

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA GEOLÓGICA



MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA
**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN EL PROSPECTO MINERO DE SANTO DOMINGO,
CHONTALES.**

ELABORADO POR:
Br. Elliot del Carmen Pérez Romero.

TUTOR:
MSc. Dionisio Rodríguez Altamirano.

Managua, Julio del 2015

DEDICATORIA

*Esta tesis se la dedico a **Dios**, quien me guía y supo llevarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.*

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

A mis padres Alma y Marlon, a mi abuelo Alberto (q.e.p.d.); por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y por apoyarme con los recursos necesarios para estudiar. Ellos me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Magdalena, Jahaira y Alberto por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A mis sobrinos Natalia, Arianna y Gabriel, quienes han sido mi motivación y felicidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios.

*A mi familia; **mi madre, mi padre, mis hermanos, mis sobrinos y a mis tías**, por el apoyo incondicional, comprensión durante el desarrollo de mi carrera y por haberme dado las herramientas para lograr las metas que he propuesto hasta hoy.*

*A mi tutor, profesor **Dionisio Rodríguez**, por su valiosa enseñanza y orientación, por su apoyo y dedicación a lo largo del desarrollo de esta tesis. A él, todo mi agradecimiento y respeto.*

*A la maestra **Mélida Schliz**, que con sus sabios consejos ayudó a enriquecer este trabajo. Agradezco todo su apoyo y confianza que depositó en mí desde siempre.*

*Al **Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua)** por brindarme los recursos, equipos y materiales necesarios para realizar esta tesis.*

*Al proyecto "**Bioremediación de Sitios Contaminados por la Actividad Minera**" (**BIOREM**) llevado a cabo por el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) y el Laboratorio de Biotecnología con cooperación austriaca.*

Un agradecimiento muy especial a la profesora Mireya Pérez de la Universidad de Cuba, por brindarme sus conocimientos en petrografía y a todos mis profesores

durante toda mi carrera, porque todos han aportado un granito de arena en mi formación.

A mis amigos, por todos los momentos que pasamos juntos y por la confianza que en mí depositaron.

Son muchas personas que han formado parte de mi vida, a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, ánimo y apoyo en los momentos difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo, otras en mi recuerdo y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero dar las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y todas sus bendiciones.

Para ellos, muchas gracias y que Dios los bendiga.

RESUMEN

La región central de Nicaragua ha sido formada por potentes depósitos volcánicos pertenecientes al período Neógeno. Los depósitos volcánicos han sido estudiados regionalmente por McBirney & Williams (1965) dividiéndolos en dos formaciones: Formación Coyol, sub dividida en Miembro Coyol Superior y Miembro Coyol Inferior, subyacente por la Formación Matagalpa. Posteriormente, estas formaciones fueron reclasificadas por Ehrenborg (1996), quien propuso una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa, en base a facies definidas por la distancia de los depósitos de rocas respecto a las fuentes volcánicas de donde fueron emitidos. Estas investigaciones fueron realizadas regionalmente abarcando el área central geográfica de Nicaragua.

El presente estudio denominado Cartografía Geológica en el Prospecto Minero de Santo Domingo, se realizó gracias al convenio con la Cooperación Austriaca, el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) y el Laboratorio de Biotecnología, en el marco del proyecto "Bioremediación de Sitios Contaminados por la Actividad Minera" (BIOREM).

La geología identificada en Santo Domingo, es fundamentalmente referida a la actividad volcánica del Terciario. La mineralización aurífera presente en área de estudio es típica del sistema epitermal, que se produjo en la zona posterior a la deposición de los materiales volcánicos. En este trabajo, se definieron dos unidades litológicas: Unidad de Andesita de Santo Domingo, dentro de ésta tenemos a la Sub-Unidad Andesita Hidrotermalmente alterada, y por último Unidad Coluvio-aluvial.

Estructuralmente, el área presenta tres fases de deformación: I) Fase NW-SE, II) Fase NE-SW, y III) Fase E-W. La mineralización fue favorecida por el sistema de fallas y fracturas NW-SE y las principales vetas de cuarzo aurífero se emplazaron y rellenaron las fracturas. La geomorfología definida en el área de estudio es fundamentalmente controlada por procesos endógenos y exógenos, así como antropogénicos, dado el grado de deterioro ambiental al que ha sido sometido el municipio de Santo Domingo. El área ha sido dividida en cuatro unidades geomorfológicas: Unidad de Relicto de Caldera y Flujo de lava, 2) Unidad de Laderas Inferiores de Montañas, 3) Unidad de Cerros y Colinas 4) Unidad de Planicie aluvial.

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	2
1.1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3. LOCALIZACIÓN Y ACCESO	3
1.4. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO	5
1.4.1. <i>Población</i>	5
1.4.2. <i>Actividades Socioeconómicas</i>	5
1.4.3. <i>Clima, Precipitación y Temperatura</i>	5
1.4.4. <i>Accidentes geográficos</i>	6
1.4.5. <i>Hidrología</i>	6
1.5. ESTUDIOS PREVIOS.....	7
1.6. METODOLOGÍA	10
1.6.1. <i>Etapa I: Trabajo de Gabinete</i>	10
A. Recopilación bibliográfica.	10
B. Generación y obtención del mapa base.....	10
1.6.2. <i>Etapa II: Trabajo de Campo</i>	12
1.6.3. <i>Etapa III: Análisis e Interpretación de los Datos de Campo.</i>	12
A. Análisis petrográfico.....	12
B. Análisis Estructural.	13
C. Análisis Geomorfológico.	14
D. Informe final.	15
CAPÍTULO II.....	16
2.1. TECTÓNICA DE AMÉRICA CENTRAL	16
CAPÍTULO III.....	19
3.1. GEOLOGIA REGIONAL Y DEPÓSITOS MINERALES.....	19
3.1.1. <i>Geología Regional de Nicaragua</i>	19
A. Mesozoico.....	20
a) Cretácico Inferior:	20
b) Cretácico Superior Al Cenozoico (Paleógeno Eoceno):	20
B. Cenozoico.....	21
a) Paleógeno Oligoceno Al Neógeno Plioceno:.....	21
b) Cuaternario.....	22
3.1.2. <i>Depósitos minerales en Nicaragua</i>	22
CAPÍTULO IV	25
4.1. GEOLOGÍA LOCAL	25
4.1.1. <i>Unidad de Andesítica de Santo Domingo</i>	25
A. Sub Unidad Andesita Hidrotermalmente Alterada.....	31
4.1.2. <i>Unidad de Depósito Coluvio-Aluvial</i>	34

CAPÍTULO V	37
5.1. GEOMORFOLOGIA.....	37
5.1.1. <i>Morfometría</i>	37
A. Mapa Altimétrico.....	37
B. Mapa de Densidad de Disección de Relieve.....	39
C. Mapa de Órdenes de Corriente.....	42
D. Mapa de Energía del Relieve.....	42
5.1.2. <i>Unidades Geomorfológicas</i>	45
A. Unidad de Relicto de Caldera y Flujo de lava.....	45
B. Unidad de Laderas Inferiores de Montañas.....	47
a) Sub unidad de relieve antrópico.....	48
C. Unidad de Cerros y Colinas.....	49
D. Unidad Planicie Aluvial.....	51
CAPÍTULO VI	54
6.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	54
6.2. FASES DE DEFORMACION.....	57
6.2.1. <i>Fase de Fallamiento NW-SE</i>	57
6.2.2. <i>Fase de Fallamiento NE-SW</i>	65
6.2.3. <i>Fase de Fallamiento E-W</i>	70
6.2.4. <i>Falla N-S Río Sucio</i>	71
A. Patrón de Falla NE-SW.....	73
B. Patrón de Falla E-W.....	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	83

LISTA DE FOTOS

Foto 4- 1. Salto La Victoria.	26
Foto 4- 2. Quebrada La Estrella.	27
Foto 4- 3. Contacto litológico de la Andesita	28
Foto 4- 4. Textura Glomeroporfídica en fenocristales de plagioclasas (Pl).....	29
Foto 4- 5. Textura Glomeroporfídica de fenocristales de piroxenos (Px).....	29
Foto 4-6. Minerales ferromagnesianos (piroxeno o anfíbol).....	30
Foto 4- 7. Matriz con textura Pilotaxítica	30
Foto 4- 8. Predominio de alteración por Sauritización.....	31
Foto 4- 9. Veta con dirección S70E.....	32
Foto 4- 10. Veta de cuarzo	32
Foto 4- 11. Suelo regolítico.....	33
Foto 4- 12. Contacto entre un suelo regolítico supra-yaciendo a un suelo arcilloso.....	33
Foto 4-13. A) Clastos mal seleccionados B) Clastos angulosos inconsolidados.	35
Foto 4- 14. Depósito de Material Coluvio-aluvial en las parte baja del río Sucio.	35
Foto 5- 1. Escarpe de la caldera.....	46
Foto 5- 2. Colada lávica en el Portillo, al Norte de la ciudad de Santo Domingo.	46
Foto 5- 3. Obsérvese las laderas montañosas erosivas en el Sector del Tamagás	47
Foto 5- 4. Explotación minera a cielo abierto en el Cerro Momotombo por la empresa B2Gold.	48
Foto 5- 5. Explotación minera artesanal en cerro Las Nubes, lugar conocido como la Zompopera... 49	
Foto 5- 6. Barrancos formados por la erosión fluvial en el sector del Aserradero	50
Foto 5- 7. Valle Confinado por montañas en la quebrada Los Tubos.	50
Foto 5- 8. Depósitos coluvio-aluviales en el río Sucio.....	51
Foto 5- 9. Llanura aluvial natural del río Sucio.	52
Foto 6- 1. Fractura extensiva y compresiva en arreglo conjugado.....	58
Foto 6- 2. Obsérvese el sentido del desplazamiento de la fractura principal.....	59
Foto 6- 3. Lentas de deformación o sigmoides.....	59
Foto 6- 4. Obsérvese sigmoides verticales formando arreglos anastomasados.....	61
Foto 6- 5. Arreglos de fractura como indicadores cinemáticos.	61
Foto 6- 6. Fracturamiento paralelo vertical y horizontal en la quebrada La Victoria.	62
Foto 6- 7. Líneas amarillas indican escalones y alturas de saltos	63
Foto 6- 8. Patrón de fracturamiento E-W.....	63
Foto 6- 9. Brecha de falla con 0.60m de espesor en Falla Carta Grande.....	64
Foto 6- 10. Fracturas paralelas con rumbo.....	66
Foto 6- 11. Dique La Estrella	67
Foto 6- 12. Sistema anastomasado presente en la Falla La Estrella	68
Foto 6- 13. Sistema complejo de fractura.....	68
Foto 6- 14. Veta Jabalí en el costado N de la Quebrada La Cuatro.	71
Foto 6- 15. Falla N-S sobre el cual circula el río Sucio	72
Foto 6- 16. Fracturas paralelas con rumbo NE-SW que cortan el lecho del río Sucio.....	73
Foto 6- 17. Fracturas de dirección E-W	74

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2. Mapa Tectónico de América Central y del Caribe (Frischbutter ,2002).</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. Mapa Geológico, modificado del mapa geológico preliminar, 1: 1 000 000 y Principales tipos de depósito minerales en Nicaragua. Tomado de Rodríguez, 1994.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4. Esquema de la evolución del distrito minero La Libertad-Santo Domingo y las zonas de alteración, (Darce, 1989).</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5. Mapa Geológico de Santo Domingo, Chontales</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6. Mapa Altimétrico de Santo Domingo, Chontales.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7. Mapa de Profundidad de Disección del Relieve de Santo Domingo Chontales</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8. Mapa de Pendiente de Santo Domingo, Chontales.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9. Mapa de Órdenes de Corriente de Santo Domingo, Chontales.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10. Mapa de Energía del Relieve de Santo Domingo, Chontales.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11. Mapa Geomorfológico de Santo Domingo, Chontales.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 12. Mapa de la Caldera de Santo Domingo, Chontales.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 13. Mapa estructural de Santo Domingo, Chontales.....</i>	<i>75</i>

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Este documento constituye el estudio monográfico para optar al título de Ingeniera Geóloga, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la UNAN-Managua. El que contiene el estudio geológico realizado en Santo Domingo, Chontales. El área de estudio, está localizada en la región Central del país, en una zona de montaña entre la parte central de Nicaragua y la depresión Nicaragüense. El área comparte un cinturón de rocas volcánicas depositadas como resultado de una intensa actividad volcánica durante el Terciario, cuyo origen ha sido asociado al proceso de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe (Mc Birney & Williams, 1965). La zona de estudio, también se ubica dentro de la Provincia Metalogenética Central de Nicaragua (Rodríguez, 1998).

La investigación consistió principalmente de una cartografía geológica a escala 1:10 000, en un área de 20 km². Esta área de estudio abarcó el polígono de concesión de los Pequeños Mineros y también una parte del polígono de explotación, dado en concesión a la empresa minera B2GOLD.

El estudio denominado “Cartografía Geológica en el Prospecto Minero de Santo Domingo”, se realizó dentro del proyecto “Bioremediación de Sitios Contaminados por la Actividad Minera” (BIOREM) llevado a cabo por el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) y el Laboratorio de Biotecnología. El proyecto fue desarrollado bajo la coordinación del Prof. Dionisio Rodríguez A. y el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/ UNAN-MANAGUA).

Esta investigación fue implementada en el marco del programa de Austria en conjunto con la Universidad de Viena, con el apoyo de la Agencia Austriaca de cooperación APPEAR, para brindar información y apoyo a las autoridades locales en el desarrollo integral de la Ciudad de Santo Domingo, mediante el conocimiento de la geología que presenta la zona. Adicionalmente, este estudio puede ser la pauta para la realización de trabajos a más detalle.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Elaborar una Cartográfica Geológica semi-detallada en el Prospecto Minero del área de Santo Domingo, Chontales.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar y definir unidades litoestratigráficas del área de Santo Domingo y sus alrededores.
- Realizar clasificación petrográfica de las unidades litológicas encontradas por medio del análisis de sección delgada de la roca.
- Elaborar una caracterización geoestructural con base a los patrones de fracturamiento y fallamiento del área.

1.3. LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El área de estudio pertenece al municipio de Santo Domingo, departamento de Chontales. El municipio de Santo Domingo limita: al Norte y al Oeste, con el municipio de La Libertad; al Sur, con los municipios de Santo Tomás y San Pedro de Lóvago; y al Este, con el municipio de El Ayote (RAAS) (INIFOM).

Santo Domingo dista 190 km de la capital Managua y 53 km de la cabecera departamental, Juigalpa. La principal vía de acceso es la carretera pavimentada que comunica Managua– Juigalpa, continuando por la carretera de revestimiento ligero Juigalpa– La Libertad y La Libertad- Santo Domingo. Internamente, la ciudad de Santo Domingo esta comunicada por caminos revestidos de adoquín y caminos de tierra que conectan con poblados vecinos (Figura 1).

El área está contenida en la hoja topográfica de La Libertad (3152-I), escala, 1:50 000, editado por INETER (1989), delimitada por las Coordenadas UTM WGS 84: N 1359000, E 706000; N 1355000, E 711000.

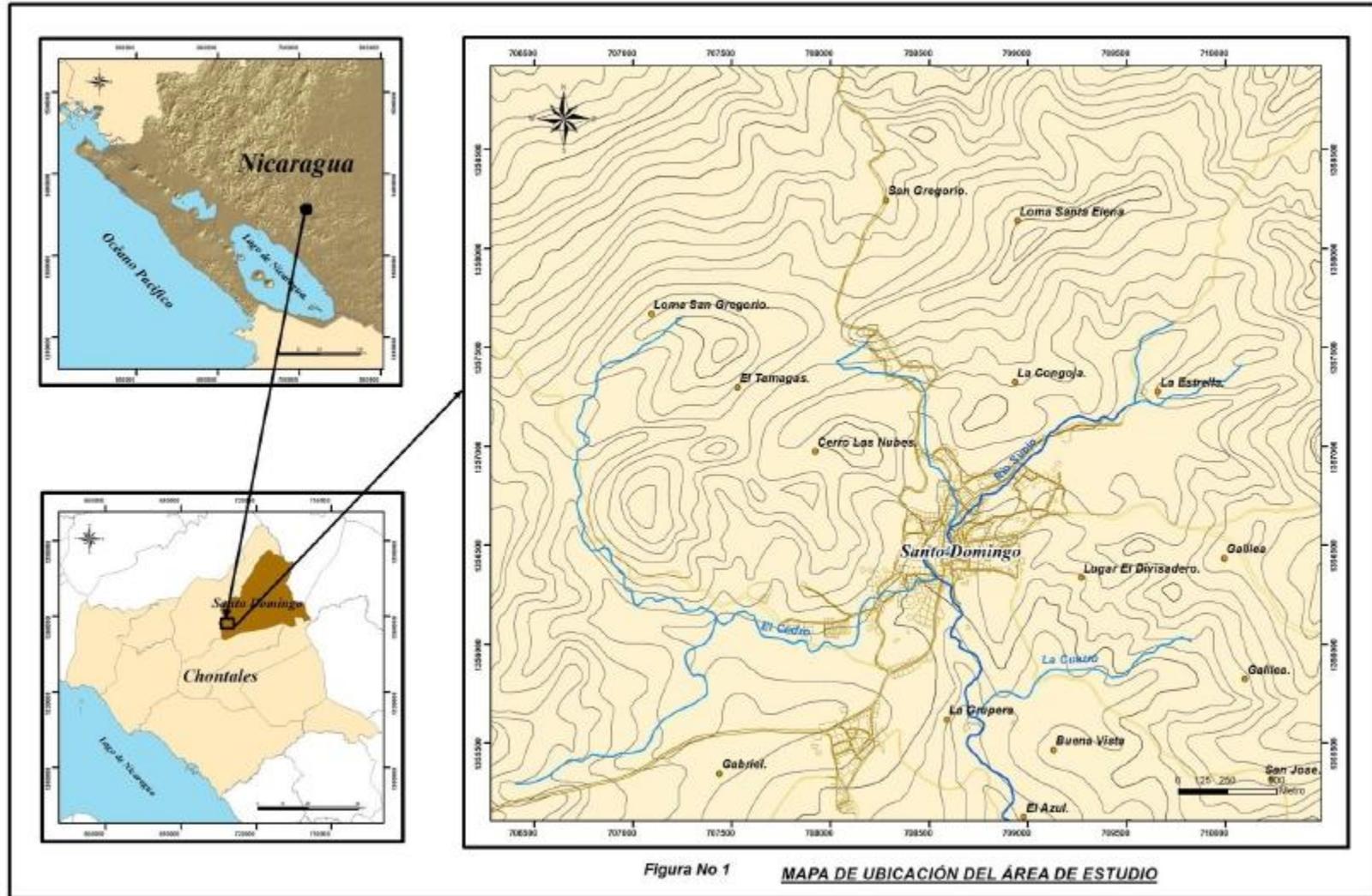


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

1.4. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO

1.4.1. Población

La población del municipio, de acuerdo a cifras proyectadas del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INIDE, 2008), según Censo Municipal de 1999, es de 16,937 Habitantes, distribuidos de la siguiente forma:

- Población Urbana: 5,203 hab. (36.4%)
- Población Rural: 11,734 hab. (63.6%).

