



UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO TECNOLOGICO



“Protocolo de Tesis”

Calidad físico-química de fuentes de agua subterránea y superficial en la zona minera de Santo Domingo, Chontales: evaluación de riesgo a la salud humana y ambiental debido al consumo y exposición a metales y metaloides.

Elaborado por:

➤ **Francisco Vallecillo Galeano**

Carrera:

➤ **Ingeniería en Calidad Ambiental**

Tutora:

➤ **Katia Montenegro Rayo Ph.D.**

Managua- Nicaragua

Tabla de contenido

1. Título	3
2. Introducción	3
3. Justificación.....	4
4. Objetivos	5
Objetivo general:.....	5
Objetivos específicos:	5
5. Marco teórico	6
5.1 Calidad de Agua de uso potable	6
5.1.1 Definición de Calidad de Agua	6
5.1.2 Normativa Aplicable	6
5.2 Descripción del CWQI.....	7
5.3 Contaminación por Metales pesados	7
5.4 Cociente de Peligrosidad.....	8
5.4.1 Definición.....	8
5.4.2 PDI (Ingesta diaria por persona)	8
5.5 Descripción del Sitio de estudio.....	9
5.5.1 Ubicación Geográfica y Político Administrativa	9
5.5.2 Edafología	10
5.5.3 Clima	10
5.5.4 Geología	10
5.5.5 Geomorfología	12
5.5.6 Hidrología.....	12
5.5.7 Hidrogeología.....	13
5.6 Actividad minera	15
5.6.1 Exacción artesanal.....	15
5.6.2 Aspectos legales	15
5.6.3 Estudios antecedentes relacionados.....	15
6 Diseño metodológico.....	16
6.1 Tipo de investigación y enfoque	16

6.2	Universo y muestra de trabajo.....	16
6.3	Identificación de variables	16
6.4	Proceso de investigación	19
7	Cronograma de actividades	20
8	Bibliografía	22

1. Título

Calidad físico-química de fuentes de agua subterránea y superficial en la zona minera de Santo Domingo, Chontales: evaluación de riesgo a la salud humana y ambiental debido al consumo y exposición a metales y metaloides.

2. Introducción

La minería es una actividad económica de importancia significativa en zonas donde se presentan características propicias para ello. En partes de Nicaragua ocurre esto. Ejemplos de lo mencionado son Santo Domingo y La Libertad (ambos en Chontales), de modo que gran parte de esta población aplica artesanalmente. Estas actividades son realizadas en las concesiones mineras otorgadas a la “Cooperativa Empresa Asociativa de Pequeños mineros de Santo Domingo” y a la GREENSTONE CO. LTDA de Canadá. Dicha práctica genera un impacto al suelo y aguas superficiales y subterráneas locales, hasta la atmosfera, afectando directa o indirectamente a las personas que habitan o laboran en las cercanías. Entonces, la vulnerabilidad ambiental y a la salud es alta. El agua es especialmente importante y sensible por ello, al ser altamente usada por los güiriseros, mineros artesanales y corporativos, y fácilmente contaminable debido a las características edáficas y geológicas con su abundancia de minerales en estas zonas, a demás de la climatología.

El afloramiento de agua conocido como Túnel Azul es una fuente importante de abastecimiento de agua para consumo de la cabecera municipal de Santo Domingo (del mismo nombre), este únicamente recibe desinfección por cloro (cuando se construyo el sistema se considero con buena calidad de agua). Se presume contenido alto de metales pesados, a demás de otros parámetros, esto por estar dentro de una concesión minera. Dicha contaminación es muy probable, se requiere verificarla y evaluar si puede incidir en la salud de la población que consume esta agua. Entonces, puede haber riesgo ambiental sobre el manantial por la actividad minera y características de suelos y geológicas. Puede haber también riesgo a la salud humana, es determinable si se evalúa la distribución de densidad probabilística de ingesta diaria por persona, es decir: ¿que probabilidad hay de que las personas, al consumir dicha agua, sobrepasen la dosis máxima tolerable de ingesta?, de donde se obtendrán cocientes de peligrosidad basados en simulaciones Monte Carlo realizadas con el software @RISK 6.0. Tomando en cuenta un pozo que se pretendía usar como alternativo al ya mencionado, se podría valorar la viabilidad de este reemplazo en base a la calidad del agua y posibilidades de uso potable. Así que se pretende responder a lo siguiente: ¿Qué calidad de agua presentan estas fuentes de agua subsuperficial Azul, en cuanto a contenido de metales pesados y metaloides? En caso de no ser posible el uso de consumo humano se evalúa también uso para ganadería, ambos con el mismo enfoque de metales pesados y metaloides. Habrá que sumarle tres sitios más, de agua superficial, debido a la necesidad del uso de agua y su presencia en abundante en la zona, que sugiere

captación cómoda y así mismo exposición; se evaluarán, pues, con el mismo enfoque y se le suma el uso potencial de protección de vida acuática. De esto se obtendría información útil para nuevos estudios o proyectos que pretendan solución a la problemática (dado el caso que exista), con lo que vale aclarar que no hay información concreta al respecto o es restringida, pero según estudios “Actualmente, el agua no presenta la misma calidad debido a la actividad minera artesanal que se realiza en esa área.”(DESMINIC, 2010) dicha área incluye el Túnel Azul.

3. Justificación

Gran parte de la población de Santo Domingo cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable de una fuente hídrica con calidad desconocida y seguramente con alto contenido de metales pesados, esto debido a la geología local que presenta estos minerales y a las actividades de extracción artesanal. Para cada compuesto hay rangos en que es tolerable para el organismo, según la dosis diaria ingerida por los pobladores indicará la peligrosidad. Por las razones anteriores se debe comprobar o descartar la existencia de los metales pesados (la concentración) en el afloramiento conocido como el Túnel Azul. Si se hace esta determinación será posible brindar una información más certera a la población de la calidad del agua que consumen y se tomarán las medidas adecuadas, posiblemente un tratamiento o implementar fuentes de agua alternativas. Además, si se evalúan estas características locales se puede dilucidar la vulnerabilidad ambiental en que se encuentra este recurso de utilidad significativa para estas personas.

