172.69	14.57	677.05
HSf (mm)	576.09	588.73	577.14	571.72	644.21	765.82	1046.25	1046.25	1046.25	1046.25	438.75	505.83	
DCC (mm)	470.16	457.52	469.11	474.53	402.04	280.43	0.00	0.00	0.00	0.00	607.50	540.42	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.18	132.90	51.99	89.38	0.00	0.00	310.44
NR (mm)	558.81	543.27	585.64	609.14	512.61	338.96	0.00	0.00	0.00	0.00	902.79	646.15	4697.36

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA PEÑA BLANCA

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca Quebrada Peña Blanca												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de Lluvia						
fc [mm/d]	390.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.09												
Kfc [0.01%]	0.8099						por peso						
I [0.01%] =	0.9999						(%) (mm)						
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00					837.00
PR (mm)	2000.00						PM	13.00					351.00
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00					486.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	106.35	47.49	30.47	42.02	151.71	224.40	492.83	296.10	192.86	219.38	164.81	87.34	2055.75
ESC (mm)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	419.40	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	112.00	351.00	
C1	0.36	0.38	0.36	0.35	0.56	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.15	0.18	
C2	0.27	0.29	0.25	0.22	0.35	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.14	
HD (mm)	174.74	185.01	176.15	170.55	270.95	413.62	800.44	782.10	678.86	705.38	-74.19	87.34	
ETR (mm)	37.22	39.32	47.62	51.32	81.73	106.01	144.10	143.90	128.30	115.70	-74.19	18.94	839.97
HSf (mm)	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	837.00	351.00	419.40	
DCC (mm)	348.48	340.31	357.46	366.76	296.78	178.39	0.00	0.00	0.00	0.00	486.00	417.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.34	152.20	64.56	103.68	0.00	0.00	490.78
NR (mm)	429.06	418.49	466.45	494.75	394.95	219.08	0.00	0.00	0.00	0.00	682.79	518.96	3624.52

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA EL DIVISADERO

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/subcuenca Quebrada El Divisadero													
Fecha:	2015													
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos													
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	390.00													
Kp [0.01%]	0.10													
Kv [0.01%]	0.09													
Kfc [0.01%]	0.8099						por peso							
I [0.01%] =	0.9999						(%) (mm)							
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00		837.00				
PR (mm)	2000.00						PM	13.00		351.00				
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00		486.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16	
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20	
Pi (mm)	106.35	47.49	30.47	42.02	151.71	224.40	492.83	296.10	192.86	219.38	164.81	87.34	2055.75	
ESC (mm)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20	
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5	
HSi (mm)	419.40	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	112.00	351.00		
C1	0.36	0.38	0.36	0.35	0.56	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.15	0.18		
C2	0.27	0.29	0.25	0.22	0.35	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.14		
HD (mm)	174.74	185.01	176.15	170.55	270.95	413.62	800.44	782.10	678.86	705.38	-74.19	87.34		
ETR (mm)	37.22	39.32	47.62	51.32	81.73	106.01	144.10	143.90	128.30	115.70	-74.19	18.94	839.97	
HSf (mm)	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	837.00	351.00	419.40		
DCC (mm)	348.48	340.31	357.46	366.76	296.78	178.39	0.00	0.00	0.00	0.00	486.00	417.60		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.34	152.20	64.56	103.68	0.00	0.00	490.78	
NR (mm)	429.06	418.49	466.45	494.75	394.95	219.08	0.00	0.00	0.00	0.00	682.79	518.96	3624.52	