Presentando una tasa anual de crecimiento en el último período inter censal del 2.01%.

1.4.2. Actividades Socioeconómicas

La principal actividad económica del municipio está marcada por el sector agropecuario, que abarca una población económicamente activa de un 86.3% predominante en el área rural. La ganadería es de doble propósito porque produce leche y carne, muy importante para el consumo interno y exportación (INIFON, 2013).

La segunda actividad económica de importancia en el Municipio es la minería artesanal e industrial, actividad que una parte de la población del casco urbano la desempeña en la explotación del oro y plata desde hace más de 100 años. La Empresa Asociativa de Pequeños Mineros de SANTO DOMINGO R.L., son los principales productores de oro. La Asociación actualmente posee una concesión, otorgada por el Ministerio de Economía. La minería industrial está bajo el manejo de la empresa B2Gold Corp S.A, con una concesión otorgada por el Ministerio de Energía y Mina (MEM).

La actividad comercial que se encuentra en tercer lugar de importancia es la comercialización de ganado, diversidad de productos lácteos, granos básicos, vestuarios y complementos para la producción agropecuaria.

1.4.3. Clima, Precipitación y Temperatura

El Municipio de Santo Domingo presenta un clima de sabana tropical, con una temperatura media de 25 a 27° C. El Territorio Municipal, observa variaciones que van del clima húmedo en invierno, a fresco en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero. La precipitación anual varía entre los 620 a 1,650 mm, y una humedad relativa del 71 al 80% (INIFON, 2013).

1.4.4. Accidentes geográficos

La superficie del territorio municipal de Santo Domingo es en general muy accidentada. En la cabecera municipal, los barrios se ubican en las laderas de las colinas y las edificaciones bordean el cauce del río Artiguas (río Sucio); que actualmente está creando serios problemas por la erosión y el drenaje, a tales extremos que cada año hay inundaciones en el casco urbano de la ciudad de Santo Domingo (INIDE, 2008).

Los principales cerros y lomas de los alrededores de la Ciudad de Santo Domingo tienen alturas variables entre los 400 a 800 msnm, entre los más importantes cerros se encuentran: Peñas Blancas, El Espejo, Banadí, El Escándalo, Las Nubes, La Chispa, La Sierra de la Libertad, Cerro Chato, La Laguna, La Macana, Cerro El Consuelo y La Flor (INIDE, 2008).

1.4.5. Hidrología

Los ríos y quebradas más importantes del Municipio de Santo Domingo son: Río Siquia que es río tributario del municipio de Santo Domingo. El río Sucio cuyo nombre original es río Artiguas (afluente del Siquia), el cual cruza completamente la ciudad de Sur a Norte, tiene dos drenajes principales, uno que nace en San Gregorio, Loma Santa Elena y desagua en la Quebrada La Victoria, y el otro nace en La Chispa, pasa por el caserío de La Victoria, la Quebrada San Gregorio y El Salto (INIDE, 2008).

Otros ríos afluentes son: Timulí, Tawa y El Guineal, los cuales descargan en el río Siquia, que junto con los ríos Mico y Rama forman el río Escondido (INIDE, 2008).

1.5. ESTUDIOS PREVIOS

En el área de Santo Domingo y sus alrededores, diferentes autores han contribuido al conocimiento geológico de la zona a escala regional, entre los trabajos más relevantes figuran:

Belt (1873), fue uno de los primeros autores que realizó observaciones de las vetas presentes en Santo Domingo. En su descripción detalla que las vetas se presentan en grupos paralelos, con un ancho de más o menos 1m con bifurcación y rumbos de E-W. La mayoría de las vetas presentan buzamientos en direcciones N y S.

Posteriormente, McBirney & Williams, (1965) estudiaron y clasificaron las rocas volcánicas terciarias de Nicaragua en dos grandes formaciones: *Formación Matagalpa* y *Formación Coyol*. De acuerdo a esta propuesta, en el área que abarca la presente investigación, las formaciones rocosas pertenecen a la Formación Coyol en su sub Grupo Coyol Inferior, cuya formación se dio aproximadamente en el Mioceno-Plioceno. La litología de este Sub Grupo está formada generalmente por rocas ignimbríticas, tobas, andesitas, basaltos y andesitas basálticas.

Por su parte, Parsons Corporation (1972), propusieron la idea de diferentes facies de formación de los depósitos volcánicos, productos de diversos centros volcánicos. Realizaron la datación de las Formaciones Coyol y Matagalpa, El Grupo Coyol Inferior, al cual pertenece el área de estudio presentó una edad del Mioceno (-+13 Ma) con el método de dataciones radiométricas.

Lehmann & Associates, INC. Geologists (1984), realizaron descripciones de las Vetas Jabalí y Santo Domingo explotadas antiguamente. La compañía muestreó y caracterizó las vetas, para ello llevaron a cabo las siguientes actividades: exploración de los antiguos túneles, así como perforaciones y muestreo sistemático de vetas a profundidad. También identificaron alteraciones de óxidos, sulfuros y sulfuros primarios.

Lilljequist, Andersson & Astrand (1984), hicieron una interpretación de las estructuras geológicas del área central de Nicaragua, utilizando imágenes de satélite Landsat. Definieron la presencia de cráteres y calderas profundamente erosionadas y tectónicamente desarrolladas. Algunas de las estructuras de calderas se localizaron en la parte central del país como estructuras regionales, en la zona de estudio se localizaron algunas entre la Ciudad de la Libertad y Santo Domingo.

Darce (1987), hizo una síntesis de la estratigrafía, litología y geología estructural del distrito minero La Libertad, en base a una compilación e interpretación de mapas geológicos publicados y no publicados a escalas 1:50 000 del distrito minero La Libertad-Santo Domingo. En sus conclusiones detalla lineamientos NE-SW, y fallas transversales NW-SE. La combinación de estas estructuras probablemente favoreció la formación de vetas. Este mismo autor en 1989, evaluó las alteraciones mineralógicas del distrito minero La Libertad-Santo Domingo, a través de análisis de muestras de rocas volcánicas. En este estudio definió diferentes alteraciones en base al contenido de minerales que presentaban las rocas. Fueron definidos cuatro patrones de alteración: 1) Patrón de alteración relacionada con las variaciones en la permeabilidad original, 2) Patrón de alteración relacionada con la distancia al distrito minero, 3) Patrón de alteración relacionada con la profundidad y por último 4) Patrón de alteración local por las vetas de cuarzo.

Ehrenborg (1996), propuso una nueva estratigrafía para la Formación Coyol y Matagalpa, en base a facies definidas por la distancia de los depósitos de rocas respecto a las fuentes volcánicas donde fueron emitidos. Ehrenborg, tomo en cuenta la litología, alteraciones hidrotermales y rasgos geomorfológicos de las estructuras volcánicas para poder caracterizarlas y clasificarlas de la siguiente manera: Domo Ríolítico, Escudo Estratiforme y Escudo Ignimbrítico. El Escudo Estratiforme presenta una sub división: Unidad Volcánica de Escudo- Estratiforme, dónde se ubica el Distrito Minero La Libertad - Santo Domingo, según las características definidas por este autor.

Seguidamente Rodríguez (1998), hace una reseña y clasificación de las provincias Metalogenéticas de Nicaragua, definiendo cuatro provincias: 1) Provincia de Nueva Segovia, 2) Provincia de la Costa Atlántica del Norte, 3) Provincia Central, y 4) Provincia Occidental. Se describe la geología de cada provincia y su clasificación metalogenética con relación al ambiente geológico. Acorde a esta reseña el área de La Libertad- Santo Domingo se ubica en la Provincia Central, la cual se caracteriza por yacimientos de vetas epitermales de cuarzo enriquecidas en oro y plata. Las vetas pueden alcanzar longitudes de hasta 4000 m en dirección NE-SW y con un buzamiento hacia el SE. Los espesores que se presentan varían entre 1 a 15 m.

Sánchez (2004), realizó un estudio geológico de la parte norte de la Sub Cuenca del río Sucio; posteriormente, Herrera (2005), completó la geología de esta área abarcando la parte Sur de la

Sub Cuenca del río Sucio. En estos estudios se reconocieron la Unidad andesítica Santo Domingo, formada por rocas andesíticas, también, reconocieron rocas ignimbríticas a la cual le llamaron Unidad Ignimbrítica Buena Vista y Salto, por último la Unidad Coluvio- Aluvial.

El informe más reciente fue elaborado para DESMINIC - B2GOLD (2012), este informe consiste en una descripción regional y de los alrededores de algunas ocurrencias de minerales presentes en Santo Domingo.

1.6. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para realizar esta monografía se dividió en 3 etapas diferentes, que se describen a continuación:

1.6.1. Etapa I: Trabajo de Gabinete

En esta etapa se recopiló y generó toda la información posible del área y se prepararon las condiciones para proceder con la Etapa de Campo. Las actividades llevadas a cabo durante el trabajo de gabinete fueron:

A. *Recopilación bibliográfica.*

Se recopiló toda la información existente, tal como; documentos escritos (artículos científicos, estudios, informes, tesis u otros trabajos), mapas impresos e imágenes que abarcan el área de estudio (fotografías aéreas, imágenes de radar e imagen satelitales).

Se realizaron visitas a los centros de documentación de instituciones relacionadas con el tema de estudio; Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Centro de Documentación, (CEDOC-IGG/CIGEO-UNAN-Managua), Ministerio de Energía y Mina, (MEM).

B. *Generación y obtención del mapa base.*

Luego de obtener la información preliminar, se procedió a la elaboración y diseño del mapa base. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- Fotointerpretación:

Mediante la interpretación que se realizó con las fotografías aéreas del área de estudio, escala 1:40 000, editadas por INETER en el año 1980, se generó información de los elementos de interés como: estructuras, geomorfología, drenaje y erosión. Para ello, se tomaron en cuenta: tono fotográfico, textura, forma y tamaño de los elementos, topografía, lineamientos y el drenaje.

- Obtención de los valores altimétricos.

Los valores altimétricos para el mapa base se obtuvieron de la base de datos de la misión topográfica de radar Shuttle (acrónimo en inglés *SRTM*, de *Shuttle Radar Topography Mission*).

El SRTM consiste en un sistema de radar especialmente diseñado para adquirir los datos de elevación topográfica estereoscópica. La resolución de las celdas de los datos fuente es de un 1.5 arcos segundos en el mundo. Esto quiere decir que cada punto medido en el terreno tiene una separación de 45 m respecto a los demás puntos de medición. De esta manera, en un área de 20 Km² se obtienen 12,500 datos de elevación.

El procedimiento incluyó la verificación de la correcta georreferenciación de los datos en el sistema de coordenadas UTM, Zona 16 Norte, Datum WGS84. Posteriormente se seleccionaron únicamente los datos del área de interés a través del programa Global Mapper, tomando como base las coordenadas de los extremos del polígono establecido para el área de estudio. De esta manera se obtuvieron las curvas altimétricas para la escala de trabajo 1:10 000.

Usando como base la información altimétrica mencionada y mediante el programa ArcGis10 se generaron los siguientes mapas:

Mapa de curvas de nivel: con las curvas de nivel a escala 1:10000, se obtuvo un mapa topográfico, el cual brindó una visión de la región estudiada, mostró en forma detallada las características topográficas del terreno.

Mapa altimétrico: se elaboró con el fin de observar e interpretar los rangos de elevación que muestran las curvas de nivel, con este mapa se logró observar a grandes rasgos la variación de las elevaciones, la altura máxima y mínima.

Mapa de pendientes: con este mapa se delimitaron zonas de pendientes similares, cuya topografía enmarca rasgos geomorfológicos, que se lograron delimitar.

Mapa de relieve sombreado: en él se observaron las formas del relieve y se delimitaron formas características de fallas y otras estructuras. También, este mapa se usó en combinación con la interpretación de fotografías aéreas, dando como resultado el mapa geoestructural preliminar.

Una vez realizadas todas estas actividades se llevó a cabo la correlación de toda la información para obtener un mapa geológico, geomorfológico y morfo-estructural del área con las principales zonas de interés.

1.6.2. Etapa II: Trabajo de Campo

En ésta fase, se visitó el área de estudio, utilizando como guía el mapa base previamente elaborado. Dicho levantamiento consistió en realizar las siguientes actividades:

- Reconocimiento geológico de campo.
- Localización de los principales afloramientos.
- Muestreo sistemático de afloramientos rocosos.
- Clasificación macroscópica del tipo de roca para su posterior análisis.
- Toma de fotografías de los afloramientos y estructuras mejor expuestos.
- Mediciones Estructurales en: fallas, fracturas, diaclasas, vetas.
- Las mediciones realizadas fueron: rumbo, buzamiento y desplazamiento de las estructuras.

1.6.3. Etapa III: Análisis e Interpretación de los Datos de Campo.

Las actividades llevadas a cabo durante esta etapa fueron:

A. *Análisis petrográfico.*

Una vez determinadas las mejores muestras de rocas, se procedió a elaborar secciones delgadas para su análisis petrográfico, con el fin de determinar el tipo de roca que caracteriza a la zona y aportar información para la realización del mapa geológico del área de estudio.

B. *Análisis Estructural.*

El análisis estructural contó con el apoyo de los mapas:

Mapa Topográfico.

El análisis del comportamiento de las curvas de nivel tiene gran importancia para la identificación de la morfología y estructuras en el terreno. Las curvas de nivel del área de estudio están en un rango de 220 a 800 msnm, generando un desnivel de 580 m, dando a las curvas intervalos de 5 m cada una.

Durante el análisis del mapa topográfico, se identificaron tres zonas de comportamiento distinto en las curvas de nivel. La primera zona que se destaca es donde las curvas se disponen de forma circular con alturas 600 a 800 msnm. Su mayor concentración se da de forma transversal al área de estudio con una orientación NE, SE y SW bordeando la ciudad de Santo Domingo. También se observan curvas aisladas hacia el E y el W.

En la parte Sur, se observa la segunda zona en donde las curvas se disponen poco espaciadas y alineadas en una dirección preferencial casi al EW y con elevaciones de 340 a 580 msnm.

La tercera zona se observó bastante localizada y ocupada por el río Sucio con una disposición de las curvas en dirección NS con los rasgos de elevaciones de 300 m.

Mapa de Relieve de Sombra.

El mapa de modelo sombra permitió ver las características del terreno en tres dimensiones que junto con la fotointerpretación, facilitó trazar las morfo-estructuras.

Con el mapa de modelo de sombra del área de Santo Domingo, así como con la interpretación de fotografías aéreas y el levantamiento de campo, se realizó el análisis estructural.

El análisis estructural contó con la recolección de la mayor cantidad de datos posibles en campo, como los indicadores cinemáticos relacionados a fallas y fracturas, con el fin de determinar la existencia de dominios estructurales.

Lo anterior permitió el análisis estadístico de los datos estructurales a través de la roseta de fractura con ayuda del programa Georient.

La roseta de fractura es un diagrama que facilitó determinar la dirección de los rumbos preferenciales de las estructuras que se encuentren en la zona. Mediante este análisis se realizó la interpretación de los eventos tectónicos existentes en el área de estudio.

C. *Análisis Geomorfológico.*

La clasificación geomorfológica se realizó a partir de su origen geológico y las características cuantitativas (morfometría). Todos estos aspectos siguen la propuesta metodológica de Lugo, (1988) sobre métodos cartográficos. De acuerdo a esta metodología, se generaron los siguientes mapas los cuales fueron analizados e integrados con la geología para elaborar el mapa de unidades geomorfológicas.

- Mapa Altimétrico

También conocido con el nombre de hipsométrico. Para la elaboración de este mapa se utilizaron las alturas máximas y mínimas del mapa topográfico, se establecen una serie de intervalos de valores con el fin de que se pueda reconocer de manera clara e inmediata la configuración del relieve en general (Lugo,1988).

Para la zona de estudio se eligió intervalos de 10 m quedando la información altitudinal en 58 rangos. Se establecieron 3 rangos amplios.

- Mapa de Densidad de Disección de Relieve.

Este mapa también se elaboró a partir del mapa topográfico de la zona de estudio, escala 1: 10 000. Usando la configuración de las curvas de nivel, se marcaron todas las corrientes fluviales visibles y las que no eran claramente visibles.

Posteriormente se calculó la densidad de disección. Para esto el área se dividió en cuadrantes de 500 m² de superficie cada uno. En cada cuadrante se midió la longitud total de las corrientes fluviales (m) y se dividió entre el valor de la superficie. El resultado, densidad de disección en m/m², se anotó en el centro de la figura. A continuación, se hizo una interpolación utilizando el método de Kriging, método geoestadístico de estimación de puntos que utiliza un modelo de variables para la obtención de datos (Lugo, 1988).

- Mapa de Ordenes de Corriente.

A partir del mapa topográfico y el de drenaje, se clasificaron las corrientes fluviales en órdenes numéricos de acuerdo al siguiente criterio: una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 solo tiene tributarios del primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4 (Aparicio, 1992).

- Mapa de energía del Relieve

En cada uno de los cuadrantes en que previamente fue dividido el mapa topográfico, se obtuvo la diferencia máxima de altura en metros. Para obtener la diferencia máxima en metros, se tomó la altura máxima de la curva de nivel que estuviera dentro del cuadrante, se hizo el mismo procedimiento para la de menor elevación teniendo ambas se procedió a restar la curva mayor con la menor de esta manera se obtuvieron las diferenciales de alturas. Los valores se interpolaron con el método geoestadístico de Kriging. Estos valores expresan la relación entre los procesos endógenos y la potencialidad a presentar procesos gravitacionales (Lugo, 1988).