Este tema es abordado por la falta de certeza en la calidad de agua de este manantial, la importancia que tiene para la población de Santo Domingo y la facilidad que tienen los habitantes para ingerirla aun con lo que representa a la salud. Se requiere pues hacer un reconocimiento de las características locales que propiciarían la contaminación por metales pesados, hay que revisar datos al respecto identificando geología, topografía, métodos utilizados en la minería... esto es para valorar causas, pero el principio fundamental es la calidad de agua, para lo que se requerirán análisis de metales y otros parámetros fisicoquímicos asociados a su comportamiento; se valorarán cocientes de peligrosidad y estimarán las probabilidades de riesgo de que se produzcan efectos adversos a la salud humana debido al consumo de agua, esto solamente para los parámetros que superen los valores recomendados y los máximos admisibles de las normas CAPRE y OMS. El índice a usar es el CWQI (índice Canadiense de Calidad de Agua). La investigación se realizará a nivel de laboratorio, con visita al lugar para reconocerlo y captar muestras (unas cuatro veces, en poca lluviosa), además de la aplicación de encuestas que brindarán la información de consumo diario de agua y masa del habitante, se procederá también a la revisión bibliográfica. Tomando en cuenta un sitio que fue considerado como alternativo al Túnel Azul, para abastecer a Santo Domingo, se tendrán sitios de referencia considerados así por la relativa lejanía a las actividades mineras. Al estar en contacto continuo con las aguas

superficiales y la necesidad de uso que tiene la población de ellas, se considero también, útil determinar el CWQI, en escancia por el uso ganadero, en tres puntos superficiales: uno en la confluencia del Rio Artiguas y la Congoja (El Sardinillo), aguas un poco mas debajo de Rio Sucio (Plantel La Estrella) y un sitio mas del Rio Sucio cercano y aguas arriba del Túnel Azul. Con lo que los enfoques son de consumo humano, ganadero y, dado el caso que no funcione para ninguna de las anteriores, de vida acuática. Se requiere información al respecto y asegurar la calidad de las aguas que se consumen en la cabecera municipal, y esto es lo que se pretende conseguir con la presente investigación. La información dilucidada no será restringida, el hacer o no hacer correcciones (en materia de tratamiento del agua o nivel de consumo de la misma) esta en manos de las autoridades municipales o de la población en sí, pero ya se estará con la seguridad de la calidad del agua que se consume y de la peligrosidad según dosis ingerida.

4. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar la calidad físico-química de una fuente de agua subterránea y cuatro de agua superficial y los riesgos a la salud humana y ambiental debidos al consumo y exposición a metales y metaloides en la zona minera de Santo Domingo, Chontales.

Objetivos específicos:

- Evaluar la calidad físico-química de las cinco fuentes de agua de interés para los usos consumo humano, protección de la vida acuática y ganadería; con énfasis en el contenido de metales y metaloides y parámetros que influyan en su toxicidad.
- Calcular los índices de calidad de agua de las cinco fuentes de agua de interés para los usos consumo humano, protección de la vida acuática y ganadería con el software CCME Water Quality Index Calculator 1.2 (Canadian Council of Ministers of the Environment).
- Calcular los cocientes de peligrosidad y estimar las probabilidades de riesgo de que se produzcan efectos adversos a la salud humana y ambiental debido al consumo y exposición a agua con concentraciones mayores a los valores recomendados y máximos admisibles de las normas CAPRE, OMS y Canadienses por medio de simulaciones Monte Carlo realizadas con el software @RISK 6.0.

5. Marco teórico

5.1 Calidad de Agua de uso potable

5.1.1 Definición de Calidad de Agua

La calidad del recurso hídrico puede ser determinada a partir de los índices de calidad (ICA), como el elaborado por “The National Sanitation Foundation” de los Estados Unidos “ICANSF” usado para la evaluación de fuentes de abastecimiento y los indicadores de contaminación del agua (ICO), como el elaborado en Colombia por Ramírez et al., (1998) “ICOMO”, utilizado en la evaluación contaminación orgánica. Los requisitos para la calidad de agua se establecen de acuerdo con el uso al que se destina la misma. Por lo común su calidad se juzga con el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos que fija el usuario (Heinke, G, 1999).

Los ICA e ICO, consisten básicamente en una expresión matemática simple, de la combinación de un número de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, los cuales sirven como medida de la calidad del agua para diferentes usos (Fernández & Solano, 2005). Finalmente el valor numérico obtenido, que oscilan entre 0 a 100 y 0 a 1, se clasifica en diferentes rangos a los cuales se le asigna una descripción cualitativa del grado de contaminación del agua, con los cuales puede valorarse el recurso (Samboni, et al, 2007).

5.1.2 Normativa Aplicable

5.1.2.1 Norma CAPRE para agua de consumo humano

Los objetivos de las normas CAPRE son “Dictar Normas Regionales Técnicas de Estandarización de equipos, repuestos y materiales, para facilitar el intercambio entre los miembros afiliados” y “Dictar Normas Técnicas de Control de Calidad de Productos en materia de agua potable y saneamiento entre los países miembros y afiliados” para lo cual se estableció la normativa. En la Tabla 5.1 se muestran los parámetros que se tomaran en cuenta para el presente caso.

Tabla 5.1 Máximos admisibles y recomendados de parámetros físico químicos

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo Admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
pH		6,5 a 8,5	
Conductividad	µS/cm	400	
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l		
Zinc	mg/l		3
Hierro	mg/l		0,3
Bario	mg/l		

Plomo	mg/l		0,01
-------	------	--	------

Fuente: Valores extraídos de la Norma Regional CAPRE, primera edición en septiembre 1993 y revisión en marzo de 1994.

5.1.2.2 Norma de la OMS para agua de consumo humano

La OMS propone valores guía para sustancias que pueden dañar la salud, estas son presentados en la Tabla 5.2, se abarcan para este caso especial los metales pesados ya mencionados.

Tabla 5.2. Valores de referencia de los metales pesados que se presumen en el sitio de estudio

Sustancia	Valor de referencia (mg/l)
Bario	0,7
Cinc	15
Plomo	0,01

Fuente: Valores tomados de Guías para la calidad del agua potable, primer apéndice de la tercera edición, volumen 1: Recomendaciones. OMS, 2006

5.2 Descripción del CWQI

El consejo Canadiense de ministros del Medio Ambiente (CCME) desarrolló un programa que calcula el índice de calidad de agua (con este se pueden fijar objetivos específicos) por sitio o usar los valores guía establecidos por el CCME. El resultado es un numero entre 1 y 100, de las que surgen categorías: Excelente (CWQI 95-100), Buena (CWQI 80-94), Regular (CWQI 65-79), Marginal (CWQI 45-64), Mala (CWQI 0-44). (Umaña et al, 2011).

El cálculo se basa en tres atributos de la calidad de agua relacionados con los objetivos de la calidad de agua: Alcance (F1), Frecuencia (F2), Amplitud (F3).