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA EL CUATRO

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/Quebrada El Cuatro												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de Lluvia						
fc [mm/d]	390.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.09												
Kfc [0.01%]	0.8099						por peso						
I [0.01%] =	0.9999						(%)		(mm)				
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00	1046.25				
PR (mm)	2500.00						PM	13.00	438.75				
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00	607.50				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	106.35	47.49	30.47	42.02	151.71	224.40	492.83	296.10	192.86	219.38	164.81	87.34	2055.75
ESC (mm)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	510.51	585.67	599.19	586.79	580.99	658.54	788.63	1046.25	1046.25	1046.25	112.00	438.75	
C1	0.29	0.32	0.31	0.31	0.48	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.27	0.14	
C2	0.24	0.26	0.23	0.22	0.34	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.12	
HD (mm)	178.10	194.40	190.91	190.05	293.95	444.20	842.71	903.60	800.36	826.88	-161.94	87.34	
ETR (mm)	31.19	33.96	42.87	47.82	74.16	94.31	144.10	143.90	128.30	115.70	-161.94	15.58	709.95
HSf (mm)	585.67	599.19	586.79	580.99	658.54	788.63	1046.25	1046.25	1046.25	1046.25	438.75	510.51	
DCC (mm)	460.58	447.06	459.46	465.26	387.71	257.62	0.00	0.00	0.00	0.00	607.50	535.74	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.11	152.20	64.56	103.68	0.00	0.00	411.55
NR (mm)	547.20	530.60	573.19	596.75	493.45	310.00	0.00	0.00	0.00	0.00	892.04	640.46	4583.68

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA BUENA VISTA

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/Quebrada Buena Vista											
Fecha:	2015											
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos											
Simbología												
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.					
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.					
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial					
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.					
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.					
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.					
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible					
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.					
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.					
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial					
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.					
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia					
fc [mm/d]	390.00											
Kp [0.01%]	0.10											
Kv [0.01%]	0.09											
Kfc [0.01%]	0.8099						por peso					
I [0.01%] =	0.9999						(%)		(mm)			
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00	837.00			
PR (mm)	2000.00						PM	13.00	351.00			
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00	486.00			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12											

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	106.35	47.49	30.47	42.02	151.71	224.40	492.83	296.10	192.86	219.38	164.81	87.34	2055.75
ESC (mm)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	419.40	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	112.00	351.00	
C1	0.36	0.38	0.36	0.35	0.56	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.15	0.18	
C2	0.27	0.29	0.25	0.22	0.35	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.14	
HD (mm)	174.74	185.01	176.15	170.55	270.95	413.62	800.44	782.10	678.86	705.38	-74.19	87.34	
ETR (mm)	37.22	39.32	47.62	51.32	81.73	106.01	144.10	143.90	128.30	115.70	-74.19	18.94	839.97
HSf (mm)	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	837.00	351.00	419.40	
DCC (mm)	348.48	340.31	357.46	366.76	296.78	178.39	0.00	0.00	0.00	0.00	486.00	417.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.34	152.20	64.56	103.68	0.00	0.00	490.78
NR (mm)	429.06	418.49	466.45	494.75	394.95	219.08	0.00	0.00	0.00	0.00	682.79	518.96	3624.52

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA GALILEA 1

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/Quebrada Galilea 1												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	362.88												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.7948						por peso						
I [0.01%] =	0.9948						(%)		(mm)				
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00	837.00				
PR (mm)	2000.00						PM	13.00	351.00				
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00	486.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	105.81	47.25	30.31	41.80	150.95	223.27	490.33	294.60	191.88	218.27	163.97	86.90	2045.34
ESC (mm)	0.55	0.25	0.16	0.22	0.78	1.16	2.55	1.53	1.00	1.13	0.85	0.45	10.62
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	419.05	487.82	495.95	478.89	469.63	539.26	657.05	837.00	837.00	837.00	112.00	351.00	
C1	0.36	0.38	0.36	0.35	0.55	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.15	0.18	
C2	0.27	0.29	0.24	0.22	0.35	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.13	
HD (mm)	173.86	184.07	175.26	169.69	269.58	411.53	796.39	780.60	677.88	704.27	-75.03	86.90	
ETR (mm)	37.03	39.12	47.37	51.06	81.32	105.47	144.10	143.90	128.30	115.70	-75.03	18.85	837.20
HSf (mm)	487.82	495.95	478.89	469.63	539.26	657.05	837.00	837.00	837.00	837.00	351.00	419.05	
DCC (mm)	349.18	341.05	358.11	367.37	297.74	179.95	0.00	0.00	0.00	0.00	486.00	417.95	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.29	150.70	63.58	102.57	0.00	0.00	483.14
NR (mm)	429.94	419.43	467.34	495.61	396.32	221.17	0.00	0.00	0.00	0.00	683.63	519.40	3632.84