D. Informe final.

Una vez finalizados los análisis, se procedió a integrar los resultados en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 10, con el cual se digitalizaran las principales estructuras y litologías comprobadas en campo. La elaboración y redacción del informe final fue el último paso después de haber interpretado y analizado todos los datos obtenidos en campo.

CAPÍTULO II

2.1. TECTÓNICA DE AMÉRICA CENTRAL

La interacción entre las placas tectónicas de Norte, Caribe y Sur América produce un complicado patrón tectónico en América Central. Centroamérica es una región, cuya corteza principalmente continental y parte oceánica en menor proporción, es especialmente inestable porque se encuentra en subducción con la placa Caribe (Frischbutter, 2002).

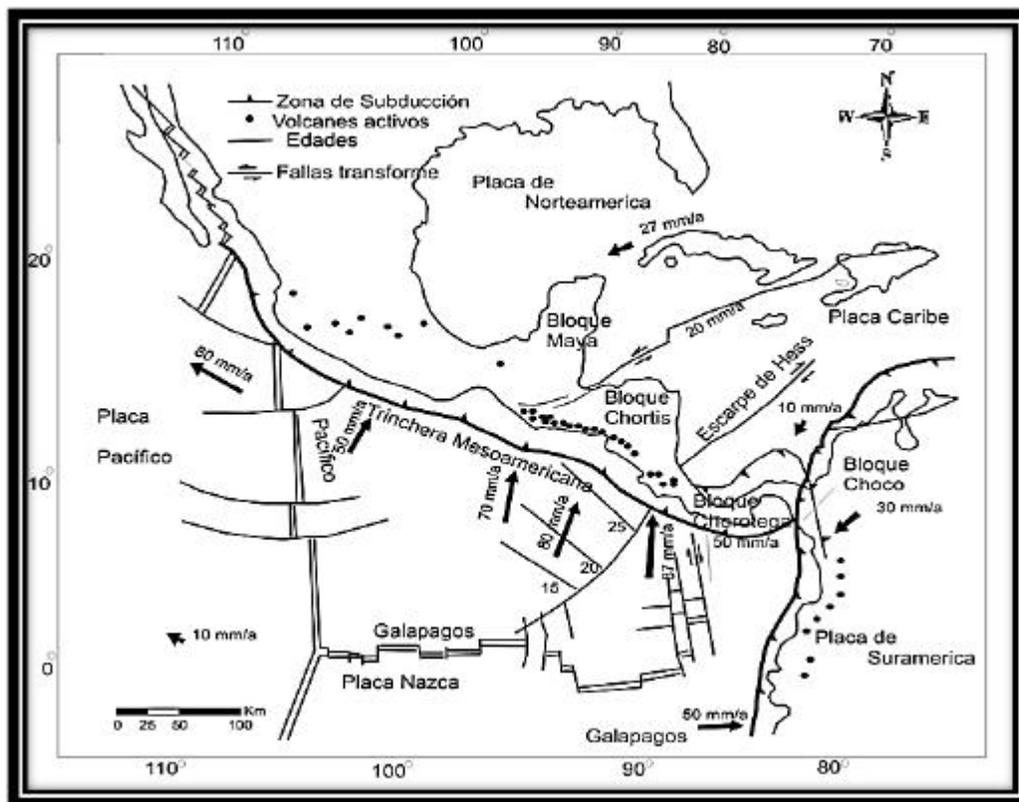


Figura 2. Mapa Tectónico de América Central y del Caribe (Frischbutter, 2002).

El borde occidental de la placa Caribe es muy activo, por la subducción con la placa de Cocos, cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos caracterizados por una intensa actividad sísmica que han estado evolucionando desde el Eoceno.

La placa de Cocos se caracteriza por subducir en segmentos debajo de la placa Caribe de acuerdo con Carr, 1976. Al tener este comportamiento la placa de Cocos, esta cambia de ángulo de subducción en cada uno de sus segmentos, (Burkart, B & Self, S., 1985; DeMets, 2010), han determinado que la placa de Cocos subduce a razón de ± 85 mm en promedio por año, frente a las costas de Honduras y Nicaragua.

Centroamérica está dividida en tres bloques tectónicos: Bloque Chortis, Bloque Chorotega y Bloque Maya. Se diferencian entre sí por el tipo de basamento geológico de cada uno (Dengo, 1983) que a continuación se describe:

- Bloque Maya: el bloque está limitado por la Zona de Fractura de Motagua-Polochic, abarca el Norte de Guatemala, Belice, la Península de Yucatán y el Oeste de México hasta el istmo de Tehuantepec (Dengo, 1983). El basamento del Bloque Maya es de naturaleza continental, constituido por rocas ígneas y metamórficas que se encuentran cubiertas por rocas sedimentarias del Paleozoico, (Dengo, 1983).

- Bloque Chortis: geográficamente, este bloque incluye la parte Norte de Guatemala, El Salvador, Honduras y la parte Noroeste de Nicaragua, (Dengo, 1983). El Bloque Chortis, limita al Norte con la falla Polochic-Motagua y en el Sureste por la falla del escarpe de Hess (Frischbutter, 2002). El basamento de este bloque es de naturaleza continental, formado por rocas metamórficas de edad Paleozoico a Pre-Terciario e intruido por numerosos plutones de diferentes edades (Dengo, 1983).

- Bloque Chorotega: este bloque comprende la parte Sur de Nicaragua y se extiende hasta la parte central de Panamá. El basamento de este bloque es de naturaleza oceánica y está constituido por basaltos masivos en almohadillas, gabros, peridotitas y peridotitas serpentinizadas. Abundantes sedimentos sobreyacen al basamento oceánico del bloque Chorotega, se destacan en estos depósitos con abundantes restos de fósiles (Dengo, 1983).

El límite entre el Bloque Chortis y el Bloque Chorotega no está claramente definido. Se ha propuesto que la división entre ambos bloques puede ser el sistema de fallas que se extiende desde la Península de Santa Elena hasta el Escarpe de Hess al Sur de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica, (Dengo, 1983).

Desde el punto de vista geotectónico, el elemento estructural más relevante de Centroamérica es la Depresión Nicaragüense, de rumbo NW-SE. Según McBirney and Williams, 1965, la Depresión de Nicaragua comenzó su formación a finales del Cenozoico, a partir de esfuerzos de tensión local producidos por la compresión regional creada entre las placas de Cocos y Caribe.

En cambio, la formación de la Cadena Volcánica Cuaternaria comienza a finales del Plioceno, extendiéndose desde Guatemala hasta Costa Rica a lo largo del eje de la Depresión Nicaragüense, en dirección NW-SE (McBirney, A & Williams, H., 1965).

CAPÍTULO III

3.1. GEOLOGIA REGIONAL Y DEPÓSITOS MINERALES

3.1.1. Geología Regional de Nicaragua

La geología regional de Nicaragua presenta edades del Mesozoico Inferior al Cenozoico. Dentro de estas eras ocurrieron muchos eventos de origen geológicos como el establecimiento de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Caribe. Estos eventos marcaron la formación de potentes capas de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias distribuidas en todo el territorio con secuencias estratigráficas de diferentes épocas y edades. A continuación se describirán de una manera generalizada cada uno de estos depósitos tomando en cuenta su edad, de la más antigua a la más joven.

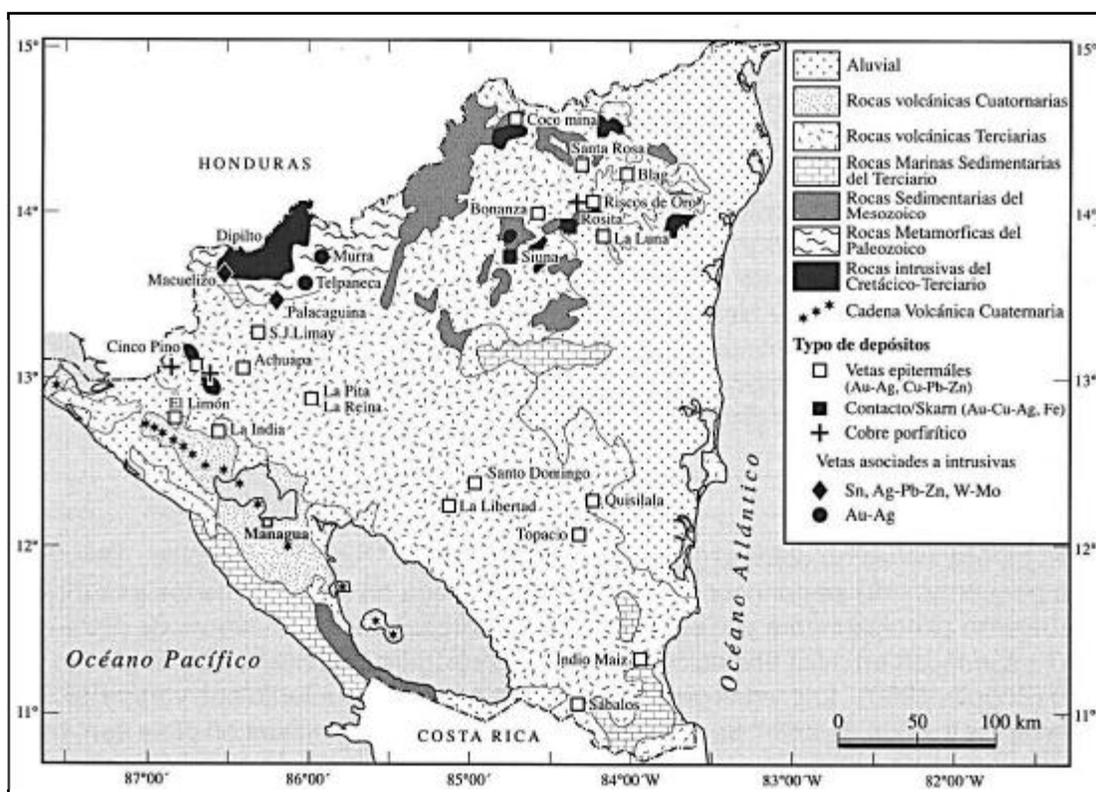


Figura 3. Mapa Geológico, modificado del mapa geológico preliminar, 1: 1 000 000 y Principales tipos de depósito minerales en Nicaragua. (Rodríguez, 1994).

A. *Mesozoico*

a) Cretácico Inferior:

En el Cretácico Inferior se distinguen depósitos metamórficos, conocidos como Esquistos Verdes con diferentes grados de metamorfismo. Entre estas rocas tenemos filitas, esquistos sericíticos y micacitas filíticas (Del Giudice, 1960). En la región de Siuna, se encuentran rocas sedimentarias de este período como: arenisca, lutita y caliza (Mills, R.A. & Hugh, K.E., 1974).

Estos depósitos de rocas afloran en el norte del país en la región del departamento de Nueva Segovia, parte del departamento de Jinotega y la frontera con Honduras, también, en la región de Siuna, (RAAS, Atlántico Sur).

Los depósitos metamórficos presentan una edad del Cenozoico, en su Período Cretácico Inferior de ± 125 Ma (Del Giudice, 1960; Dengo, 1983 y Garayar, 1971).

b) Cretácico Superior Al Cenozoico (Paleógeno Eoceno):

En el período Cretácico Superior al período Paleógeno Eoceno se depositaron grandes espesores de rocas sedimentarias de origen pelágico y turbidíticos. La secuencia estratigráfica fue interrumpida varias veces con la deposición de materiales volcánicos e intrusiones ígneas. Así mismo, hubo levantamiento, hundimiento, invasión y retirada del mar. (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958).

Estos depósitos se encuentran en la franja costera del Pacífico, desde Corinto hasta la frontera Sur con Costa Rica, al Oeste desde la Plataforma Continental del Pacífico, al Este hasta la Cordillera de Mateare (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958).

En estos depósitos, se han identificado 5 formaciones y 1 grupo: Formación Rivas, Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación El Salto y Grupo Tamarindo, cuyas edades varían de ± 72.1 a ± 26 Ma, (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958; Paz Rivera, 1964).

B. Cenozoico

a) Paleógeno Oligoceno Al Neógeno Plioceno:

Los depósitos de rocas del Cenozoico se formaron producto de intensas actividades volcánicas, dejando gran volumen y predominio de rocas volcánicas. Estos depósitos afloran al Oeste con la Depresión Nicaragüense, al Sur con el río Indio y al Este, con las áreas bajas de la Costa Atlántica. *McBirney & Williams (1965)*, clasificaron este depósito en dos grandes grupos: Grupo Matagalpa y Grupo Coyol.

Grupo Matagalpa: formado en la parte basal por sedimentos volcánicos, brechas laháricas, lavas basálticas y en menor cantidad, rocas andesíticas; la parte media está constituida por tobas e ignimbritas riolíticas, y la parte superior por lavas intermedias andesíticas a lavas félsicas, dacíticas y rocas piroclásticas. Se ha calculado que los depósitos rocosos de este grupo tienen una edad comprendida entre Oligoceno-Mioceno (± 23.03 a 7.25 Ma).

Grupo Coyol, formado por pequeñas capas de lavas máficas e ignimbritas andesíticas a dacíticas. La edad de este grupo se ha estimado entre Mioceno-Plioceno (± 7.25 a 2.6 Ma).

Ehrenborg (1996), propone una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa, en base a las facies distales de la fuente de emisión volcánica. Bajo este criterio los depósitos del Grupo Coyol se clasificaron de la siguiente manera: Domo Ríolítico, Escudo Estratiforme, Unidad Volcánica de Escudo- Estratiforme y Escudo Ignimbrítico.

Así mismo, *Ehrenborg (1996)*, también describe una litología heterogénea de basaltos a basaltos andesíticos. Las rocas más comunes presentes en este grupo son: basalto, andesita, dacita, toba, ignimbrita, flujos piroclásticos dacíticos a riolíticos, brechas y aglomerados. A su vez, estos materiales son intruidos por domos riolíticos.

El área de estudio se encuentra dentro de los depósitos del Grupo Coyol, con una clasificación de facie distal correspondiente a Unidad Volcánica de Escudo Estratiforme.

b) Cuaternario

Los depósitos de rocas Cuaternarias se encuentran paralelas a la faja costera del Pacífico de Nicaragua. Están contenidos principalmente dentro de la Depresión Nicaragüense, la que a la vez contiene la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense y los lagos de Nicaragua (Paz Rivera, 1964; McBirney, A & Williams, H., 1965).

La litología que caracteriza esta unidad son depósitos aluvionales intercalados con material piroclástico proveniente de la Cadena Volcánica Cuaternaria. Los depósitos piroclásticos se han agrupado en dos grupos: Grupo Las Sierras y Grupo Managua, cada uno con sus subdivisiones (Kuang, 1971).

3.1.2. Depósitos minerales en Nicaragua

Los principales sitios de explotación mineral de Nicaragua se localizan en: León: El Limón y Santa Pancha; Chontales: La Libertad y Santo Domingo y en el Atlántico Norte: Bonanza, Rosita y Siuna.

Las vetas epitermales de cuarzo con oro-plata, vetas de cuarzo con oro y metales bases, skarns de cobre-oro-plata, constituyen los tipos de depósitos minerales encontrados hasta ahora en Nicaragua (Rodríguez, 1998).

Estos depósitos minerales fueron agrupados en cuatro provincias metalíferas en base al ambiente geológico y tipo de ocurrencia del mineral (Rodríguez, 1998). Estas provincias Metalogenéticas son:

1. *Provincia de Nueva Segovia.*
2. *Provincia Occidental.*
3. *Provincia de la Costa Atlántica Norte.*
4. *Provincia Central.*

La Provincia Central está ubicada en la parte central de Nicaragua. Los depósitos minerales metálicos de esta provincia se alojan en rocas volcánicas del Cenozoico Paleógeno y Neógeno, descritas anteriormente. La mineralización de esta provincia se da en vetas epitermales de

cuarzo que contienen, oro y plata. Las vetas se encuentran emplazadas en basaltos, andesitas basálticas y andesitas (Rodríguez, 1998).

Las principales áreas de explotación de la Provincia Central ocurren en La Libertad- Santo Domingo, Chontales; en Quisilala-Topacio, El Rama y en La Pita-La Reina, Matagalpa (Rodríguez, 1998).

Estudios geoquímicos enfocados en las alteraciones hidrotermales en el distrito minero La Libertad-Santo Domingo, han ayudado a determinar la evolución geológica del distrito minero. En estos se explica la existencia de un cuerpo intrusivo que se emplazó debajo del actual distrito minero. Como resultado se generó una celda geotermal con un alto gradiente térmico (Figura N°4). Los patrones estructurales presentes en al área, permitieron que los fluidos hidrotermales circularan, lo que ayudó a formar distintos patrones de alteración en todo el distrito minero (Darce, 1989).

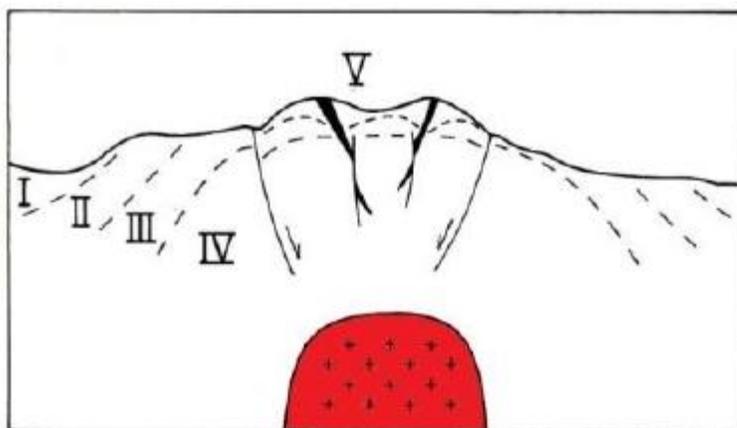


Figura 4. Esquema de la evolución del distrito minero La Libertad-Santo Domingo y las zonas de alteración, (Darce, 1989).