5.3 Contaminación por Metales pesados

El término “metal pesado” (“heavy metals”) no está bien definido, si bien suele referirse a elementos considerados químicamente como metales, y con peso atómico elevado, aunque también se consideran en las definiciones otros parámetros, como la densidad o peso específico del metal, o incluso su toxicidad (UCLAM, s.f.). Para el presente caso se toman con mayor relevancia solamente tres, esto porque estudios anteriores a nivel de micro cuenca (del río Artiguas) (Espinoza, 2005) se encontró que en aguas subsuperficiales los más abundantes son el bario, cinc y plomo, por tanto hay más propensión a efectos adversos e incidencia sobre el sitio de estudio.

El bario es un oligoelemento presente en las rocas ígneas y sedimentarias. Los alimentos son la fuente principal de consumo para la población que no está expuesta por motivos laborales, aunque si la concentración de bario del agua es elevada, el agua de consumo

puede contribuir significativamente a la ingesta total (OMS, 2003). El valor de referencia que asigna la OMS a este metal es de 0,07mg/l. La concentración en el agua de consumo generalmente es inferior a 100 µg/l, aunque en agua de consumo procedente de aguas subterráneas se han registrado concentraciones superiores a 1 mg/l. (OMS, 2003).

El plomo se encuentra presente en un gran número de minerales, la más común es el sulfuro de plomo (galena: PbS). El plomo es un metal difícilmente movilizable, y bajo condiciones oxidantes la galena da origen a minerales estables e insolubles, como la cerusita y anglesita (UCLM, s.f.). El valor de referencia es de 0,01mg/l, las concentraciones en el agua de consumo son, por lo general, menores que 5 µg/l, aunque se han medido concentraciones mucho más altas (mayores que 100 µg/l) en instalaciones con accesorios de plomo (OMS, 2003). El plomo es altamente tóxico y tiene muchas formas de crear afecciones en los humanos para el sistema nervioso central, el periférico, inducción de efectos neurológicos extraencefálicos y efectos conductuales, entre otros.

El cinc es un oligoelemento esencial que se encuentra en prácticamente todos los alimentos y en el agua potable en forma de sales o complejos orgánicos. Las necesidades diarias de un hombre adulto es de 15 a 20 mg/día. el agua de consumo con concentraciones de cinc mayores que 3 mg/l puede resultar inaceptable para los consumidores (OMS, 2003).

5.4 Cociente de Peligrosidad

5.4.1 Definición

El efecto de cierta sustancia no se presenta a menos que se cumplan las condiciones particulares, de manera que, existen límites permisibles o valores recomendados por normativas (como las de la OMS) que permiten identificar los umbrales de presencia de la sustancia en el agua de consumo humano que pueden ser propicias para un daño. Los cocientes de peligrosidad dan una indicación de probabilidad de que ocurra un efecto adverso debido al ingreso de la sustancia en cuestión, de manera que se usan las concentraciones en el agua contra los valores guía, la primera no debe superar a la segunda.

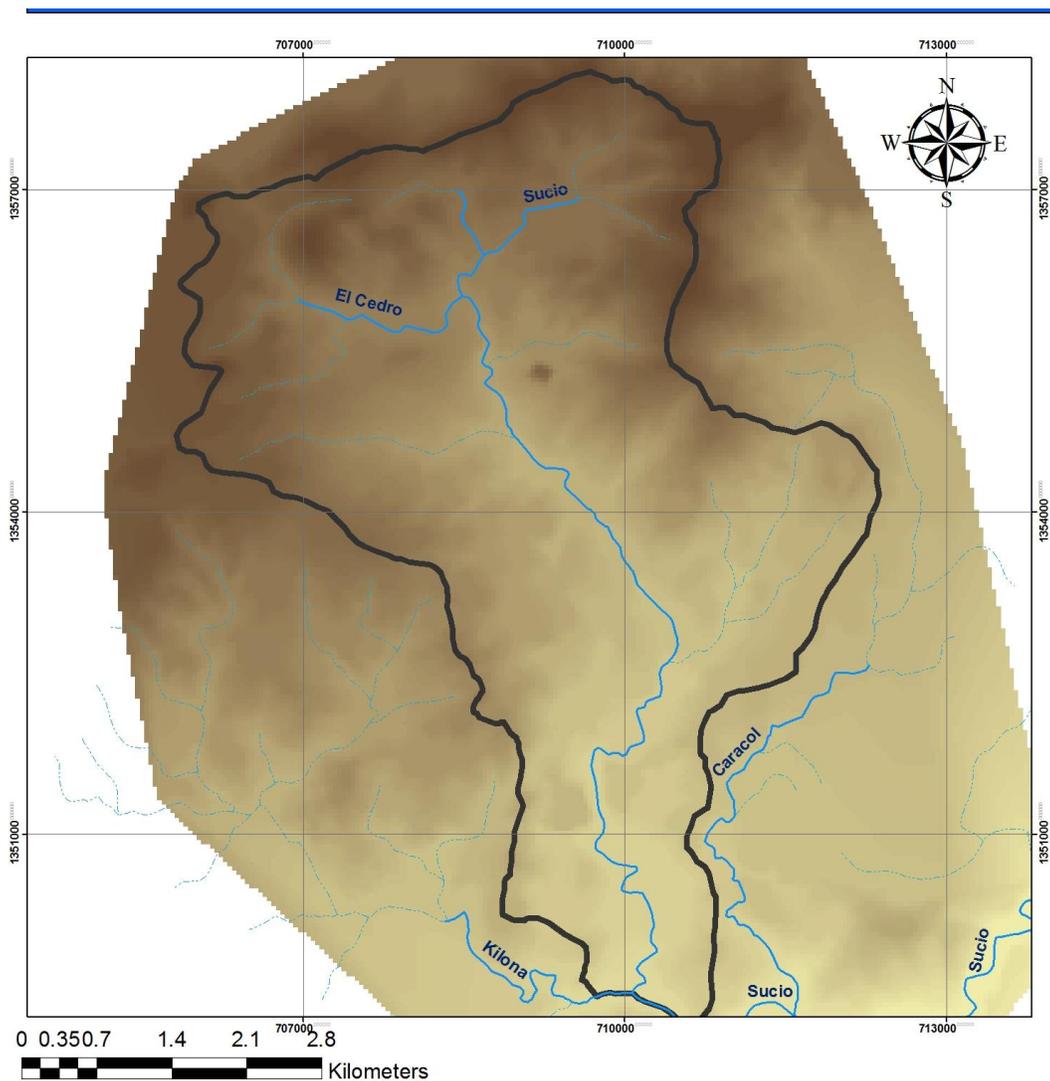
5.4.2 PDI (Ingesta diaria por persona)

Se trata de la ingesta de la cantidad que una persona ingiere de una sustancia por unidad de masa del sujeto en un día, medida en µg/Kg/d. Así pues, una persona al consumir agua de cualquier fuente ingiere cierta cantidad de sustancias y la susceptibilidad a sufrir un efecto adverso depende de la masa del sujeto. La PDI tiene un enfoque probabilístico y se contrasta con la TDI (Ingesta diaria Tolerable) para determinar la probabilidad de que se alcance la concentración que puede generar efectos negativos en un individuo.