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA GALILEA 2

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/Quebrada Galilea 2											
Fecha:	2015											
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos											
Simbología												
fc: Capacidad de Infiltración.												P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.												Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.												ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.												ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.												ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.												HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.												HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR												HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR												DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)												Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)												NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración												Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]	362.88											
Kp [0.01%]	0.10											
Kv [0.01%]	0.09											
Kfc [0.01%]	0.7948											
I [0.01%] =	0.9848											
DS (g/cm ³):	1.35											
PR (mm)	1500.00											
HSi (mm)	112.00											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12											
	por peso											
	(%) (mm)											
	CC 31.00 627.75											
	PM 13.00 263.25											
	(CC-PM) 18.00 364.50											

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	104.74	46.77	30.01	41.38	149.43	221.02	485.40	291.64	189.95	216.07	162.32	86.02	2024.78
ESC (mm)	1.61	0.72	0.46	0.64	2.30	3.40	7.48	4.49	2.93	3.33	2.50	1.32	31.18
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	331.35	389.26	389.31	366.67	354.34	414.36	516.66	627.75	627.75	627.75	112.00	271.23	
C1	0.47	0.47	0.43	0.40	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.26	
C2	0.32	0.32	0.24	0.20	0.33	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	0.02	0.17	
HD (mm)	172.84	172.78	156.07	144.80	240.52	372.13	738.82	656.14	554.45	580.57	11.07	94.00	
ETR (mm)	46.83	46.72	52.65	53.71	89.42	118.71	144.10	143.90	128.30	115.70	3.10	25.90	969.04
HSf (mm)	389.26	389.31	366.67	354.34	414.36	516.66	627.75	627.75	627.75	627.75	271.23	331.35	
DCC (mm)	238.49	238.44	261.08	273.41	213.39	111.09	0.00	0.00	0.00	0.00	356.52	296.40	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	230.22	147.74	61.65	100.37	0.00	0.00	539.98
NR (mm)	309.46	309.22	365.03	399.00	303.88	139.07	0.00	0.00	0.00	0.00	476.03	390.80	2692.49

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA QUEBRADA GALILEA 3

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo, Chontales/Quebrada Galilea 3											
Fecha:	2015											
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos											
Simbología												
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.					
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.					
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial					
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.					
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.					
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.					
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible					
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.					
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.					
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial					
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.					
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de Lluvia					
fc [mm/d]	390.00											
Kp [0.01%]	0.10											
Kv [0.01%]	0.09											
Kfc [0.01%]	0.8099						por peso					
I [0.01%] =	0.9999						(%)		(mm)			
DS (g/cm ³):	1.35						CC	31.00	837.00			
PR (mm)	2000.00						PM	13.00	351.00			
HSi (mm)	112.00						(CC-PM)	18.00	486.00			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12											

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	106.35	47.49	30.47	42.02	151.71	224.40	492.83	296.10	192.86	219.38	164.81	87.34	2055.75
ESC (mm)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.20
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	419.40	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	112.00	351.00	
C1	0.36	0.38	0.36	0.35	0.56	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.15	0.18	
C2	0.27	0.29	0.25	0.22	0.35	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.14	
HD (mm)	174.74	185.01	176.15	170.55	270.95	413.62	800.44	782.10	678.86	705.38	-74.19	87.34	
ETR (mm)	37.22	39.32	47.62	51.32	81.73	106.01	144.10	143.90	128.30	115.70	-74.19	18.94	839.97
HSf (mm)	488.52	496.69	479.54	470.24	540.22	658.61	837.00	837.00	837.00	837.00	351.00	419.40	
DCC (mm)	348.48	340.31	357.46	366.76	296.78	178.39	0.00	0.00	0.00	0.00	486.00	417.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.34	152.20	64.56	103.68	0.00	0.00	490.78
NR (mm)	429.06	418.49	466.45	494.75	394.95	219.08	0.00	0.00	0.00	0.00	682.79	518.96	3624.52

BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO ARTIGUAS

Zona de Estudio:	Cuenca alta del Río Sucio, Santo Domingo. Chontales												
Fecha:	2015												
Textura de Suelo:	Limosos, arcillo-arenosos												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.						P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.						Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.						ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.						ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.						ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.						HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.						HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR						HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR						DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)						Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)						NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración						Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	380.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.09												
Kfc [0.01%]	0.8045					por peso							
I [0.01%] =	0.9545							(%)		(mm)			
DS (g/cm ³):	1.35					CC	31.00						1046.25
PR (mm)	2500.00					PM	13.00						438.75
HSi (mm)	112.00					(CC-PM)	18.00						607.50
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	120.86	53.97	35.47	47.75	172.42	255.03	560.09	336.51	219.18	249.32	187.30	99.26	2337.16
Ret [mm]	14.50	6.48	5.00	5.73	20.69	30.60	67.21	40.38	26.30	29.92	22.48	11.91	281.20
Pi (mm)	101.52	45.33	29.08	40.11	144.83	214.22	470.46	282.66	184.10	209.42	157.33	83.37	1962.42
ESC (mm)	4.84	2.16	1.39	1.91	6.90	10.21	22.42	13.47	8.77	9.98	7.50	3.97	93.53
ETP (mm)	114.0	128.9	151.5	185.2	179.9	138.1	144.1	139.2	132.6	112.0	126.7	120.3	1672.5
HSi (mm)	507.25	579.00	591.91	580.07	574.53	648.56	772.75	1046.25	1046.25	1046.25	112.00	438.75	
C1	0.28	0.31	0.30	0.30	0.46	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.28	0.14	
C2	0.23	0.25	0.22	0.21	0.33	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.11	
HD (mm)	170.02	185.58	182.24	181.43	280.61	424.03	804.45	890.16	791.60	816.92	-169.42	83.37	
ETR (mm)	29.77	32.42	40.92	45.64	70.79	90.03	144.10	143.90	128.30	115.70	-169.42	14.88	687.04
HSf (mm)	579.00	591.91	580.07	574.53	648.56	772.75	1046.25	1046.25	1046.25	1046.25	438.75	507.25	
DCC (mm)	467.25	454.34	466.18	471.72	397.69	273.50	0.00	0.00	0.00	0.00	607.50	539.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.85	138.76	55.80	93.72	0.00	0.00	341.13
NR (mm)	555.28	539.42	581.86	605.37	506.79	330.17	0.00	0.00	0.00	0.00	899.52	644.43	4662.85