Las evidencias de inclusión fluida, deriva de muestras tomadas dentro del distrito, y dan a conocer que el carácter de multi-fase de las estructuras es debido a las variaciones de la temperatura del fluido, desde 172°C a 316°C durante la mineralización. Estas variaciones han resultado en dos tipos de vetas de cuarzo: una de baja temperatura y otra de alta temperatura. La de baja temperatura se caracteriza por presentar textura sacaroidal, cuarzo bien cristalizado. Las vetas de cuarzo de altas temperaturas exponen textura de cuarzo lechoso granulado fino

con texturas coló-formes agrupadas y texturas de brechamiento de reemplazamiento (Darce, 1989).

El grupo de vetas enriquecidas en oro y plata de La Libertad-Santo Domingo, está hospedado en una secuencia de andesita-basalto y andesita. Las vetas de hasta 4000 m de longitud en dirección presentan espesores entre 1 m y 15 m con dirección preferencial NE-SW y buzamientos sub vertical al SE. La mayoría de las estructuras mineralizadas alcanzan profundidades de 200 y 300 m a partir de la superficie. (Rodríguez, 1998). Las vetas, también pueden presentar asociación con plata, pirita, galena, esfalerita y calcopirita. La alteración alrededor de las vetas consiste de clorita, adularia, cuarzo y pirita (Darce, 1989).

CAPÍTULO IV

4.1. GEOLOGÍA LOCAL

El movimiento relativo de las placas tectónicas durante el Terciario, y la ubicación de un arco volcánico en lo que en la actualidad es la Parte Central de Nicaragua, generó grandes estructuras volcánicas. Estas estructuras volcánicas emitieron volúmenes de material ígneo que hoy en día se manifiestan como extensos depósitos de rocas que modelan la superficie del área de estudio.

La litología del área de Santo Domingo, está constituida por un paquete de rocas volcánicas del Neógeno Mioceno, pertenecientes al Sub Grupo Coyol Inferior (Parsons Corporation, 1972).

A través del cartografiado geológico en Santo Domingo y sus alrededores, se determinó que el área está compuesta de potentes capas de rocas básicas depositadas como flujos lávicos y en bloques. Las rocas presentes en la zona de estudio se encuentran afectadas por una intensa alteración hidrotermal.

Como resultado del mapeo geológico se definieron dos unidades litoestratigráficas, las cuales se describen desde la más antigua a la más reciente, tales como: *Unidad Andesítica Santo Domingo* y *Unidad de Depósito Coluvio- Aluvial* (Figura N°5).

4.1.1. Unidad de Andesítica de Santo Domingo

La Unidad de Andesitas predomina en toda el área de estudio; cubre la mayor proporción del área y se expresa en forma de cerros alargados, cerros bajos erosionados y cerros cónicos elevados. La roca se encuentra en su mayoría como bloques y flujos lávicos.

La unidad forma parte regionalmente al Grupo Coyol Inferior, de edad Mioceno (McBirney y Williams, 1965). En la zona de estudio la unidad pertenece a las rocas compactas masivas que fueron levemente afectadas por las alteraciones hidrotermales.

Esta unidad fue originada por coladas de lava de composición intermedia a básica, la cual produjo grandes depósitos de rocas andesíticas. A lo largo de su extensión se observan variaciones en su coloración, producto del intemperismo al que está sometida y por alteración hidrotermal, por lo que pasa de una coloración gris oscura a gris clara en muestras.

Los depósitos de rocas se observan masivos aflorando en las laderas de los cerros o constituyendo los cerros completamente, en algunas ocasiones se presenta en forma de bloques y como material coluvial al pie de las montañas a consecuencia del fracturamiento intenso en la roca, la gravedad y la erosión de las paredes verticales de las montañas que constituyen las mayores elevaciones de 700 y 800 msnm (Foto N° 4-1). En ocasiones, las fracturas y diaclasas de las rocas andesíticas se encuentran rellenas con vetillas de cuarzo. Su compactidad varía de acuerdo al grado de meteorización y alteración que le han afectado.



Foto 4- 1. Salto La Victoria, nótase afloramiento rocoso de composición andesítica, diaclasada en todo el afloramiento.

La unidad de andesita es la roca huésped de las estructuras mineralizadas. Macroscópicamente la roca andesita presenta, textura afanítica, algunas veces la roca tiene un color gris oscuro verdusco a rojizo producto de la alteración por oxidación y presencia de

clorita. La roca es dura y masiva algunas veces las rocas presentan una capa delgada de meteorización de aproximadamente 0.30 cm en su parte superior (Foto N°4-2).

A través de las correlaciones realizadas en el campo, de las elevaciones entre los distintos afloramientos, se determinó que los depósitos de estas rocas alcanzan un espesor promedio de 300 m.

Los mejores afloramientos se observaron en: La Congoja, La Estrella, El Divisadero, Aserreadera, El Cedro, Gabriel, Loma Santa Elena (El Espejo), Cerro Los Dados, Loma San Gregorio, San Juan carretera al Ayote, Las Victorias, La Chispa y Cerro El Consuelo, en el río Sucio.



Foto 4- 2. Quebrada La Estrella. Línea amarilla indica contacto entre la roca andesita y el suelo aluvial. Línea roja indica contacto con la roca andesita y la andesita alterada.

En el sector de Carta Grande en la cascada que lleva el mismo nombre, entre la coordenada UTM: E708834 N1358851 con una elevación: 546 msnm se localizó un contacto litológico entre la andesita supra-yaciendo a un aglomerado volcánico posiblemente de composición andesítica (Foto N° 4-3).

El aglomerado se presenta masivo y en bloque sub angulosos a sub redondeados. Este tipo de roca es menos resistente que la andesita que la supra-yace. El aglomerado presenta una matriz fina rojiza a gris claro. Los clastos tienen una forma sub angulosa en la parte alta de la

quebrada y en la parte baja estos se presentan sub redondeados a redondeados de tamaños variables que van desde milímetros a 4 cm de colores variables de grises y rojizos (Foto N°4-3). Solo en ente sitio se logró observar este tipo de roca aglomerática andesítica.



Foto 4- 3. Contacto litológico entre la Andesita supra-yaciendo al aglomerado en la cascada de Carta Grande.

Microscópicamente la roca andesita presenta textura Porfídica Seriada (fenocristales grandes y medianos) en una matriz Hialopilítica y Microlítica en algunas partes. En ocasiones presenta textura Glomeroporfídica, que consiste en fenocristales en una matriz de cristales más pequeños, donde algunos de los fenocristales tuvieron un desarrollo casi por completo otros no, presentándose en forma subhedrales y anhedrales.

En el análisis microscópico se observó que las rocas andesita muestran dos fases de cristalización, una en la que las plagioclasas se encuentran bien desarrolladas macladas del tipo andesina y zonadas del tipo albita, mostrando así que fueron las primeras en cristalizar a una temperatura y profundidad mayor a las que componen la matriz (Foto N°4-4). Algunos cristales de plagioclasas se presentan solos, otros forman textura Glomero Porfídica entre los mismos cristales de plagioclasas con piroxeno.



Foto 4- 4. Textura Glomeroporfídica en fenocristales de plagioclasas (Pl), nótese que los microlitos de plagioclasas están orientados alrededor de los fenocristales de plagioclasas.

En las muestras de rocas también se observaron fenocristales de piroxenos y olivinos que se presentan en formas subhedrales y anhedrales en cristales tabulares cortos, generalmente alterados a clorita. Presentan el mismo comportamiento de fases de las plagioclasas y agrupamientos con las plagioclasas y minerales metálicos (Foto N°4-5).

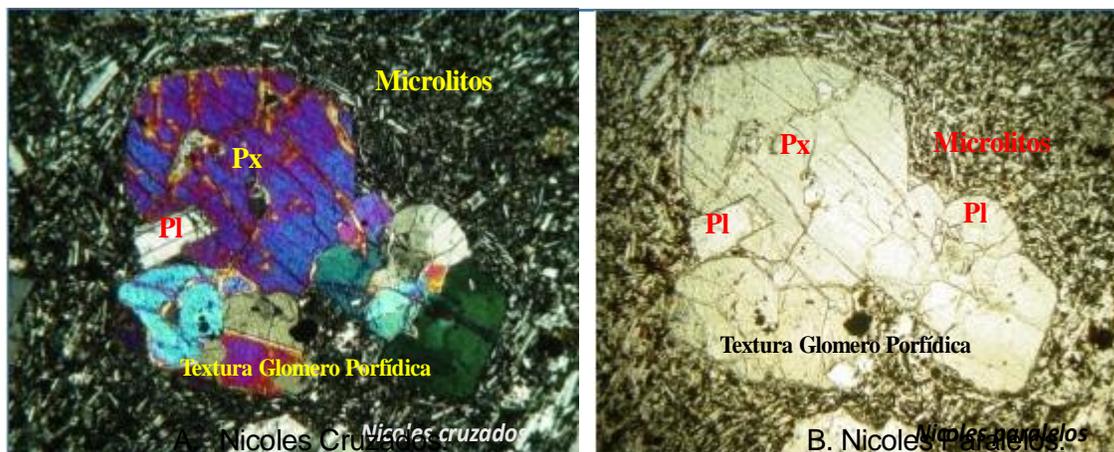


Foto 4- 5. Textura Glomeroporfídica de fenocristales de piroxenos (Px) y plagioclase (Pl) inmersos en una matriz de textura Pilotaxítica y Hialopilitica.

En algunas muestras de rocas se observaron minerales que presentan pseudo formas anhedrales que se presume que pueden ser o correspondan a minerales ferromagnesianos del tipo piroxeno o anfíbol, pero dado el grado de sustitución y alteración no se puede saber a ciencia cierta qué tipo de mineral corresponda (Foto N° 4-6).

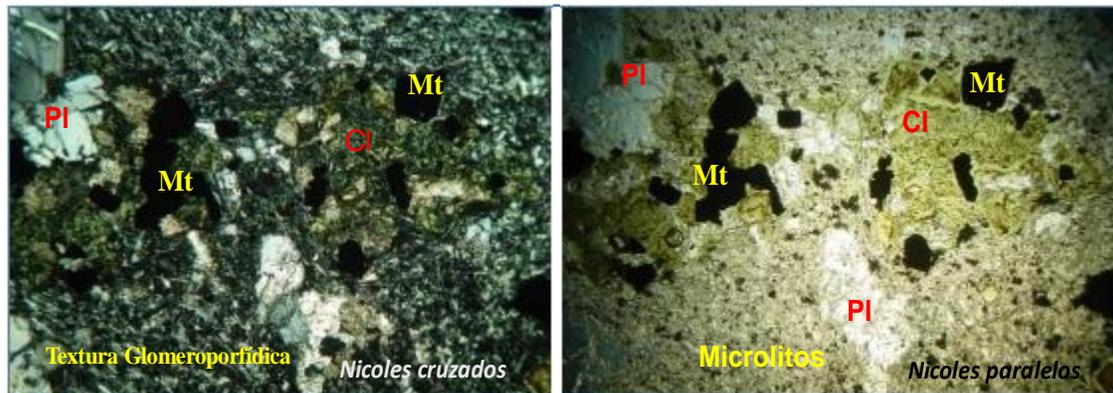


Foto 4-6. Minerales ferromagnesianos (piroxeno o anfíbol) presentan pseudo formas anhedrales y alteración por completo a clorita (Cl), alrededor de ellos se observan fenocristales de minerales metálicos (Mt).

En la matriz se observaron microlitos de plagioclasa, micro cristales de piroxeno y minerales metálicos distribuidos en toda la matriz en seudoformas, anhedrales y euhedrales presentando textura Hialopilitica característica de coladas de lavas.

En las muestras de secciones delgadas se observaron alteraciones por carbonatización y cloritización en algunas ocasiones reemplazando completamente los minerales de la matriz o como relleno de intersticios y fracturas (Foto N°4-7), siendo estas las alteraciones más predominantes en las muestras junto a estas, pero en menor proporción se observaron alteraciones por sauritización como relleno de fracturas en algunas plagioclasas, en una mezcla de epidota, carbonato y sericita (Foto N°4-8).



Foto 4- 7. Matriz con textura Pilotaxítica con reemplazamiento a carbonato de calcio (Ca) y con fenocristales de carbonato de calcio presentes en la matriz.

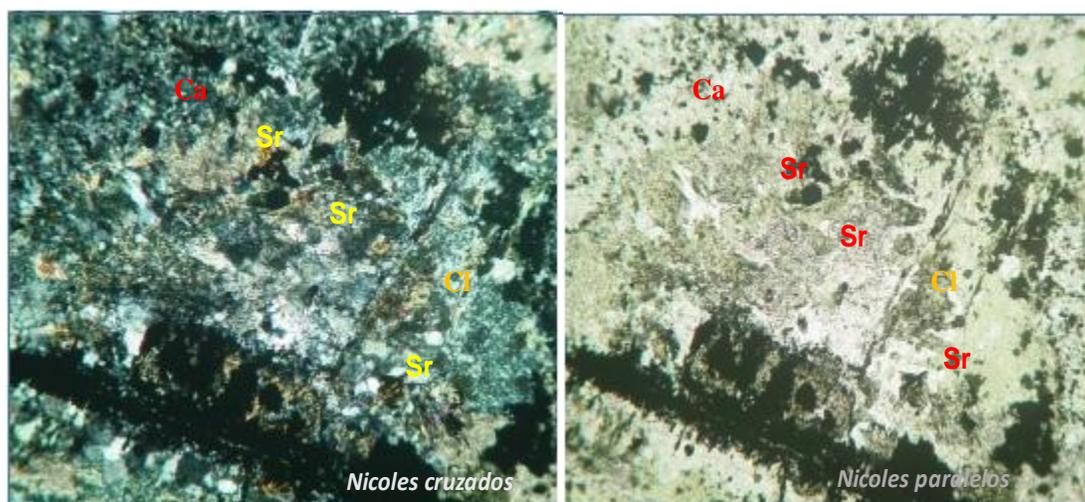


Foto 4- 8. Véase el predominio de alteración por Sauritización (Sericita: Sr más Carbonato de Calcio: Ca) junto con la alteración a cloritización.

A. Sub Unidad Andesita Hidrotermalmente Alterada

Dentro de la Unidad de Andesita, se encuentra la Sub Unidad Andesita Hidrotermalmente Alterada, caracterizada por la presencia de alteraciones hidrotermales mayoritariamente de silicificación afectando a las rocas andesíticas.

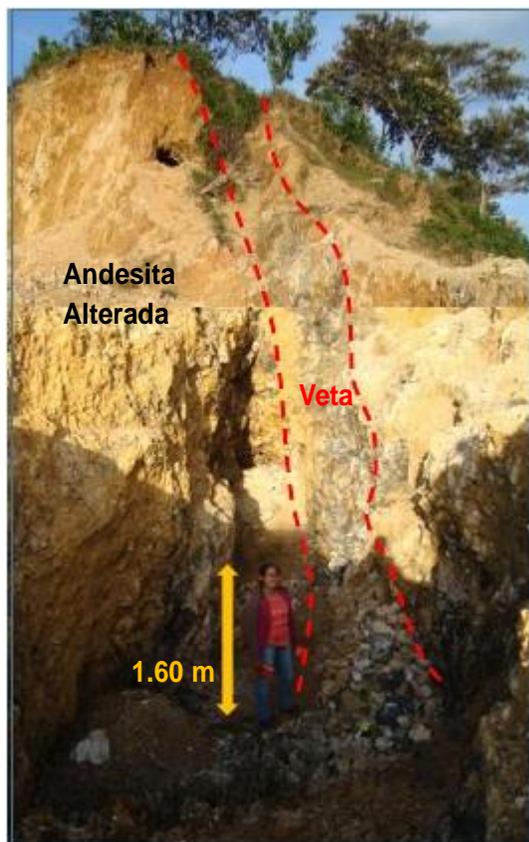
La alteración se observa dispersa en toda el área de estudio con una mayor concentración en el área del Tamagás y Cerro Las Nubes, también se observa en La Estrella, La Congoja, El Divisadero, Loma Santa Elena en menor concentración.

Los fluidos hidrotermales dieron como resultado la deposición de vetas emplazadas en zonas de debilidad y con las características estructurales que le brindo su deposición en la roca. Las rocas, cuando ocurrió la mineralización e intrusión de fluidos hidrotermales fueron mineralizadas y reemplazadas por sílice totalmente o parcialmente, perdiendo sus estructuras originales. A medida que aumenta la distancia de los filones disminuye la cantidad de sílice incorporada en las rocas.



Foto 4- 9. Veta con dirección S70E, todo el sistema presenta 13 m de ancho. La veta presenta estructuras secundarias en forma de vetillas que se pueden apreciar a la derecha de la fotografía. Flecha roja indica la escala.

La silicificación se presenta como vetas de cuarzo asociadas con oro, plata y sulfuros como pirita en menores proporciones. El cuarzo en las vetas presenta coloraciones de negro, café, ámbar a blancos (Foto N° 4-9).



El sílice en las vetas de cuarzo, presenta dos tipos de textura en muestras de mano: 1. Textura sacaroides con intrecrecimiento de minerales de cuarzo de hábito prismático; 2. Textura masiva, el cuarzo se presenta masivo en ocasiones se presenta totalmente fracturado y poroso (Foto N°4-10).

Foto 4- 10. Las líneas rojas indican la Veta de cuarzo de aproximadamente 3m de ancho con rumbo S70 E buzando con 80° NE. Flecha amarilla indica escala.

La alteración por fluidos hidrotermales en la roca andesítica facilitó la formación de suelos arcillosos. Esta alteración hidrotermal dio lugar a la destrucción total de los minerales de plagioclasas en la roca andesita, siendo estos los minerales predominantes en la roca andesita, dando origen a los suelos arcillosos (Foto N°4-10).

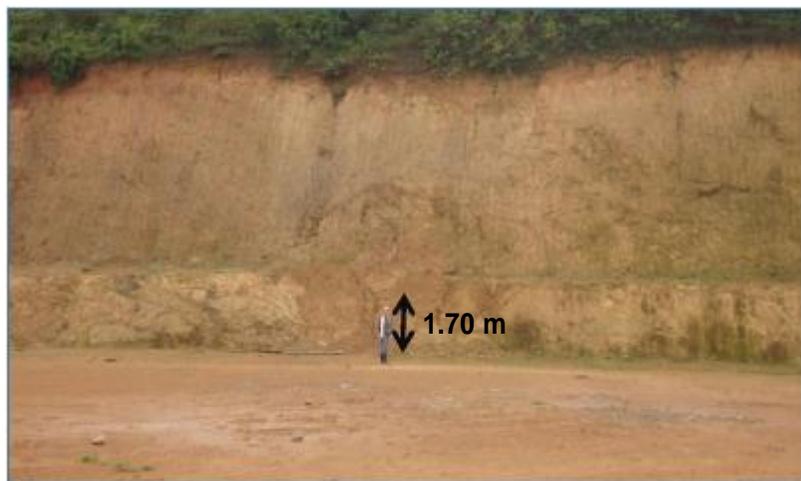


Foto 4- 11. Suelo regolítico de color rojizo, amarillento y blancuzco en el estadio El Cedro. Flecha negra indica escala.