5.5 Descripción del Sitio de estudio

5.5.1 Ubicación Geográfica y Político Administrativa

El Túnel Azul se localiza en la Cabecera Municipal de Santo Domingo (del mismo nombre), en el departamento de Chontales. El Río Artiguas, en a la cuenca del Rio Escondido, al que llegan sus aguas luego de servir de afluente al Río Sucio Sur, este que descarga sus aguas al Río Siquia, que junto con los Ríos Mico y por fin al Río Escondido. La Cuenca mencionada desemboca en el Atlántico, la mayor parte de su área esta también en la Región Atlántica Sur de Nicaragua. Se puede notar la delimitación del área de la microcuenca del Rio Artiguas en la figura 5.1, que evidencia la red hídrica.



Fuente: García, 2013, adaptado de INETER (s.f.)

Figura 5.1. Microcuenca del Río Artiguas, red hídrica

5.5.2 Edafología

En cuanto a los suelos a nivel de microcuenca, los más representativos y predominantes se contienen en tres unidades cartográficas, subdivididas cada una por dos unidades taxonómicas, pero también se encuentran pequeñas inclusiones de otras unidades taxonómicas: (1) Asociación OrthoxicTropudults y TypicTropudults; Asociación TypicTropudults y TypicTropudalfs; e Asociación TypicEutropepts y TypicArgiudolls. Estas unidades cartográficas, fueron determinadas y documentadas por INETER (1973). Los suelos predominantes del sitio son de la unidad taxonómica 1 (Espinoza, 2004).

5.5.3 Clima

En la microcuenca se distinguen dos zonas de vida según la clasificación ecológica de Holdridge: bosque sub-tropical muy húmedo y bosque tropical húmedo, predominando la primera (INETER, 1973).

De acuerdo a la clasificación Köppen, la microcuenca pertenece a la región climática de Nicaragua: Zona Tropical Lluviosa, con período seco corto, que se caracteriza por lluvias abundantes distribuidas entre 9 y 10 meses. La precipitación anual varía de 2 000 a 4 000 mm, con un período seco de dos a tres meses. La temperatura promedio anual varía en un rango de 24 y 28° C, y la relación de la oscilación de la temperatura durante el año es inferior a 5 ° C (INETER, 1973). Una estación meteorológica instalada recientemente en la zona central Norte de la microcuenca reporta temperaturas anuales entre 17°C y 28°C.

5.5.4 Geología

La microcuenca en donde se ubica el área de estudio está en la Cordillera Chontaleña perteneciente a la Provincia Geológica Central de Nicaragua. Según el mapa del estudio de González et al (2002) la Microcuenca del río Artiguas corresponde en su totalidad a la formación Coyol Inferior lo cual confirma la información de Espinoza *et al* (2005) y el mapa proporcionado por INETER, edad Mioceno-plioceno. Las Unidades Litoestratigráficas de la zona desde la más antigua a la más reciente son: Unidad Andesítica Santo Domingo, 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, primordialmente en el curso de algunos riachuelos y quebradas (Sánchez; 2004 y Herrera, material en prensa).

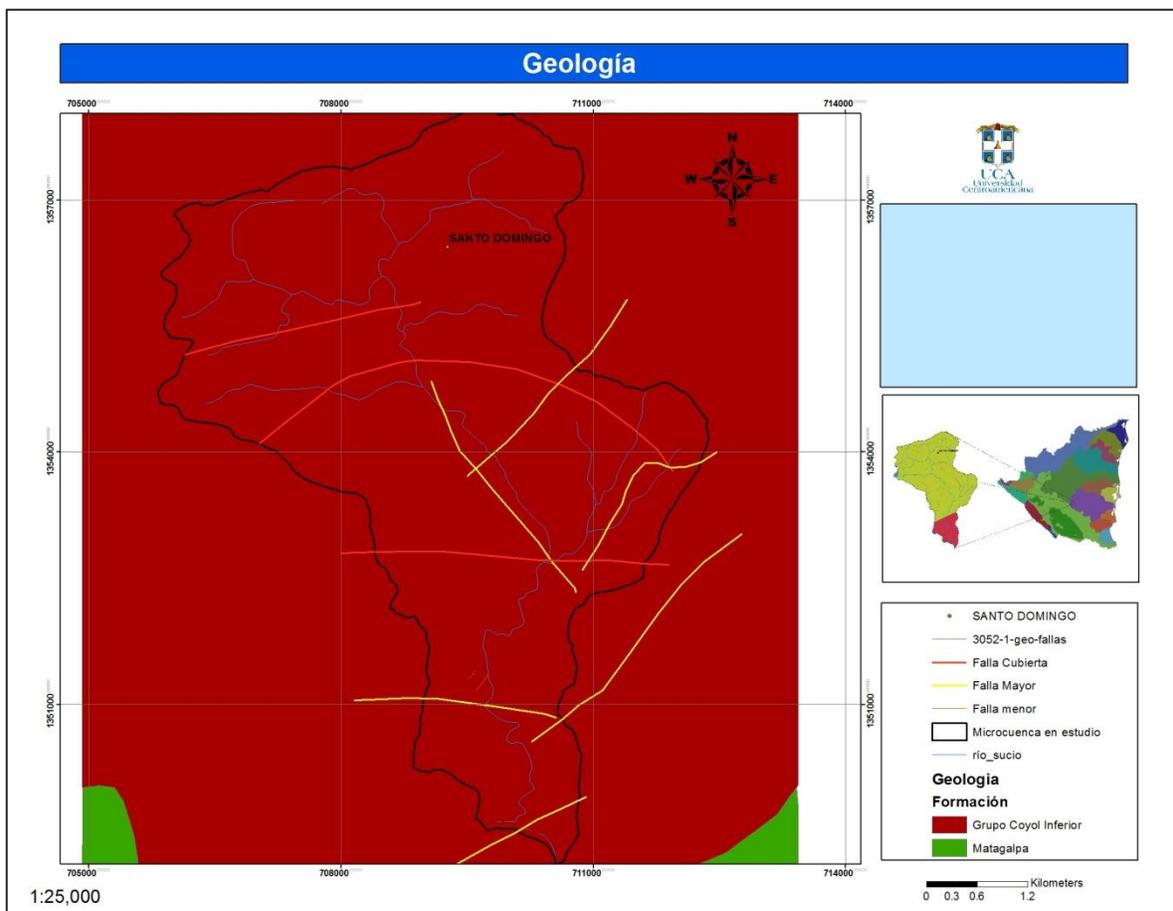
Tabla 5.3 Clasificación geológica de Santo domingo