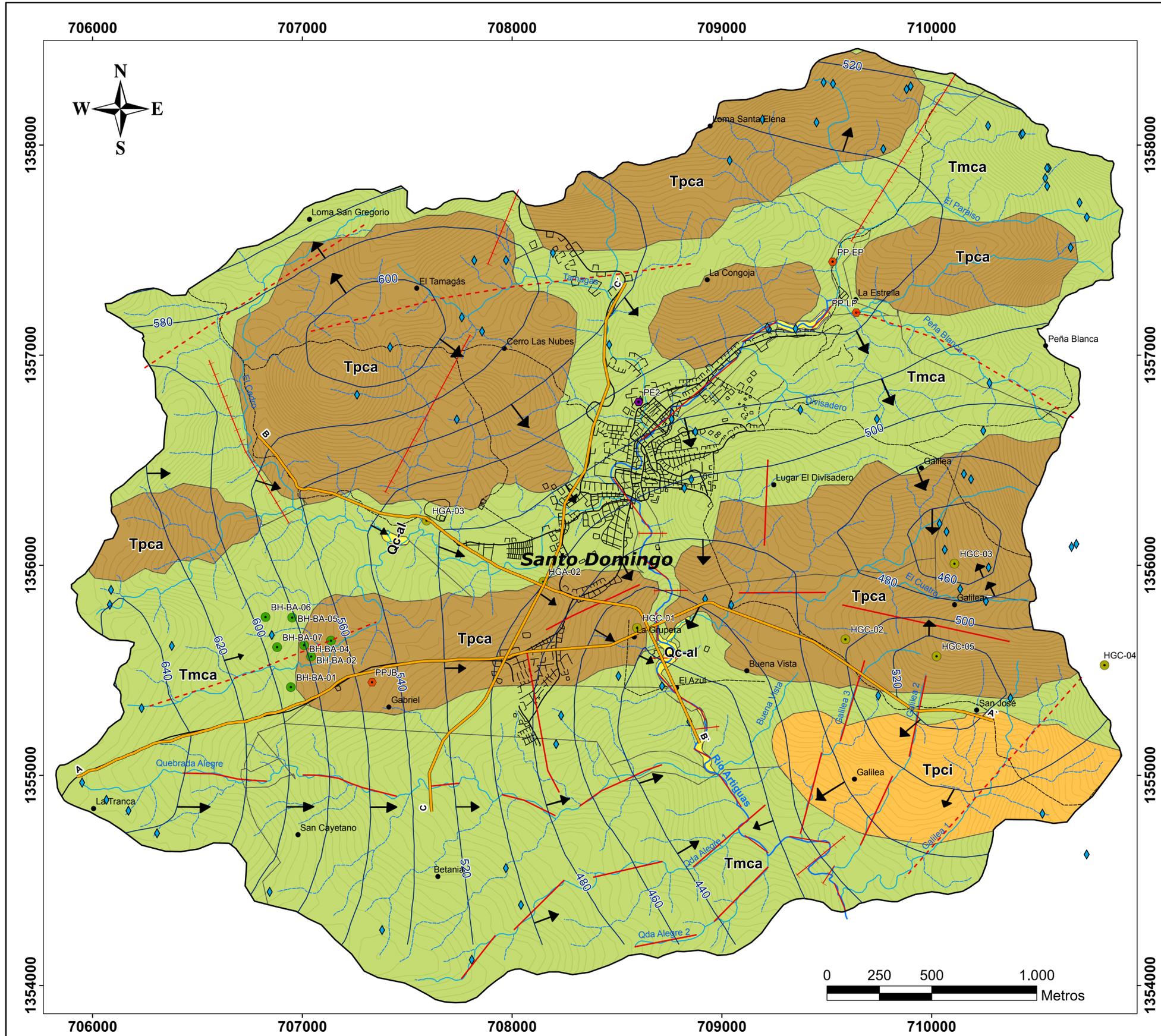


Foto: Vista Panorámica del Río Artiguas.

Simbología

	Divisoria		Ciudad
	Curvas Piezométricas		Pueblos
	Falla		Carretera Principal
	Falla normal		Carretera Secundaria
	Falla inferida		Ríos Permanentes
	Falla sinistral		Ríos Secundarios
	Piezómetros Jabalí Central		Curvas de Nivel
	Piezómetros Tajo Antena		Qc-al
	Pozos Excavados		Tpci
	Pozos perforados		Tpca
	Manantiales		Tmca
	Secciones Hidrogeológicas		Dirección de Flujo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS

Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Río Artiguas
 "Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores"

Realizado por: Greicy Daniela Aldana González	Escala: 1:10.000	Fig. 5-26
Tutor: M.Sc. Marvin Corriols Molina	Asesor: M.Sc. Lener Sequeira Gómez	