Los suelos presentan espesores variables de 0.5 m hasta 80 m observables en cortes de carreteras y caminos. En los suelos hay un predominio de textura arcillosa-limosa a completamente arcillosa, en colores rojizo, anaranjado-rojizo, amarillento, amarillo-rojizo, café, violáceo, blancuzco a blanco (Foto N° 4-11). Algunos horizontes de estos suelos presentan roca andesítica con una meteorización esferoidal o de cebolla en una matriz arcillosa (Foto N° 4-12).



Foto 4- 12. Obsérvese el contacto entre un suelo regolítico supra-yaciendo a un suelo arcilloso producto de la alteración hidrotermal (argilitización) Camino a la Mina Jabalí.

4.1.2. *Unidad de Depósito Coluvio-Aluvial.*

La unidad de depósito Coluvio-Aluvial supra-yace a la Unidad Andesítica de Santo Domingo. Esta unidad es la más joven del área de estudio. En la zona se distingue por formar planicies aluviales principalmente en la parte baja del río Sucio o zonas de meandros de los ríos secundarios.

Los depósitos Coluvio-Aluviales están formados por fragmentos de rocas angulosas, sub angulosas, y sub redondeadas. El tamaño de estos fragmentos varía desde centímetros hasta varios metros en clasificaciones de gravas a bloques (Foto N° 4-13 B). Los fragmentos de estos depósitos son una agrupación de todos los materiales que son removidos de las montañas y cerros por la acción de los procesos de meteorización y erosión.

Esta unidad tiene su mejor exposición en las partes bajas del río Sucio, de igual manera se localiza en los ríos: Los Tubos, La Cuatro, Carta Grande, El Cedro y en la quebrada La Congoja.

Los fragmentos se depositan en una matriz con textura de arcilla en coloraciones variables como resultado de las alteraciones que predominan en la zona. La matriz, en ocasiones, sirve como un aglutinante entre los fragmentos de las rocas (Foto N°4-14 A). Esta unidad comprende el techo de la columna estratigráfica, con un espesor estimado entre todos los afloramientos visitados en campo de 0.30 m a 10 m de espesor.



Foto 4-13. A) *Clastos mal seleccionados y aglutinados en una matriz arcillosa, Salto La Estrella.* B) *Clastos angulosos inconsolidados, quebrada La Estrella.* Flechas amarillas indican espesor.



Foto 4- 14. *Depósito de Material Coluvio-aluvial en las parte baja del río Sucio.*

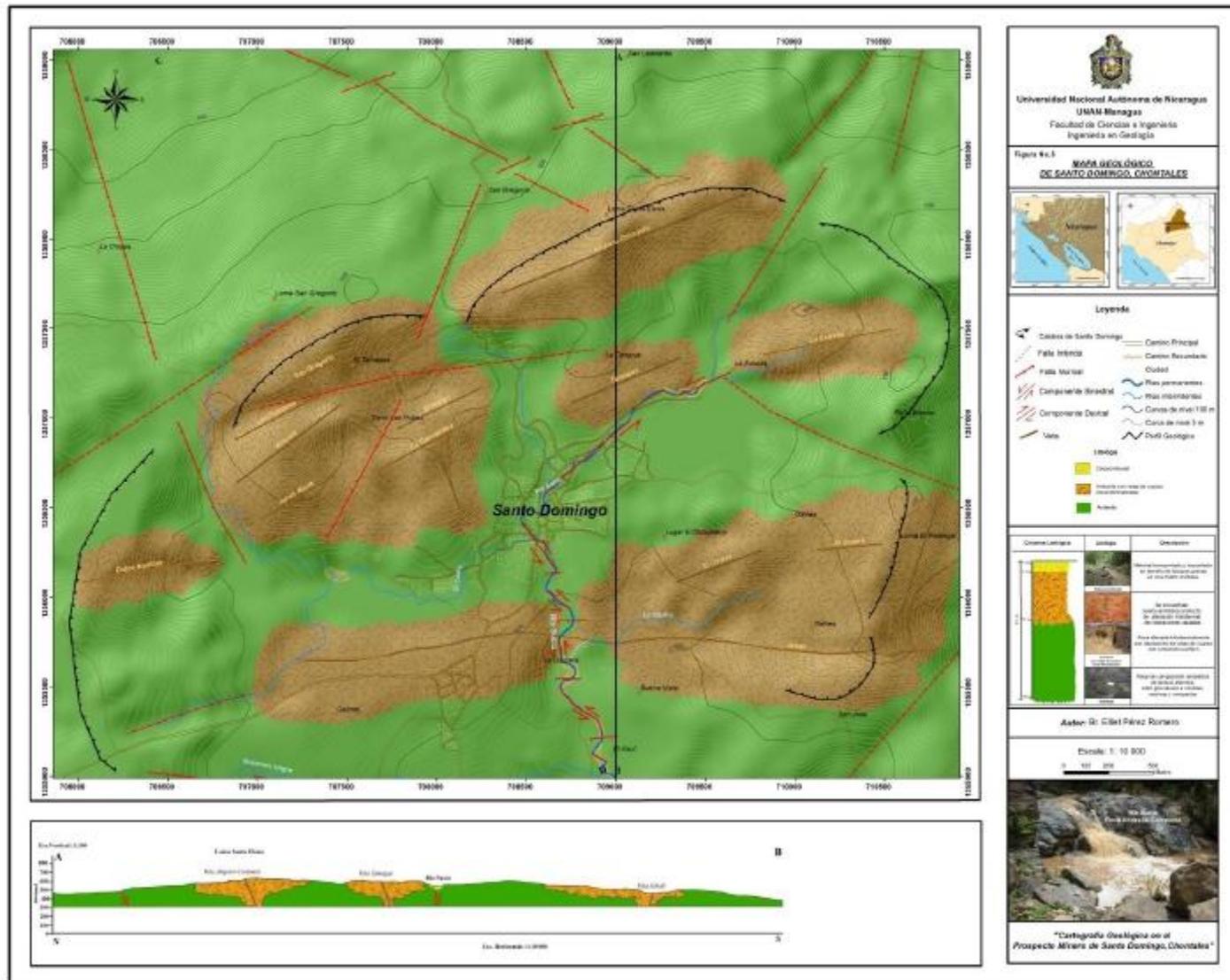


Figura 5. Mapa Geológico de Santo Domingo, Chontales

CAPÍTULO V

5.1. GEOMORFOLOGIA

En este capítulo se clasificaron las formas del relieve a partir de su origen, rasgos cualitativos (morfogénesis), su dinámica (morfodinámica) y sus características cuantitativas (morfometría), para realizar el mapa de unidades geomorfológicas.

5.1.1. Morfometría

Para realizar la clasificación geomorfológica del relieve se tuvo que realizar mapas morfométricos previos, que permitieron un primer conocimiento geomorfológico de la zona de estudio. Por ello se consideraron los siguientes mapas para realizar el estudio morfométrico:

A. *Mapa Altimétrico.*

Se definió tres zonas altitudinales: La primera corresponde a las zonas más elevadas, mismas que comprenden 740 m a 650 m, y corresponde a la estructura volcánica, que se formó en el Mioceno que es una antigua caldera volcánica que, a pesar de estar erosionada y dislocada por las fallas, aún conserva vestigios de su estructura.

La zona media corresponde a la zona transicional entre la planicie y la base de la caldera volcánica, se trata del pie de monte volcánico acumulativo constituido principalmente por depósito de lava que fueron expulsados por la caldera preexistente. Los depósitos se distribuyen en el área de estudio entre los 650 m a los 510 m. En la mayoría de los casos se encuentran pie de monte erosivo por ser una estructura antigua. En esta área es donde se inicia la acumulación de materiales por gravedad y transporte. Por último, el piso latitudinal que integra el tercer nivel, corresponde a la planicie, entre 450 m a 400 m. Corresponde a una porción mediana de la superficie del área en estudio, esta unidad morfológica es de poca inclinación, ocupa la parte baja del terreno y contiene al cuerpo de agua más importante, el río Sucio (Figura N°6).

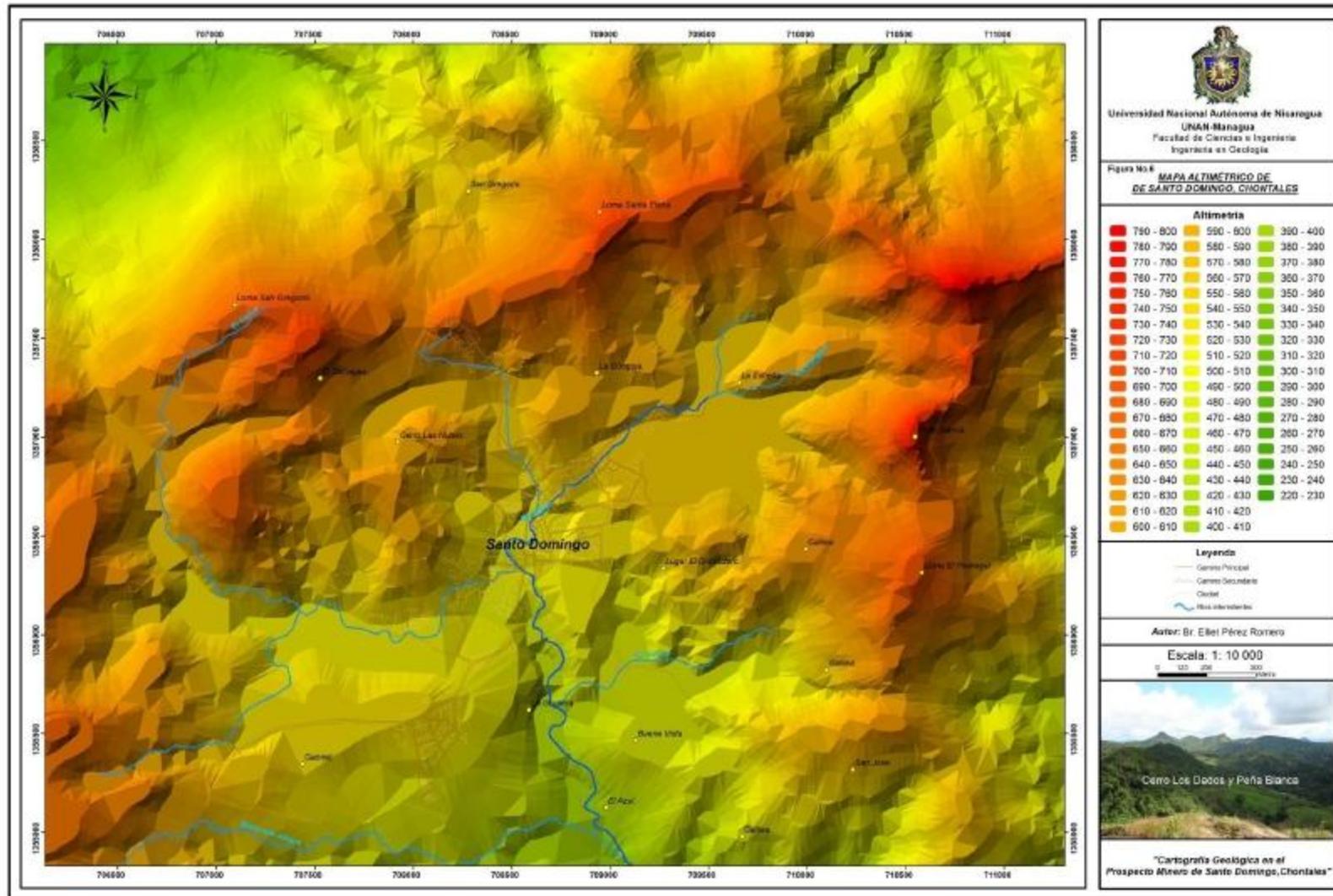


Figura 6. Mapa Altimétrico de Santo Domingo, Chontales.

B. Mapa de Densidad de Disección de Relieve.

Con este mapa se determinó tres rangos de valores de densidad en la zona de estudio: bajos, medios y altos. Los rangos de densidad de disección corresponden con las zonas altitudinales: zona elevada rangos bajos, zona transicional rangos medios y zona latitudinal o de planicie rangos altos. (Figura N°7 y 8). Los valores de densidad van aumentando al reducirse la pendiente, esto ocurre en las áreas donde la roca ha sido afectada por la alteración volviéndola vulnerable a los efectos del agua. En estas zonas es donde las corrientes empiezan a concentrarse y se desarrollan los tipos de red fluvial sub dendríticas y en ocasiones paralela.

Los valores bajos son aquellos dentro del rango de 0.3 a 0.6 m/m² se presentan en las áreas más altas, generalmente constituidas por rocas andesíticas compactas (Figura N°7). La dureza de la roca ha permitido que la erosión sea baja y la meteorización sea aún menor a pesar de que presentan pendientes de 25 grados a mayores de 45 grados correspondiendo al relieve montañoso que fue parte de las paredes de la antigua Caldera (Figura N°8). Estas características se presentan en las zonas de La Chispa, Las Victorias, Loma Santa Elena (El Espejo), Los Dados, Aserradera y Peña Blanca.

Los valores medios están en el rango de 0.7 a 0.9 m/m², se presentan en las áreas de altura media, con pendientes de 15 a 25 grados (Figura N°7 y 8). La roca presente en esta zona es andesita con alteraciones hidrotermales. Las alteraciones y las pendientes han ayudado a la meteorización y erosión de las mismas rocas. Es en esta zona en donde el arrastre es mayor hacia la zona baja del área. Galilea, San Gregorio, La Congoja, bajando hacia La Victoria, El Divisadero y carretera al Ayote.

Los valores altos de densidad corresponden de 1 a 1.4 m/m² con pendientes de 5 a 15 grados. En las áreas donde se reduce la pendiente no hay manera de que el agua escurra, así que se trata de áreas de acumulación de sedimentos. Estos valores corresponden a las áreas de Buena Vista, El Azul, El Divisadero, El Cedro, El Cilindro y parte de La Victoria.

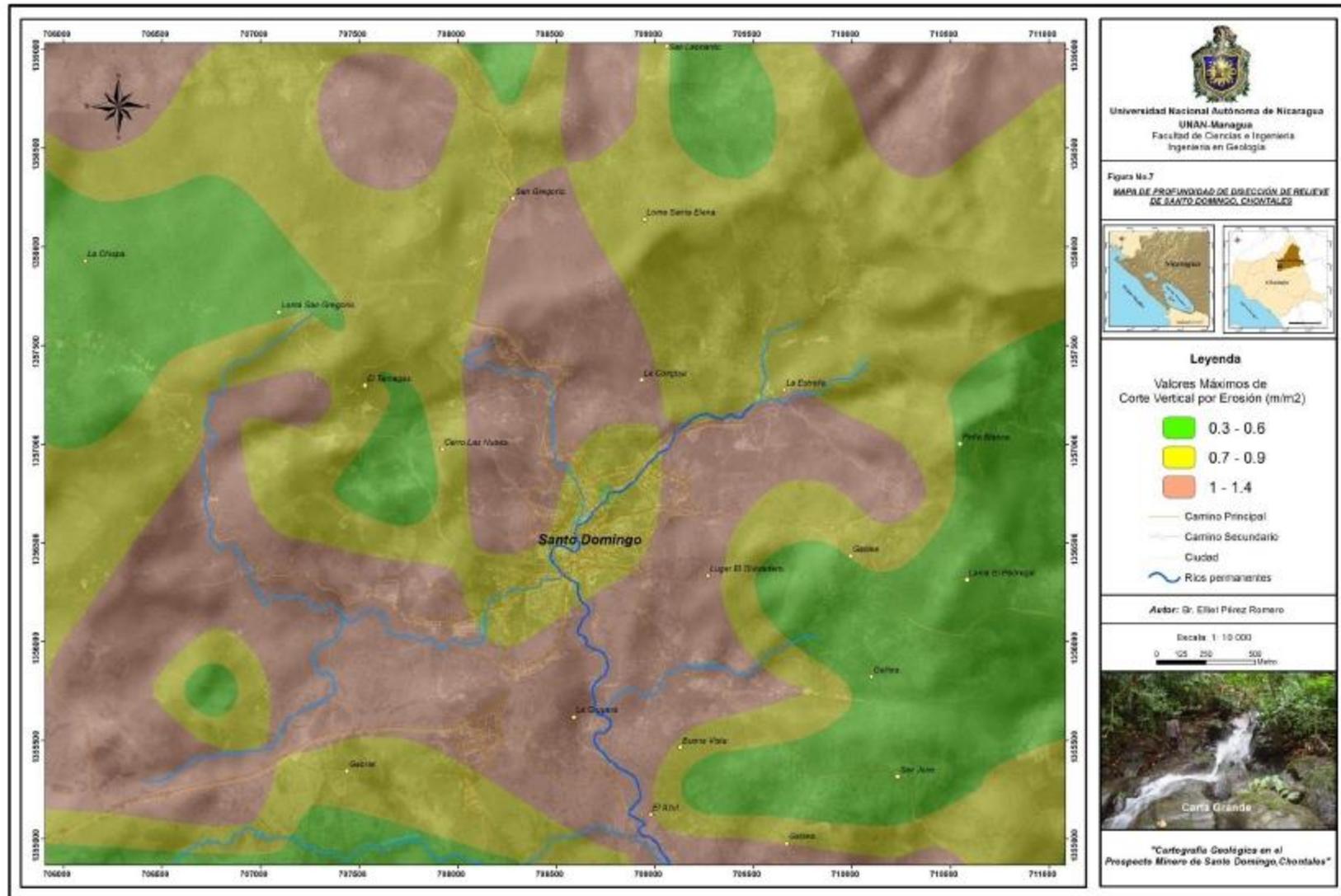


Figura 7. Mapa de Profundidad de Disección del Relieve de Santo Domingo Chontales