Era	Período	Época	Espesor	Simbología	Porcentaje de dominio	Descripción Litológica
Cenozoica	Terciario	Oligoceno-Mioceno	400-800	Tmc-Coyol inferior	100 %	Andesita-Dacita y Aglomerado

Fuente: Gonzalez, Henriquez, & López (2002)

Dentro de la ya mencionada Unidad Andesítica, hay afloramientos locales andesito-basálticos y abundancia de plagioclasas, alto contenido de piroxeno y otros minerales accesorios (Espinoza, 2004). Hay poca presencia de calcita (carbonato de calcio) y clorita se encuentran, siendo, junto con los olivinos, minerales de alteración. Se logro detectar alteraciones de los tipos Silificación, argilítica y propilítica (esta última caracterizada por la presencia de cloritas), a través de análisis petrográfico de esta unidad (Sánchez, 2004).

La segunde unidad, Ignimbrítica, está compuesta por andesita, que la constituyen esencialmente cenizas y lapillis soldadas; los minerales secundarios identificados son sericita, clorita y zeolitas. La tercera unidad, Coluvio- aluvial, es formada por fragmentos andesíticos que se envuelven por una matriz arcillosa, alterada producto de fluidos mineralizados (Sánchez, 2004).



Fuente: García, 2013, adaptado de INETER (s.f.)

Figura 5.2 Formación geológica predominante en microcuenca del río Artiguasa-Santo Domingo

El área de estudio donde están los puntos de interés presenta de forma típica características geológicas de vetas de cuarzo, zonas de fractura y potentes capas de rocas volcánicas

meteorizadas e intensamente fracturadas por esfuerzos tectónicos (Mendoza, 2002; Sánchez, 2004). Se presenta una mineralización correspondiente de vetas de cuarzo y andesitas silicificadas portadoras de oro nativo, granuloso y finamente distribuido en las vetas de origen epitermal, que se asocian a minerales sulfurosos como galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS₂) y calcopirita (CuFeS₂); plata nativa y otros minerales argentíferos (Martínez, 1987; y González et al; 2002).

5.5.5 Geomorfología

La provincia geomorfológica y subunidad fisiográfica a la que pertenece el área de estudio, a nivel de microcuenca, se denomina tierras altas del Interior, de la provincia fisiográfica Estribaciones del Atlántico, donde el relieve, mayormente, es colinado a montañoso. Las pendientes representativas son de 15 o superando el 60 %, encontrándose, también, ligeramente onduladas a onduladas, que presentan pendientes de 3 a 15%; se encuentran elevaciones variantes desde 200 a 500, e incluso, 700 msnm; la litología de la zona está formada principalmente por rocas volcánicas basáltico-andesíticas, intercaladas locamente con materiales tobáceos; y el paisaje presenta el relieve típico de montañas alargadas. Las tobas presentan un relieve de lomas onduladas. (INETER, 1973).

5.5.6 Hidrología

La microcuenca cuenta con seis riachuelos tributarios o afluentes del río, que en orden geográfico de Norte a Sur y de Oeste a Este son: El Tamagás, La Estrella, El Cedro, El Cuatro, Quebrada Alegre y Caracolito (llamado también Caracol Amarillo); éstos, se originan de manantiales permanentes, y transportan agua durante todo el año. Existen al menos 93 manantiales permanentes que están distribuidos sobre un área de aproximadamente 25 km². Los manantiales son caracterizados como humedales (con áreas de entre 50 m² a 5000 m²), como manantiales puntuales, y como pozos; las elevaciones de los manantiales oscilan entre 336 a 725 m.s.n.m. (Aronsson y Wallner, 2002), según Espinoza (2004).

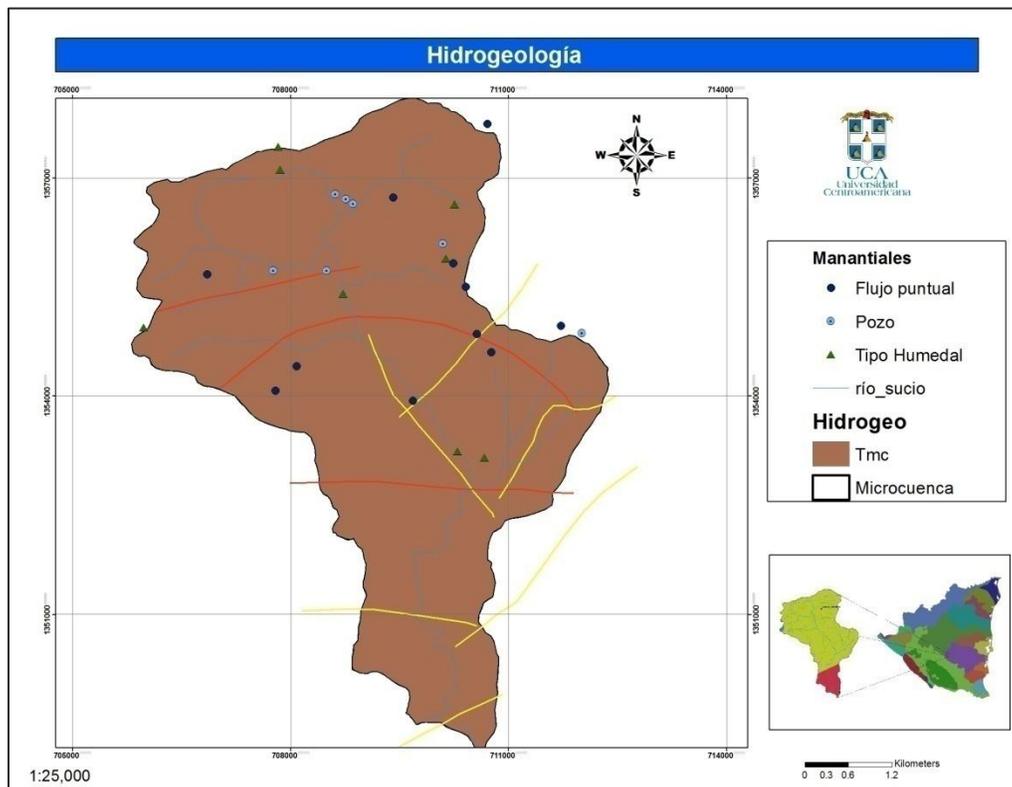
Análisis realizados por André et al. (1997), según Espinoza (2004), determinaron que la composición química del agua del río está determinada por dos mecanismos mayores: actividades mineras auríferas, que determinan por ejemplo los contenidos de Si, Al, Fe, K, Mn, S, As, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, Cd, Ni, Pb 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.