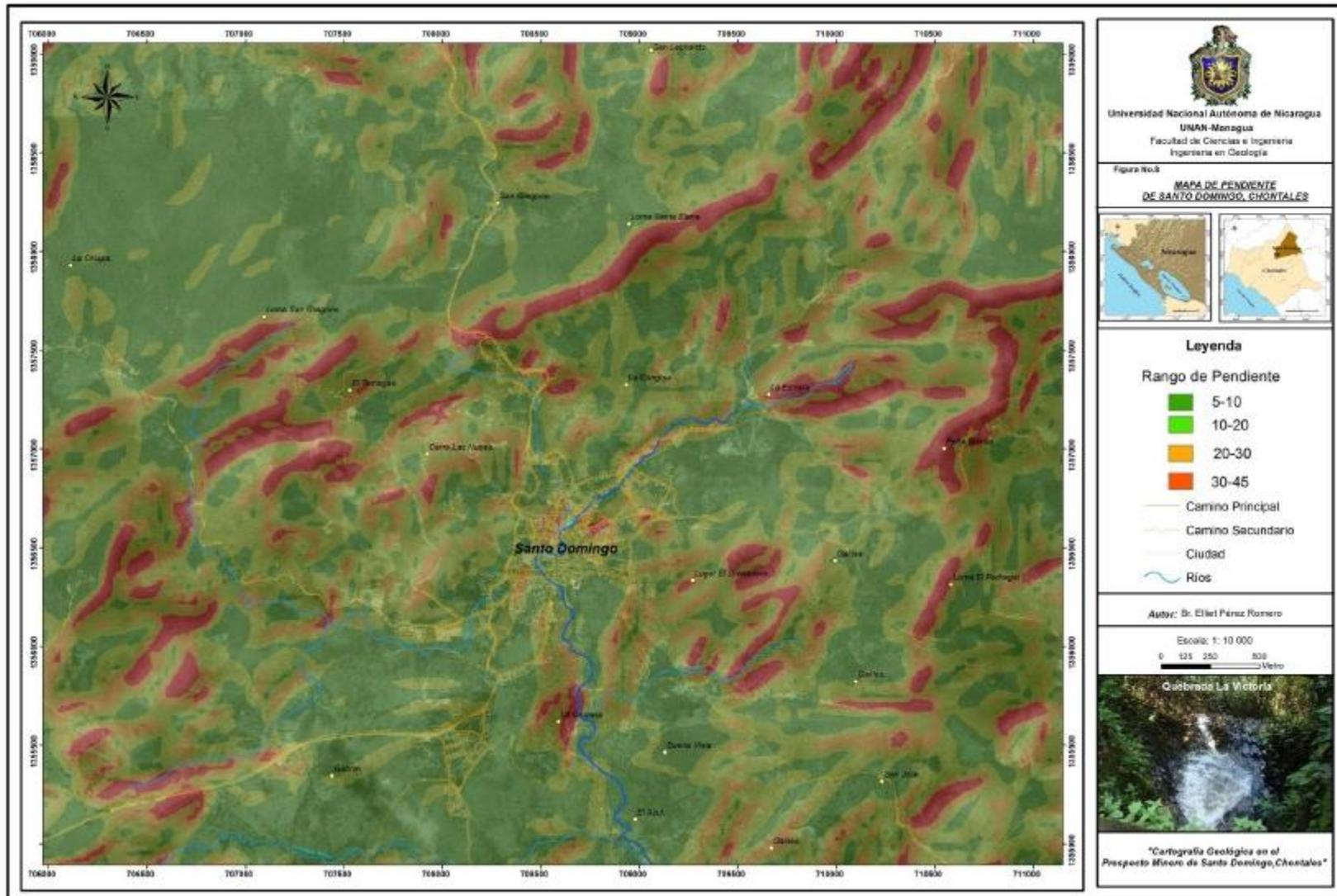


Figura 8. Mapa de Pendiente de Santo Domingo, Chontales.

C. Mapa de Órdenes de Corriente.

La línea divisoria o parteaguas del área de estudio está delimitada por las lomas: El Pedregal, Los Dados, Santa Elena, San Gregorio y El Escándalo. Las aguas superficiales de la zona de estudio drenan en dos direcciones: una, hacia la parte Sur que constituye el 80 % de la red fluvial y el 20 % restante drenan al Norte, Este y Oeste del área (Figura N°9).

El sistema de drenaje en general es del tipo sub dendrítico debido a que la zona presenta una litología bastante homogénea. La baja permeabilidad de la roca andesita, la baja cobertura vegetal y pendientes moderadas han permitido la formación de este tipo de drenaje en la zona de estudio.

En el mapa se observa un predominio de las corrientes iniciales del primer y segundo orden. El dominio de las corrientes indica que el modelado de la superficie es relativamente joven, y que la erosión hídrica lineal en los causes de estas corrientes es relativamente alta; esto es porque la vegetación es carente, la infiltración disminuye y aumenta el escurrimiento ocasionando grandes cantidades de acarreo de material, mismo que se deposita en las zonas planas.

Las corrientes del tercer y cuarto orden forman El río Sucio. En el área, este tipo de orden significa la deposición de material acarreado por los órdenes uno y dos.

D. Mapa de Energía del Relieve.

En este mapa se constató que tan resistente es la litología de la zona con los embates de la erosión, como la roca andesítica ha resistido al modelado sin perder mucha altitud en las montañas con valores de 150 a 190 m de diferencia altitudinal con respecto a las partes bajas. En cambio las zonas bajas que corresponden a suelos hidrotermales corresponden a zonas donde la erosión a formado planicie presentando valores de diferencia altitudinal de 30 a 60 m (FiguraN°10).

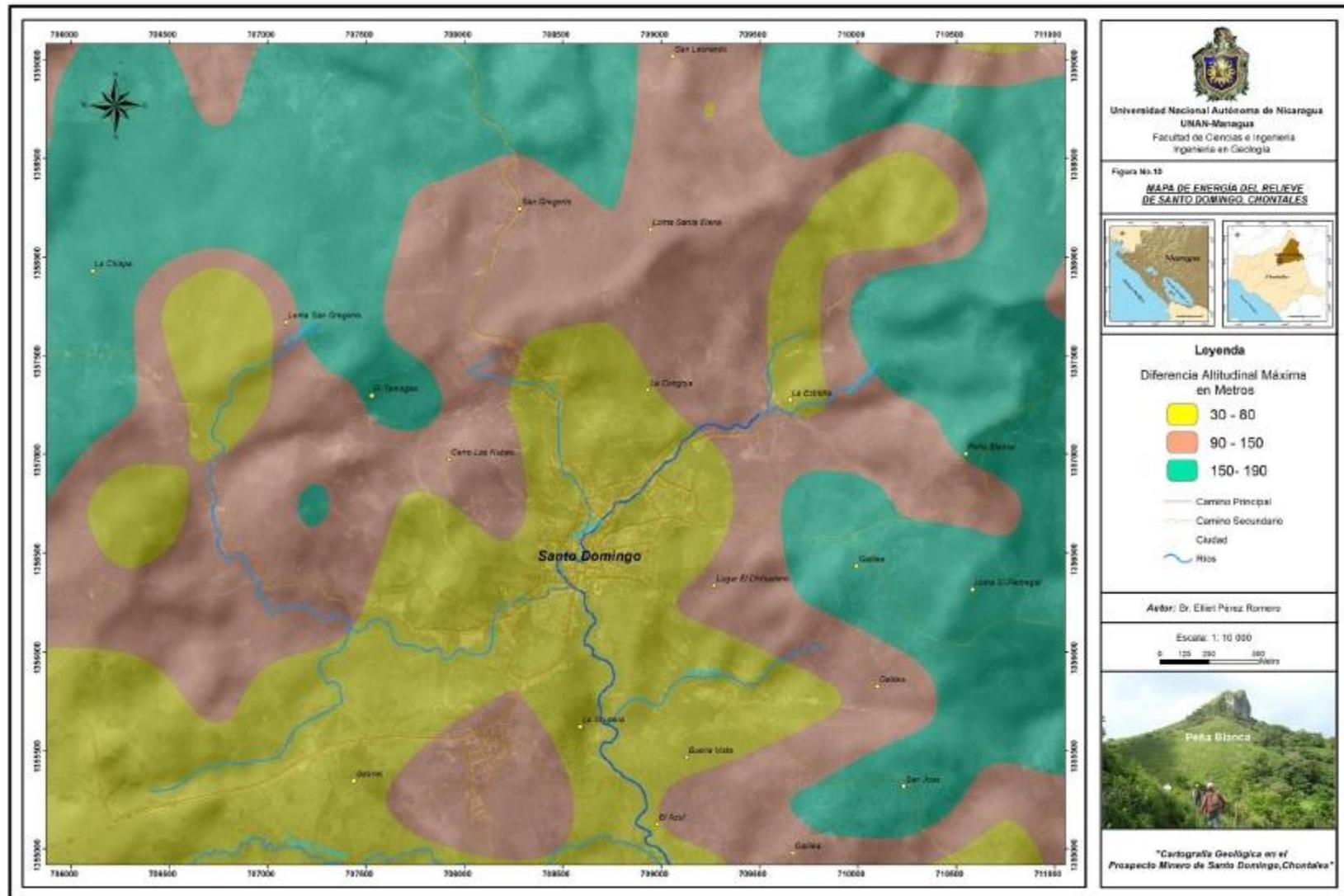


Figura 10. Mapa de Energía del Relieve de Santo Domingo, Chontales.

5.1.2. Unidades Geomorfológicas

El mapa geomorfológico en este estudio se elaboró, a partir del análisis del mapa topográfico a escala 1:10 000, analizando las propiedades cuantitativas del relieve (morfometría). Los análisis en conjunto ayudaron a delimitar las formas principales del relieve. Toda esta información se conjugó con la litología del área de estudio ayudando a definir las unidades geomorfológicas.

El relieve del área de estudio expresa la interacción de construcción de relieve que hubo, al mismo tiempo que la erosión actúa nivelando las elevaciones y formando valles, barrancos etc. El estudio del relieve culminó con la definición de 4 unidades geomorfológicas.

A. *Unidad de Relicto de Caldera y Flujo de lava*

Esta unidad se compone de la caldera antigua de la zona de estudio la cual en este estudio se denomina "Caldera Santo Domingo". La caldera es una estructura fuertemente erosionada y dislocada por procesos tectónicos locales. Esta estructura se encuentra bordeando al pueblo de Santo Domingo, en sus francos Norte, Noroeste y Noreste de la ciudad. La estructura está conformada por potentes depósitos de roca de composición andesítica.

Se origina por el escurrimiento de lava que se desborda por los flancos de un centro eruptivo o sale a la superficie a través de fracturas y origina coladas lávicas que una vez solidificadas forman acumulaciones con rasgos propios geomorfológicos de ambientes de origen volcánico (Foto N° 5-2). En el área de estudio los depósitos de lava formaron las zonas con las mayores elevaciones que fueron las paredes de la antigua caldera (Foto N°5-1).

El relieve que expresan estos depósitos de lavas ha sido modificado por los procesos de meteorización y erosión. Los depósitos de lava se presentan en forma irregular en el área de estudio, su mejor expresión son las montañas de Loma San Gregorio, Loma Santa

Elena, Los Dados, Peña Blanca, Loma El Pedregal, Las Victorias, La Chispa y San Juan (Carretera al Ayote).

Esta unidad presenta: elevaciones entre los 740 a 650 msnm, siendo las mayores elevaciones del área de estudio, las pendientes más altas de 30 a mayores de 45 grados, orden de corriente del primer orden y un índice de disección de 0.3 a 0.6 m/m^2 siendo los menores índices de disección del área de estudio.

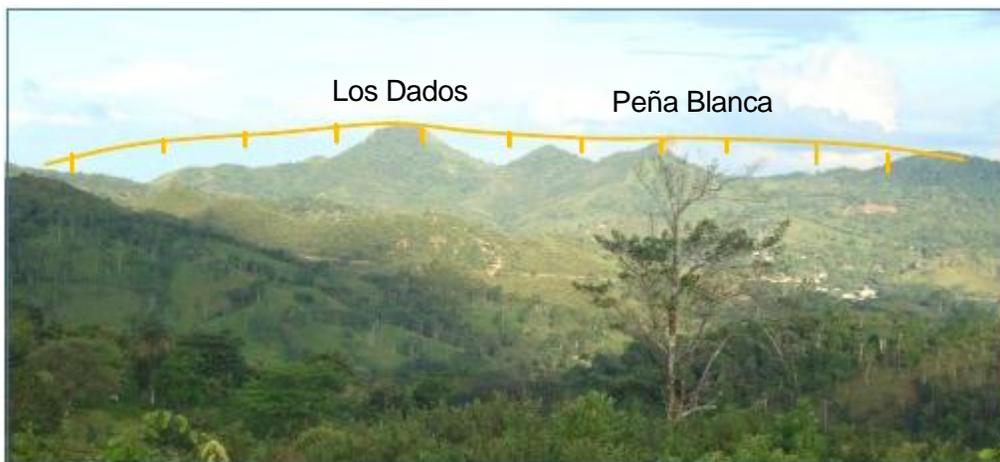


Foto 5- 1. Escarpe de la caldera, se observan las montañas: Peña Blanca, Los Dados y Loma El Pedregal.



Foto 5- 2. Flecha indica la dirección de la colada lávica en el Portillo, al Norte de la ciudad de Santo Domingo.

B. Unidad de Laderas Inferiores de Montañas.

Son terrenos no tan elevados que por su altura se distingue de la superficie adyacente limitantes; presentan contraste altitudinal en corta distancia y laderas heterogéneas en longitud, geometría y orientación.

Se trata de laderas constituidas litológicamente por andesita alterada y suelos regolíticos. En el proceso erosivo fluvial, tanto vertical como lateral, han provocado una acción de modelado formando una serie de barrancos y desgaste en sus elevaciones con un índice erosivo de 0.6 a 0.8 m/m² (Foto N° 5-3).

Las laderas inferiores a montañas presentan pendientes de 20 a 30 grados mismas que favorecen al alto grado de intemperismo y erosión, en consecuencia, el continuo acarreo de materiales y la formación de barrancos jóvenes con las ordenes de corrientes del primer y segundo orden con una diferencia altitudinal de 90 a 150 m con respecto a las montañas que conforman la unidad antes descrita.

En el área de estudio, esta unidad constituye El área de las Nubes, La Congoja, Tamagás y San José ubicados en la parte Noreste y Suroeste del pueblo de Santo Domingo. En general tiene con alturas de rango de 510 a 650 msnm.



Foto 5- 3. Obsérvese las laderas montañosas erosivas en el Sector del Tamagás

a) Sub unidad de relieve antrópico.

Esta sub unidad está dentro de la Unidad de laderas inferiores a montañas. Es el relieve que ha sido modificado por la actividad humana; la importancia que tiene actualmente en el mundo, y en particular en el área de estudio, se explica por separado.

En el área de estudio, la actividad minera industrial ha sido desde los años 1868 (Belt, 2003). En la actualidad la empresa minera B2Gold, ha iniciado procesos de extracción del mineral a través del método de extracción a cielo abierto en el Cerro Momotombo desde el año 2013 a la actualidad.

La actividad minera es una actividad antrópica que conduce a la destrucción de montañas y cerros. Por ejemplo el cerro Momotombo, donde se realizan constantemente movimientos de tierra para la explotación del mineral y la creación de obras verticales para el transporte del material extraído. Las actividades en el cerro han realizado cambios drásticos en la geomorfología del mismo, observable en tiempo muy corto perturbando así el medio (Foto 5-4).



Foto 5- 4. Explotación minera a cielo abierto en el Cerro Momotombo por la empresa B2Gold.

En el área estudiada, también se da la minería artesanal, que es otra actividad antrópica. La minería artesanal se da mayoritariamente por la cooperativa de Los Pequeños Mineros, donde extraen el mineral a través de túneles cavados de manera manual (Foto 5-5). El material extraído es llevado a trituración, los desperdicios o material inerte son volcados al río principal (río Sucio) o secundarios causando una sedimentación acelerada en los ríos. El Cerro las Nubes, El Tamagás y San Gregorio han sido modificados por la actividad minera.

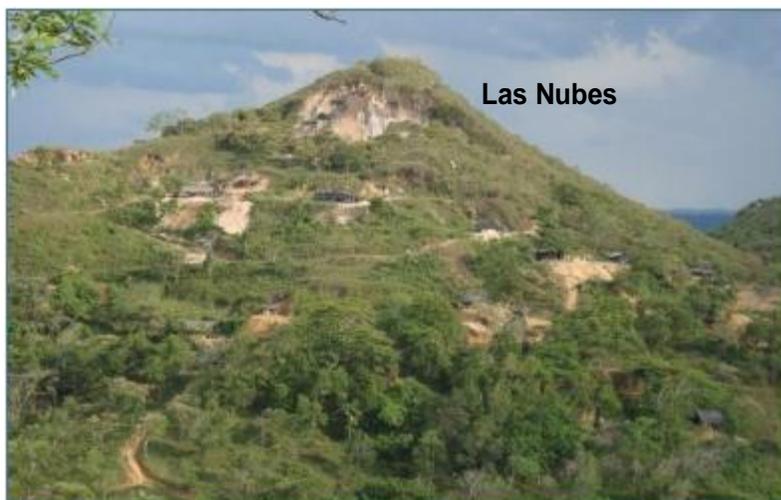


Foto 5- 5. Explotación minera artesanal en cerro Las Nubes, lugar conocido como la Zompopera.

C. Unidad de Cerros y Colinas.

Geomorfológicamente comprende cerros y colinas heterogéneas en longitud y geometrías en cortas distancias y pocas elevaciones. La zona es caracterizada por una altura de 400 a 510 msnm.

Los barrancos han originado la erosión de las laderas causada por las aguas pluviales, donde mayoritariamente se concentran las órdenes de corriente 1, 2 y 3 (Figura N° 10 y Foto N° 5-6). Esta unidad se ubica en la parte Sur del área de estudio donde se concentra las alteraciones hidrotermales y suelos arcillosos (Figura N° 5). La unidad presenta índices erosivos altos de 0.9 a 1 m/m², pendiente de 10 a 20 grados y una diferencia altitudinal de 150 a 190 m con respecto a la primera unidad geomorfológica.