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 y transmisibilidad de baja a media (ver figura 5.3). Pero, considerando la presencia de fallas y fracturas, es razonable la numerosidad de manantiales localmente, a partir de acuíferos colgados, con lo que se posibilita el uso de estos para abastecimiento y que forman los ríos existentes en la zona.

5.5.7 Hidrogeología

El cauce principal del Río Artiguas es de poca profundidad, con valles que presentan paredes casi verticales; siguiendo el curso aguas abajo, hay saltos y pequeñas cataratas y cambios en la dirección del cauce característicos, los que pueden ser controlados por debilidades estructurales. Las fallas y fracturas pueden dominar los patrones de drenaje ocasionalmente, estos son de tipo dendrítico y paralelo. En la parte superior tiene más desarrollado el patrón de drenaje que en la parte inferior, esto es ocasionado por los intensos procesos de erosión (Sánchez, 2004).

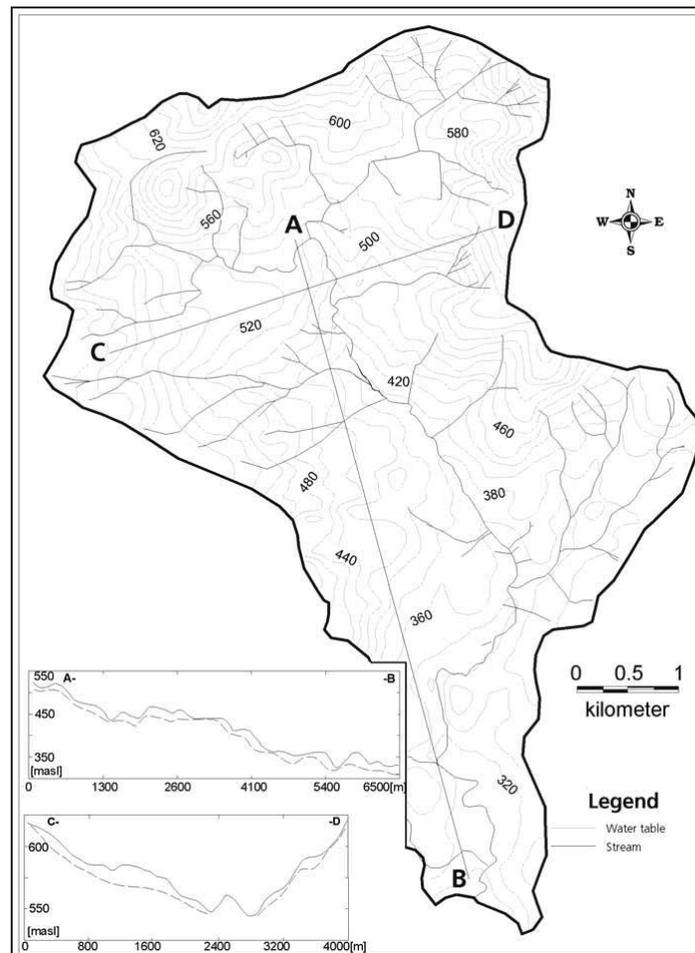
Estudios realizados de reconocimientos geológicos y estudios de resistividad, arrojan resultados que expresan importancia en la función de la meteorización y la tectónica en el sistema de aguas subterráneas. Las estructuras verticales como las fallas y vetas de cuarzo, actúan como conductos para transporte de agua en los manantiales de la parte alta de la microcuenca del Río Artiguas. Según Espinoza (2004) los afloramientos de las vetas de cuarzo suceden como una zona de resistividad alta de la arcilla meteorizada que rodea la roca, una alta porosidad secundaria, se espera que esté asociada con las vetas de cuarzo, lo que entonces, puede funcionar como conductos de infiltración y transporte de agua subterránea. Los sistemas locales de agua subterránea se encuentran a poca profundidad. Análisis químicos realizados por Aronsson y Wallner (2002) en agua de manantiales, muestran bajas concentraciones de iones sugiriendo una rápida circulación de ésta a través del sistema de aguas subterráneas (Mendoza, 2002).



Fuente: García, 2013, adaptado de INETER (s.f.)

Figura 5.3 Hidrogeología de la microcuenca del Río Artiguas

De acuerdo con el mapa obtenido (Figura 5.4), los niveles de agua en la zona de Santo Domingo llegan hasta 20 m de profundidad. En cierta medida las capas freáticas pueden considerarse como la réplica de la topografía. Esto es válido para el medio hidrogeológico, que presentan una permeabilidad relativamente baja sometidos a tasas altas de recarga en comparación con su espesor y permeabilidad.



Fuente: B2GOLD (2012)

Figura 5.4 Niveles de Agua subterránea y perfiles.

5.6 Actividad minera

5.6.1 Exacción artesanal

El método es conocido como “Método de beneficio de oro” que abarca la minería artesanal y la pequeña minería. El procesamiento de la mena se realiza utilizando el método de amalgamación en los planteles de beneficio con sistemas de molienda de mena, así como en zonas de acumulación aluvial de los sedimentos de las colas de planteles de beneficio (Espinoza, 2005). En general, se hace extrayendo material de la veta para pasarlo por la molienda y amalgamación donde implementan el mercurio.

5.6.2 Aspectos legales

Para controlar la explotación y uso racional del manantial Túnel Azul como fuente de abastecimiento de agua potable para la población de Santo Domingo se deben considerar primeramente la normativa CAPRE para agua de consumo humano y las hojas técnicas dictadas por la OMS para sustancias tóxicas no deseables; El *Reglamento de Permiso Evaluación de Impacto Ambiental, Decreto 45-94*, esto por la explotación minera de la veta cuando la actividad puede tener un fuerte impacto sobre un recurso de importancia en la población.

5.6.3 Estudios antecedentes relacionados

Se han realizado varios estudios sobre la zona en general de Santo Domingo, como perteneciente a la microcuenca del río Artiguas y como fuente de minerales explotables, pero el Túnel Azul no ha sido evaluado aun con la importancia que posee.

5.6.3.1 Fuentes alternativas de abastecimiento de agua

La empresa DESMINIC desarrollo un estudio para valorar fuentes alternativas al Túnel Azul para abastecer a la población de Santo Domingo. El proyecto pretende abastecer a 10464 habitantes, proyectado a 20 años (DESMINIC) con punto teórico de partida en el año 2012, se desconoce de acciones al respecto. Captación de 23L/s en total proviniendo de las fuentes (1) Los Cedros y (2) La Estrella. Para los pozos 1 y 2 se requerirá una captación de 3.15L/s y 11.35L/s. No muestran datos suficientes sobre la calidad de estos pero sugieren un tren de tratamiento compuesto por: Aireación, clarificación, filtración y desinfección con cloro.

5.6.3.2 Calidad de agua en microcuenca del Río Artiguas

A nivel de microcuenca se realizó un estudio de la calidad del agua (con énfasis en metales pesados) que arrojaron información de la presencia de metales pesados en Río Artiguas y pozos, debido a la actividad minera y las propiedades naturales de geología local. En el río, los metales pesados que se encontraron en mayores niveles contaminantes son Pb, Cd, Hg y Cu; siendo el Pb el que presenta las mayores concentraciones poluentes (Espinoza, 2005). En términos generales, se encontró contaminación por metales pesados y se considero a la actividad minera como razón primordial de esto.

6 Diseño metodológico

6.1 Tipo de investigación y enfoque

La investigación es de carácter cualitativo, describiendo la calidad del agua por sitio, sus posibles aplicaciones partiéndose del valor encontrado por el software CCME Water Quality Index Calculator 1.2. Además es determinar cuáles tienen probabilidad de implicación negativa a la salud por medio de simulaciones Monte Carlo realizadas con el software @RISK 6.0.

6.2 Universo y muestra de trabajo

El universo es el área de estudio ya caracterizada, se encuentra en el poblado de Santo Domingo, representando los pozos, manantiales y agua superficial. La muestra seleccionada fue a partir de criterios de requerimiento de información, primeramente el sitio de captación de agua con fines potables de la población, el Túnel Azul, un sitio más referencia (el pozo de Peñas Blancas) y fuente alterna de abastecimiento de la población de Santo Domingo, y tres de aguas superficiales sobre el Río Sucio. Los muestreos se realizarán en época lluviosa, con un número esperado (mínimo) de 4 veces.

6.3 Identificación de variables

Para cada uno de los objetivos específicos planteados para la investigación, que surgen a partir del general, se definen variables, las que podrán centralizarse más si se mencionan las subvariables, dimensiones o categorías. La componente más pequeña son los indicadores, los que serán medidos y sobre los que se basará un análisis para la consecución de las variables y la conclusión por cada objetivo. En la tabla 6.1 se muestra la operacionalización de las variables según el tema de estudio.

Tabla 6.1. Operacionalización de las variables

Objetivo general	Objetivo específico	Variable	Subvariables, dimensiones, categorías	Indicadores
<p>Evaluar el riesgo a la salud humana a ingesta de metales y metaloides, debido al consumo de agua de fuentes subterráneas y superficiales en la zona minera de santo Domingo, Chontales</p>	<p>Evaluarla calidad físico-química de las cinco fuentes de agua de interés para los usos consumo humano, protección de la vida acuática y ganadería; con énfasis en el contenido de metales y metaloides y parámetros que influyan en su toxicidad.</p>	<p>Calidad fisicoquímica del agua según su uso</p>	<p>Consumo humano, ganadería, protección de vida acuática</p>	<p>contenido de metales y metaloides y parámetros que influyen en su toxicidad</p>
	<p>Calcular los índices de calidad de agua de las cinco fuentes de agua de interés para los usos consumo humano, protección de la vida acuática y ganadería con el software CCME Water Quality Index Calculator 1.2 (Canadian Council of Ministers of the Environment).</p>	<p>Índices de calidad del agua</p>	<p>Consumo humano, protección de la vida acuática y ganadería</p>	<p>Parámetros físico-químicos, microbiológicos, metales pesados: pH, conductividad, potencial eléctrico, coliformes, bario, cinc, plomo.</p>
	<p>Calcular los cocientes de peligrosidad y estimar las probabilidades de riesgo de que se produzcan efectos adversos a la salud humana y</p>	<p>Cocientes de peligrosidad</p>	<p>Consumo humano</p>	<p>PDI (ingesta diaria por persona) Peso del individuo Volumen promedio de agua consumido</p>

	<p>ambiental debido al consumo y exposición a agua con concentraciones mayores a los valores recomendados y máximos admisibles de las normas CAPRE, OMS y Canadienses por medio de simulaciones Monte Carlo realizadas con el software @RISK 6.0.</p>			<p>al día Concentración en el agua del parámetro que supera la norma TDI (ingesta diaria tolerable) Valor indicado, según el parámetro que supere la normativa</p>
--	---	--	--	---

Por medio de las variables e indicadores se pretende obtener conclusiones, implementando un enfoque analítico no experimental, en base al desarrollo de los valores encontrados a lo largo de 4 meses en época lluviosa partiendo de la última semana de agosto.

6.4 Proceso de investigación

La revisión bibliográfica recopila la teoría acorde al tema de estudio, asociando conceptos, valores de referencia, antecedentes y características importantes locales, a nivel de microcuenca o municipio, que permitan el correcto análisis. Se realizara una visita de reconocimiento del lugar, garantizando el acceso estableciendo contacto con propietarios y allegados, aquí también se evalúa las características del equipo necesarias para el muestreo (como el ancho del tubo de la bomba peristáltica).

Se tomara muestra para su respectivo análisis en cinco puntos, dos de captación de aguas subterráneas, uno de ellos será de referencia, en materia de metales pesados, por no haber influencia minera de relativa gran influencia (pero puede tener contaminación de otro tipo de otra fuente). Tres de los puntos son aguas superficiales, muy importante para determinación del CWQI para el uso ganadero o riego o protección de vida acuática. En el sitio, para el caso del pozo, implementando una bomba según el diámetro, se procede a purgarlo, esto es: se extraerá el agua para que se llene nuevamente, simulando lo que ocurriría si se usa para abastecer para cualquier uso, para coleccionar la muestra que le corresponde al agua que renueva naturalmente el pozo. Se medirán directamente en el sitio el pH, la conductividad y la conductividad; se tomaran muestras de parámetros fisicoquímicos y metales y metaloides (estas se preservan), en los sitios: pozo de Peñas Blancas, El Sardinillo, Platel La Estrella, Rio Sucio (aguas arriba del Túnel Azul) y el Túnel Azul, estos tres últimos son muestras de agua superficial, contando con la no autorización de ENACAL para el muestreo del propio manantial por lo que se tomaría a unos metros de el afloramiento de este.