Otra expresión geomorfológica de esta unidad son los valles que se observan al pie de los cerros, estos solo se presentan en los ríos de corta extensión, poca profundidad (Foto 5-7). Las mejores expresiones de este tipo de geomorfología se encontraron en las zonas de Gabriel, La Grupera, Buena vista, El Divisadero, Galilea Las Victorias, Los Tubos y en la quebrada el Cedro.

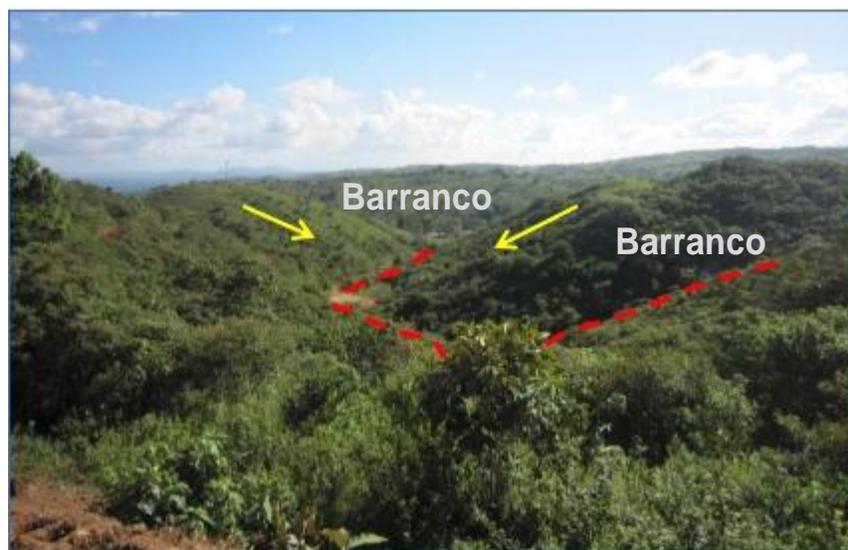


Foto 5- 6. Líneas rojas indican los barrancos formados por la erosión fluvial en el sector del Aserradero



Foto 5- 7. Valle Confinado por montañas en la quebrada Los Tubos.

D. Unidad Planicie Aluvial.

La unidad Planicie Aluvial se encuentra entre las laderas inferiores y litológicamente está compuesta por depósitos volcánicos sedimentarios aportados por las corrientes fluviales que desembocan en la planicie. Su composición granulométrica es variable presenta desde bloques, gravas, limo y arcilla mal clasificados con ausencia de estratificación.

Esta unidad se ubica entre la desembocadura del río La Cuatro en el río Sucio a la desembocadura de la Quebrada alegre en el mismo río Sucio. Los materiales depositados en los ríos, son nuevamente removidos por los Güiriseros o Paneros. Los ríos presentan cambios de cursos de agua y de su llanura aluvial aceleradamente por la actividad minera artesanal (Foto 5-9).

Ocupa la posición altitudinal entre 400 a 450 msnm con pendientes de 5 a 15° siendo estas las menores elevaciones y las pendientes más bajas de la zona de estudio. En el mapa de Órdenes de corrientes (Figura N°10) se comprobó que el río Sucio predominan las órden de corriente 4 que corresponde a órden de deposición de material (Foto 5-8). La deposición de estos materiales es constantemente removida por la actividad minera no permitiendo la formación de terrazas aluviales (Foto N° 5-9).



Foto 5- 8. Líneas amarillas indican hasta donde llegan los depósitos coluvio-aluviales en el río Sucio



Foto 5- 9. Líneas amarillas indican la llanura aluvial natural del río Sucio. Las líneas rojas indican el cambio de curso de las aguas del río Sucio.

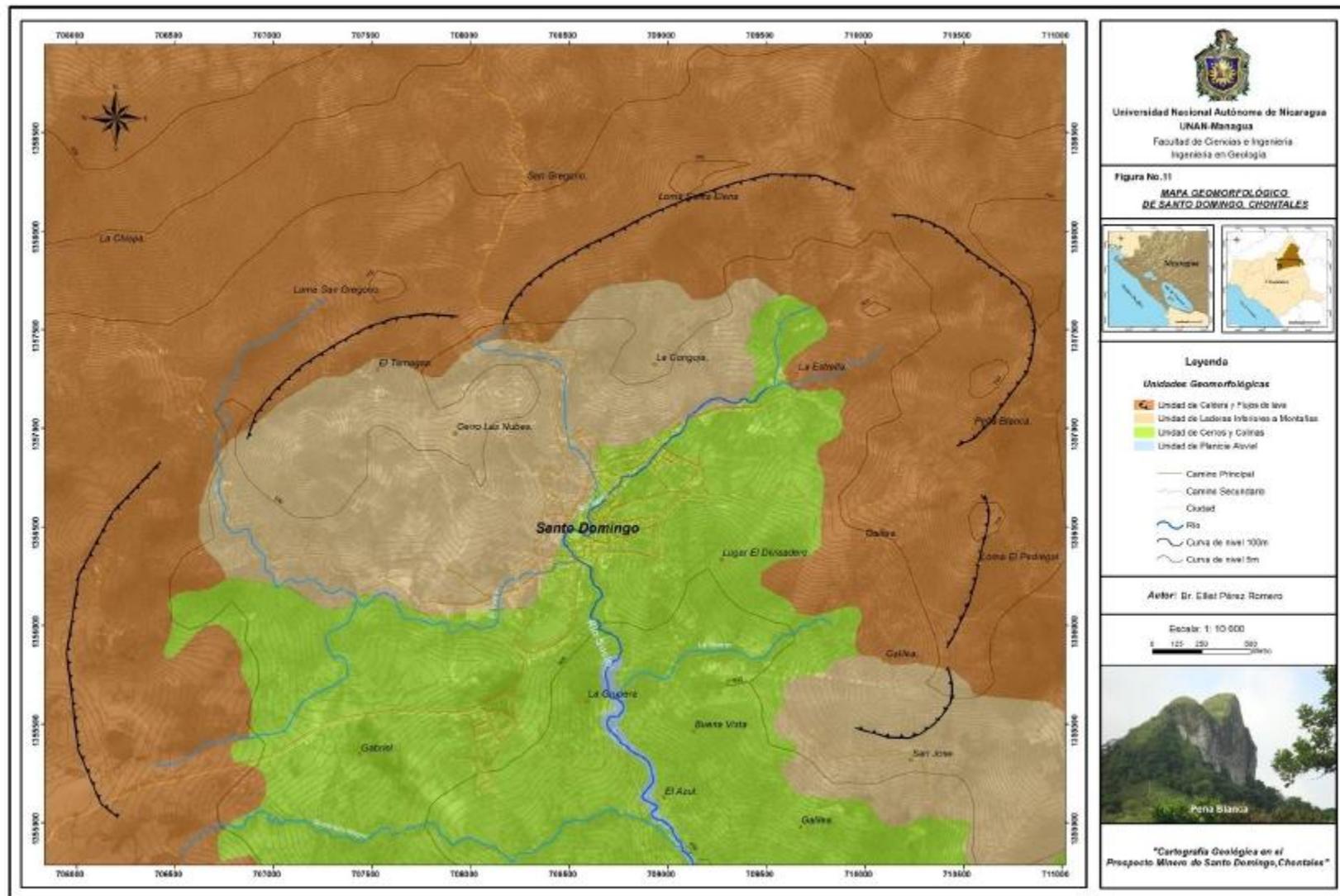


Figura 11. Mapa Geomorfológico de Santo Domingo, Chontales.

CAPÍTULO VI

6.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La deformación es un concepto geométrico, se puede definir como la suma de los cambios o modificaciones a la geometría del cuerpo a partir de una geometría inicial como respuesta a un esfuerzo. Cuando los esfuerzos sobrepasan la resistencia mecánica de las rocas producen deformación a través de las zonas débiles de la roca (Tolson, 1996).

Para lograr entender el significado mecánico de las rocas existen tres conceptos fundamentales relacionados entre sí: falla, zona de falla y zona de cizalla. Una falla es por definición una fractura frágil a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento visible. Por su parte, una zona de falla se encuentra compuesta por innumerables superficies de fallas frágiles, sub-paralelas e interconectadas estrechamente espaciadas conteniendo zonas de brecha o fault gouge. La zona de cizalla corresponde a una ancha zona de deformación generada por condiciones dúctiles y dúctiles –frágiles. La zona de cizalla gradúa hacia arriba hacia una zona de falla (Sibson, 1990).

Por lo antes expuesto y para este estudio se utilizó los criterios de cizalla por los siguientes factores:

- La geología de Santo Domingo es de origen volcánico que se caracteriza por el tipo de deformación frágil y por ser una zona donde actuó una actividad hidrotermal dio paso al desarrollo de zonas de deformación dúctil. Por tanto, es un área de deformación dúctil a dúctiles- frágiles.
- Las zonas de cizalla pueden mostrar desplazamiento relativo de los bloques. Muchas veces las zonas de cizalla presentan sub zonas de mayor o menor grado de deformación.
- Existen determinados tipos de fracturas (indicadores cinemáticos) que podemos esperar en una zona de falla y zona de cizalla: Planos de Riedel (R) y los planos P; arreglos en échenlo (escalonadas), sigmoides, brechas de falla y sistemas conjugados.

- Las mineralizaciones se encuentran asociadas a zonas de cizalla en condiciones dúctil-frágil, donde se generan un mayor número de estructuras de apertura para albergar las mineralizaciones.

En el área de Santo Domingo, se logró observar los indicadores cinemáticos a través de las giras de campo, donde se logró visitar afloramientos rocosos, cortes de caminos, carreteras, antiguas extracciones mineras y ríos.

Este estudio, propone que los depósitos volcánicos existentes en Santo Domingo, fueron originados por una antigua caldera propuesta en este estudio como caldera de Santo Domingo. Esta caldera de Santo Domingo, corresponde a una estructura ovalada e irregular, localizada al rededor del pueblo de Santo Domingo (Figura N°12).

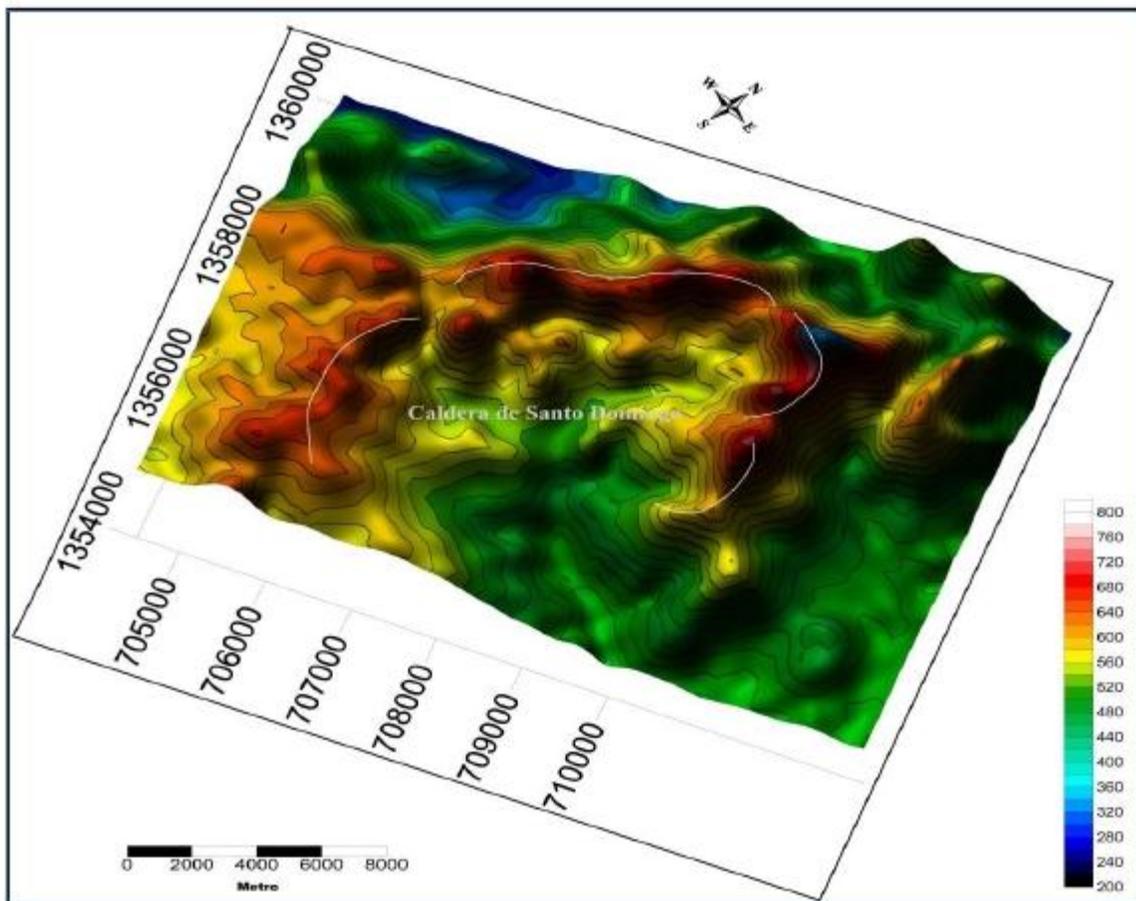


Figura 12. Mapa de la Caldera de Santo Domingo, Chontales.

El diámetro geomorfológico de la caldera alcanza cerca de los 5 Km en su eje mayor y en su eje menor 1.5 Km hasta donde se lograra tomar ya que esta caldera se encuentra completamente erosionada en su parte Sur (Figura N°12). Según Lipman, (2002) las calderas alcanzan diámetros de 5 km las calderas pequeñas y 75 Km las calderas grandes, con este parámetro se definió la caldera de Santo Domingo como una caldera volcánica pequeña.

Las calderas volcánicas pequeñas, están asociadas con erupciones efusivas de lavas y son comunes de composición química basáltica y andesítica, como es el caso de la caldera de Santo Domingo de composición andesítica. Esta caldera está definida por un límite topográfico que une los puntos altos que rodean la estructura y paredes internas escarpadas, estas características fueron definidas en el capítulo de geomorfología, también presenta un límite estructural que representa la parte de la caldera colapsada por el movimiento a lo largo de fallas normales.

El vulcanismo de la caldera provoco una actividad hidrotermal y mineralización, esta ocurrió o no a lo largo de la vida de la caldera, pero generalmente estos procesos inician a dominar en la actividad tardía de la caldera originando deposición de minerales. El sistema geotérmico aprovecho zonas de debilidad en la roca andesita para mineralizarla, emplazando vetas de gran longitud y ancho. La mayoría de estas vetas fueron depositadas en profundidad y algunas expuestas en superficie por el trabajo minero de la zona.

En el trabajo de campo se tomaron la mayor cantidad de mediciones como: rumbos, buzamientos y longitud de las fracturas en los afloramientos mejores expuestos. Con los datos recolectados en campo se realizaron agrupaciones de rumbo de las fracturas que fueron procesados por el software Georient resultando del procesamiento las rosetas de fractura. La roseta de fractura ayudó a determinar qué fases de fallamiento habían afectado el área de estudio.

6.2. FASES DE DEFORMACION

En base al análisis de las rosetas de fracturas, mapas de Curvas de nivel y relieve de sombra se definió que el área de Santo Domingo está afectado por 3 patrones de fallamiento con direcciones: **NW-SE; NE-SW y EW** con una falla única (Mapa N°13). Dichos patrones estructurales pertenecen a distinta fases de actividad tectónica que han afectado a la antigua estructura de caldera y a las vetas desplazándolas de sus posiciones iniciales.

6.2.1. Fase de Fallamiento NW-SE.

Esta es la primera fase de deformación y actividad tectónica que afecto el área de estudio y fue la primera fase en desplazar la caldera de Santo Domingo. En esta fase se logró observar en las localidades de La Chispa, el Cedro, las Victorias y Carta Grande.

La topografía accidentada es producto del fuerte escarpe generado por los planos de fallas. Las fallas que representan esta fase de deformación tectónica se denominaron en este estudio como: Falla La Chispa, Falla La Victoria y Falla Carta Grande.

En la roseta de fractura se agruparon las fracturas encontradas en cada una de las fallas antes mencionadas. Esta roseta de fractura expone una dirección de esfuerzo principal máximo sigma 1 al NW-SE y un esfuerzo principal de extensión sigma 3 dirigido hacia el NE-SW (Figura N°13).

Falla La Chispa:

Es una de las fallas principales que caracteriza la fase NW-SE. Esta falla se localiza al Oeste de la Ciudad de Santo Domingo, entre las coordenadas UTM: N1356250 E707000 hasta la N1358800 E706000.

La falla se encuentra dividida en dos segmentos con un arreglo en echelón derecho, por una falla inferida posiblemente de movimiento normal con rumbo E-W. El primer segmento se encuentra en el sector de la Chispa, entre las coordenadas UTM: N1358800 E706000 hasta N1357200 E706250 con una longitud aproximada de 2 Km. El segundo segmento

sigue la dirección de la Quebrada El Cedro entre las coordenadas: 1356900 E 706600 hasta N1356100 E707000 con una longitud aproximada de 1 Km (Mapa N° 13).

Los principales indicadores cinemáticos asociados a esta falla son: sistemas conjugados (Foto N°6-1), sigmoide (Foto N°6-3), estructuras secundarias R (Foto N°6-2). La litología afectada por esta falla va de andesita compacta a andesita con alteración hidrotermal.