Tabla 6.2 Coordenadas de los sitios de interés

Coordenadas	N	E	Elevación (msnm)
AS – Túnel Azul	0708855	1355246	435
AS – El Sardinillo	0709570	1357522	558
AS – Plantel La Estrella	0709535	1357267	552
AS – Rio Sucio (Aguas arriba del túnel Azul)	0708770	1355394	453
PP – Peñas Blancas	0709637	1357193	561

Las muestras serán llevadas al laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua, Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés, RURMA, para el análisis que le compete, de pH y conductividad de laboratorio (y parámetros fisicoquímicos con fines ajenos a esta investigación), de metales y metaloides, estos últimos serán determinados en base al método Espectrometría de Masa/Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

Los datos serán introducidos en el programa CCME Water Quality Index Calculator 1.2, así se determinara el índice de calidad de agua y evaluara según el uso consumo humano, protección de la vida acuática y ganadería.

Serán calculados los cocientes de peligrosidad y la probabilidad de riesgo para que se produzcan efectos adversos a la salud humana y ambiental debido al consumo y exposición a agua con concentraciones mayores a los valores recomendados y máximos admisibles de las normas CAPRE, OMS y Canadienses serán estimadas por medio de simulaciones Monte Carlo realizadas con el software @RISK 6.0. Los resultados recolectados brindaran el estado de las fuentes de agua y su posibilidad de uso, de tal manera que sean mínimos los riesgos en que se incurra al ingerir o estar en contacto con dicha fuente sin tratamiento. El cociente de peligrosidad a usar es la PDI/TDI, por cada parámetro que sobrepase los límites permisibles. Para el cálculo de la PDI se obtienen datos de campo mediante la aplicación de encuestas, para saber el peso del individuo y volumen de agua que consume diariamente como promedio. Los TDI ya son señalados. En base a los resultados se obtendrá el cociente y se procede a su análisis.

7 Cronograma de actividades

Las actividades a realizar constan de partes prácticas y trabajo de escritorio, partiendo de la formulación paso a paso del protocolo de investigación, continuando las visitas al sitio, análisis de las muestras para analizar los resultados que arrojen conclusiones. Esto es pues lo necesario para elaborar el documento que será defendido. Se realizaran los ajustes a lo ya concebido en el transcurso de la investigación, dado el caso que surjan imprevistos como inaccesibilidad de algunos puntos de muestreo, o salga a la luz una información nueva o la necesidad de más información para aplicar el correcto análisis.

Tabla 7.1.Cronograma de Actividades, según la semana y mes de ejecución

Mes	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Semana																								
Actividad																								
Concepción de idea	x																							
Redacción de planteamiento de problema, objetivos y justificación de la investigación		x	x																					
Revisión Bibliográfica (teoría e interés, características y ubicación del sitio de estudio, antecedentes)				x	x	x	x	x																
Protocolo de investigación								x																
Visita de reconocimiento				x																				

8 Bibliografía

- Aronsson, M. W. (2002). *Inventory of Springs and Hydrochemical Investigations of Groundwater in the Drainage Basin of Artiguas River, Nicaragua [Inventario de Manantiales e Investigaciones Hidroquímicas de Agua subterránea en la Cuenca de Drenaje del Río Artiguas]*. Lund University.
- B2GOLD. (2012). *Informe de Línea Base Santo Domingo*. Managua: B2Gold.
- Cooperativa de Pequeños Mieros de Santo Domingo R.L. (2008). *Documento de Impacto Ambiental; Proyecto: Explotación Minera San Gregorio*. Santo Domingo.
- Espinoza Benavides, T. M., & Espinoza Benavides, L. S. (2005). *Tesis: Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del Río Artiguas. Énfasis en Metales pesados*. Managua: UCA.
- Espinoza, T. E. (2005). *Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del Río Artiguas. Énfasis en metales pesados*. Managua.
- Fernández, N. &. (2005). *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Colombia: Universidad de Pamplona.
- García, J. e. (2013). *Análisis de Vulnerabilidad ante riesgos ambientales de la Microcuenca del Río Artiguas- Énfasis en Municipio de Santo Domingo*. Managua.
- Gonzalez, S. e. (2002). *Análisis de riesgos naturales y propuesta del Plan Municipal de Reducción de Desastres. Santo Domingo*. Managua: COSUDE.
- Henry, J. H. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Mexico: Prentice Hall.
- INETER. (1973). *Estudio Edafológico de la cuenca del Río escondido*. Managua.
- INETER. (1989). *Hoja topográfica: La Libertad, 3152-1, 1:50 000. Región V*. Managua.
- INIDE. (2008). *Santo Domingo en Cifras*. Managua: INIDE.
- MARENA/ INIFOM/CIRA. (2006). *Informe Diagnóstico Ambiental Subcuenca Alta de Ríos Siquia y Mico*. Managua: MARENA.
- Mendoza, J. (2002). *Geophysical and Hydrogeological Investigations in the Río Artiguas Watershed, Nicaragua [Investigaciones Geofísicas e Hidrogeológicas en la Cuenca del Río Artiguas, Nicaragua]*. Lund University.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*.
- Picado F, M. A. (2010). Ecological, Groundwater, and Human Health Risk Assessment in a Mining Region of Nicaragua. *Risk Analysis, Vol 30, No. 6* .

- Sánchez, M. (2004). *Estudio Geológico de la Parte Norte, Sub-Cuenca del Río Sucio, Santo Domingo Chontales*. Managua.
- Samboni, N. C. (2007). Parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, estado del arte. En N. C. Samboni, *Ingeniería e Investigación*.
- UCLM. (s.f.). *Universidad de Castilla-La Mancha*. Recuperado el 7 de Agosto de 2013, de Minería y Toxicología:
http://www.uclm.es/users/higueras/mam/Mineria_Toxicidad4.htm#DefCarTox
- Umaña E, M. K. (2011). *Evaluación de la calidad del agua subterránea y analisis de riesgo a la salud humana en zonas tabacaleras de Estelí*. Managua.