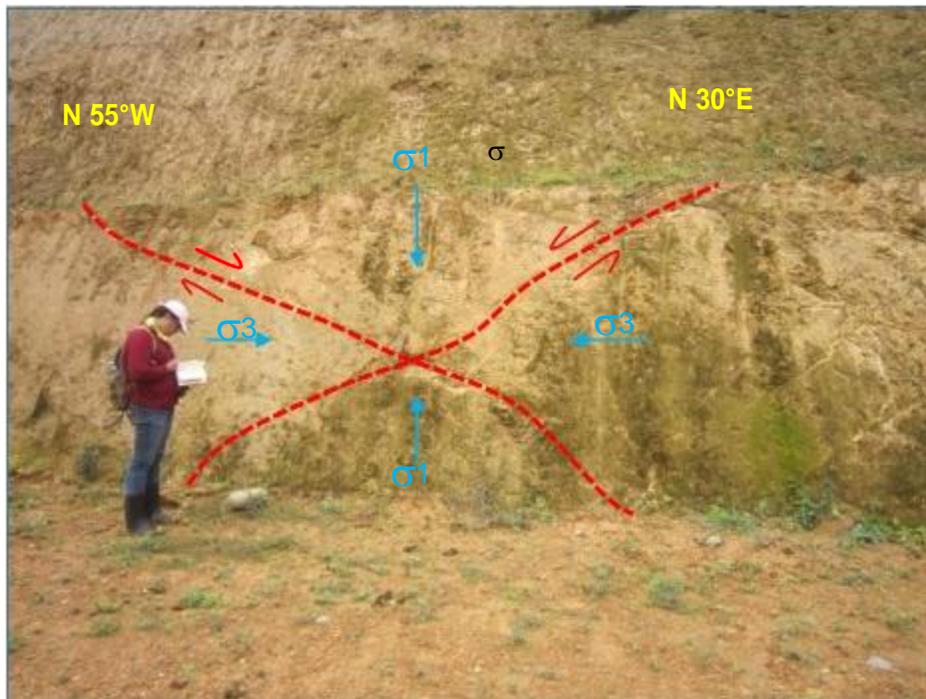


Foto 6- 1. Fractura extensiva y compresiva en arreglo conjugado, indicando la dirección de esfuerzo máximo sigma σ_1 . Falla La chispa.

Las fracturas conjugadas están relacionadas a sistemas de falla normales, las cuales indican movimiento que dio lugar a estas fracturas y el esfuerzo máximo de la deformación (Foto 6-1). El fracturamiento secundario R y R' apuntan la dirección de desplazamiento del bloque que baja (Foto 6-2).

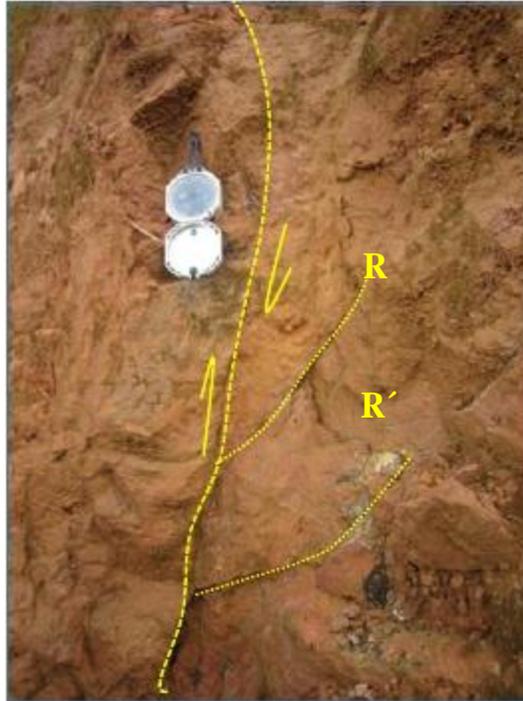


Foto 6- 2. Obsérvese el sentido del desplazamiento de la fractura principal, determinado a través de los criterios de las estructura R y R'. Falla La Chispa.

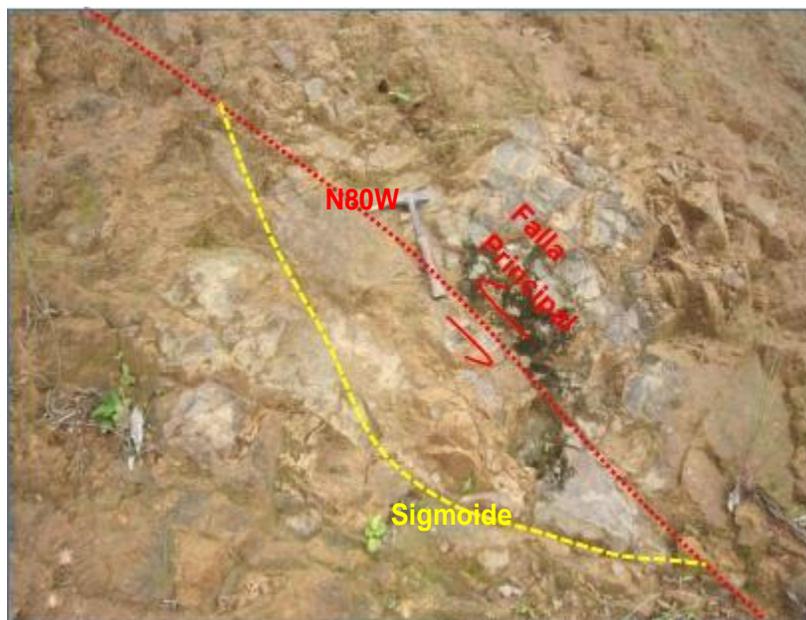


Foto 6- 3. Lentes de deformación o sigmoides indicando el movimiento relativo de la falla principal, Falla La Chispa.

La presencia de sigmoides ubicados en la dirección del movimiento relativo de la falla principal indica que los depósitos de rocas han sufrido rotación durante el movimiento de la falla, de manera que el eje mayor de los sigmoides se encuentre alineado con respecto al movimiento de la misma (Foto N°6-3).

La presencia de sigmoides, estructuras R y P, fracturamiento con distintos arreglos estructurales encontrados en campo sobre el rumbo de la Falla La Chispa, son evidencias de que la falla presenta un movimiento normal con una componente lateral derecha.

Falla La Victoria.

Esta estructura se localiza al norte de la ciudad de Santo Domingo, entre las coordenadas UTM: N1358000 E708950 N1359000 E707000. Esta falla se expresa en las cercanías del caserío Las Victorias de donde toma su nombre. Posee un rumbo NW-SE con una longitud aproximada de 2.5 Km y esta estructura se encuentra dividida en tres segmentos, con un arreglo en echelón derecho y litológicamente corta roca andesita compacta.

Esta falla tiene buena expresión topográfica, lo que facilitó su identificación. El curso del agua ha ocupado la zona de debilidad de la roca que sirve de cauce a la quebrada La Victoria con un rumbo N40W y un ancho de 25 m aproximadamente. La quebrada muestra una serie de escalonamientos que van de 0.50 m hasta 50 m de alto con dirección de caída hacia el N. El fracturamiento al NE es el causante de que estos bloques presenten este escalonamiento (6-6).

Sobre la dirección norte de la falla, se identificaron sigmoides en posición vertical formando geometría anastomosada (6-4) entre fallas paralelas de posición vertical y horizontal (6-6), al igual que se encontraron sistemas conjugados, fracturas perpendiculares (6-4) y terminaciones en cola de caballo (6-5) presentes en toda la quebrada La Victoria.

Los indicadores cinemáticos encontrados, permitieron definir un movimiento de falla normal dextral.

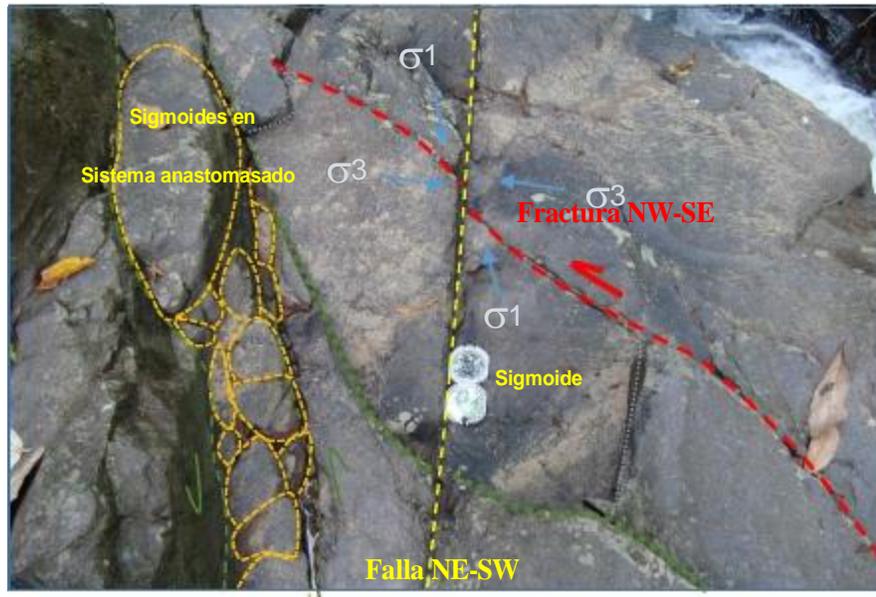


Foto 6- 4. Obsérvese sigmoides verticales formando arreglos anastomasados en medio de las fracturas paralelas y fractura conjugada de la Falla La Victoria.

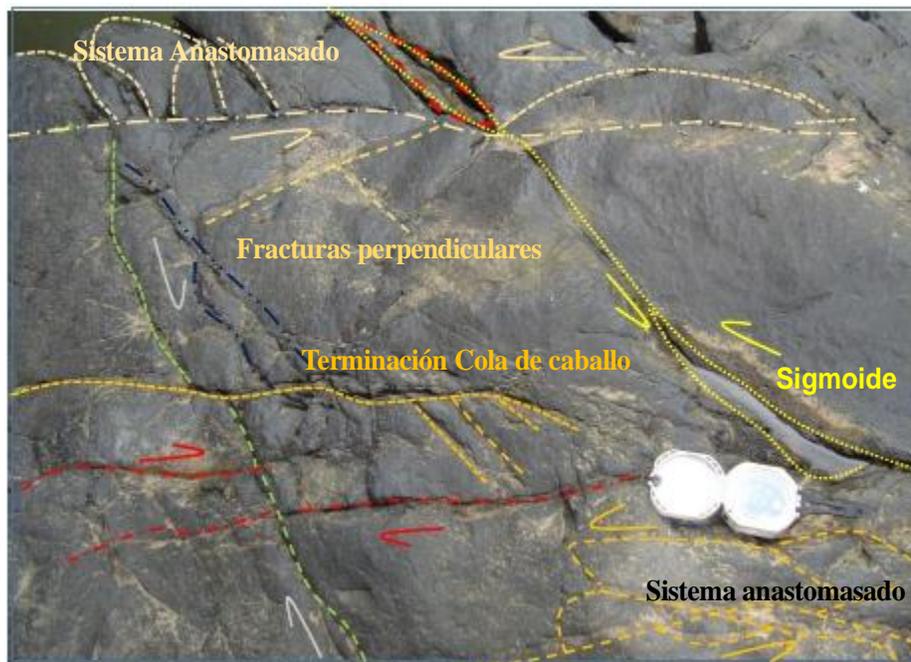


Foto 6- 5. Arreglos de fractura como indicadores cinemáticos: sistemas anastomasados, fracturas perpendiculares, terminación en cola de caballo y sigmoides que indican el movimiento de las fracturas en la Falla La Victorias.



Foto 6- 6. Fracturamiento paralelo vertical y horizontal en la quebrada La Victoria. Se observa la caída de agua de 2 m aproximadamente, Falla La Victoria.

Falla Carta Grande.

Esta estructura se encuentra al Norte de la ciudad de Santo Domingo, en las coordenadas UTM: N1358800 E709250 hasta N1359200 E708600. La falla está dividida en dos segmentos con rumbo N50W y litológicamente esta falla corta roca andesita compacta.

El plano de falla está ocupado por la quebrada Carta Grande con un rumbo NS, siendo esta su mayor expresión topográfica. La quebrada presenta caídas de agua en forma de cascada con alturas variables de 0.30 m a 10 m aproximadamente. El escalonamiento que presenta la quebrada se debe al patrón estructural definido por las fracturas con sistema paralelo de rumbo EW con caída de bloques al N (Foto N° 6-7 y 6-8).



Foto 6- 7. Líneas amarillas indican escalones y alturas de saltos producto del fracturamiento paralelo de rumbo E-W sobre la Falla Carta Grande



Foto 6- 8. Observe el mismo patrón de fracturamiento E-W, fecha roja indica espesor de escalones en la parte norte de la quebrada Carta Grande.

En la coordenada UTM: E708834 N1358851, Elevación: 546 msnm, se encuentra un salto de agua con 10 m aproximadamente de alto en la quebrada Carta Grande, donde se observó una brecha de falla con rumbo S25W (Foto N° 6-9).



Foto 6- 9. Brecha de falla con 0.60m de espesor en Falla Carta Grande. Flecha roja indica escala.

Los principales indicadores cinemáticos encontrados corresponden a fracturas con sistema paralelo, brecha de falla y escalonamiento que forma saltos de agua en toda la quebrada de Carta Grande. Con los datos obtenidos en campo y mapas se determinó que es una falla normal.

6.2.2. Fase de Fallamiento NE-SW.

Es la segunda fase de deformación que afecta la zona de estudio, la mineralización ocupó esta fase para la deposición de minerales en vetas de cuarzo con dirección preferencial NE-SW que cortan las rocas andesitas.

En esta fase se logró determinar tres fallas segmentadas, de las cuales la mayoría no se lograron comprobar en campo, sin embargo, el análisis fotogeológico en conjunto con los mapas: altimétrico, relieve de sombra y curvas de nivel definen la existencia de la falla en el relieve.

Las fallas más representativas en esta fase son: El Ayote, El Cilindro y La Estrella; se describirán a continuación al igual que la mayoría de las vetas encontradas.

Falla El Ayote

Esta falla se localiza en la carretera hacia El Ayote, en las afueras de Santo Domingo y presenta una dirección preferencial de N30E. La estructura se encuentra segmentada en dos partes entre las coordenadas UTM: E708300 N1358300; E707800 N1357300 con una longitud de 700 m aproximadamente. El segundo segmento se encuentra cerca del cerro las Nubes entre las coordenadas E707600 N1357000; E707400 N1356300 con una longitud aproximada de 600 m.

Esta falla está siendo desplazada y cortada por la falla inferida Tamagás con un posible movimiento normal con rumbo EW (Figura N°13).

El afloramiento más representativo se encuentra sobre la carretera al Ayote en San Juan en las coordenadas UTM: E708356 N1359665, en el lado SW de la carretera. El corte tiene aproximadamente unos 15 m de largo por 4 m de alto se logró observar fracturas paralelas verticales con rumbo E-W, entre estas se están formando sigmoides (Foto 6-10); las fracturas están provocando un escalonamiento hacia el N.

En el campo se logró observar estos indicadores cinemático y con la ayuda de los mapas antes mencionados se determinó la existencia de esta falla. La falla tiene un movimiento normal dextral.

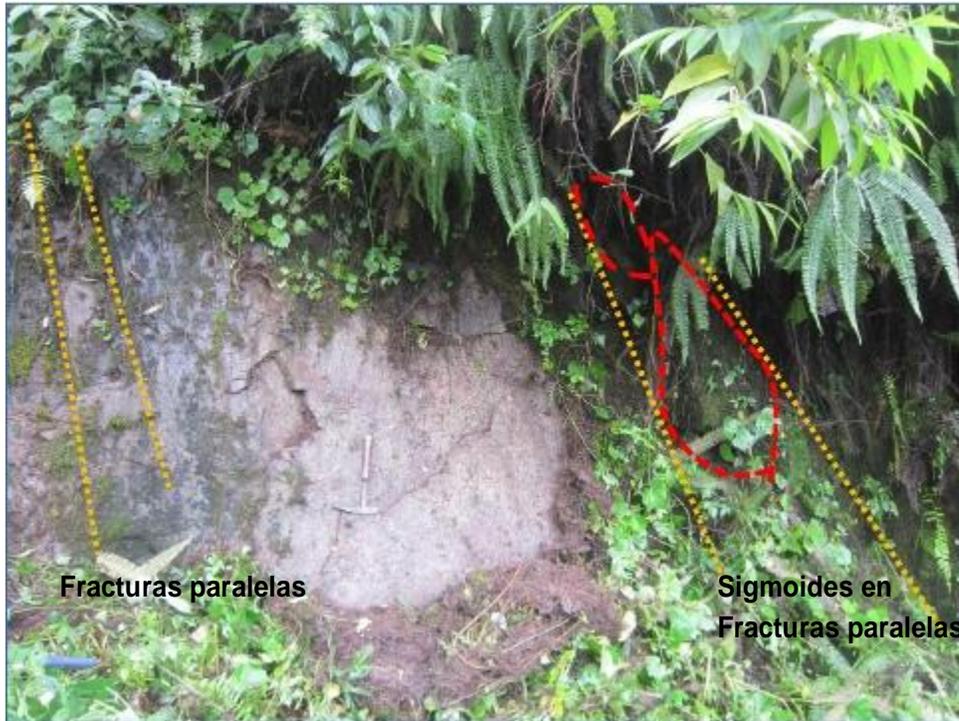


Foto 6- 10. Fracturas paralelas con rumbo E-W forman sigmoides que indican la caída de bloque hacia el N en la Falla El Ayote.

Fallas El Cilindro.

Esta estructura corresponde a 2 fallas paralelas entre sí, ubicadas en la parte NW del área de estudio. Cada una presenta una extensión superficial de 100 m aproximadamente con un rumbo al NE-SW.

Aunque no fueron identificadas en campo, el análisis fotogeológico en conjunto con los mapas de relieve de sombra, altimétrico y de curvas define la existencia de estas fallas debido a la presencia de escarpes bien desarrollados. La geometría de estas fallas consiste en un arreglo paralelo.

Falla La Estrella.

Falla la Estrella, se localiza en la comunidad La Estrella, de donde toma su nombre. La estructura presenta un rumbo de N 35 E en las coordenadas UTM: N1358400E710300; N1357600 E709700 con una longitud de aproximadamente 900 m (Figura N°13).

La mejor expresión geomorfológica de esta falla es la quebrada La Estrella en la coordenada UTM: E709553 N1357321 con un rumbo de N10E. Misma que presenta dos saltos de agua cada uno de los cuales presentan indicadores cinemáticos como sigmoides en sistema anastomasado (Foto N°6-12 y 6-13), complejo (Foto N6-13) y sistema escalonado en la quebrada La Estrella.

En el lado W de la quebrada se localizó un dique (dique La Estrella). El dique sobresale en la quebrada por su color anaranjado rojizo que sobresale del color gris oscuro de la roca caja andesita. El dique presenta 4.10 m de largo por 1.43 m de ancho (Foto N°5-14). El límite del dique con la andesita de la quebrada, está delimitado por fracturas que presenta el mismo rumbo del dique N80E.

La falla La Estrella con los indicadores cinemáticos es una falla normal.



Foto 6- 11. Dique La Estrella con un rumbo N80E, flechas indican ancho y longitud del dique.

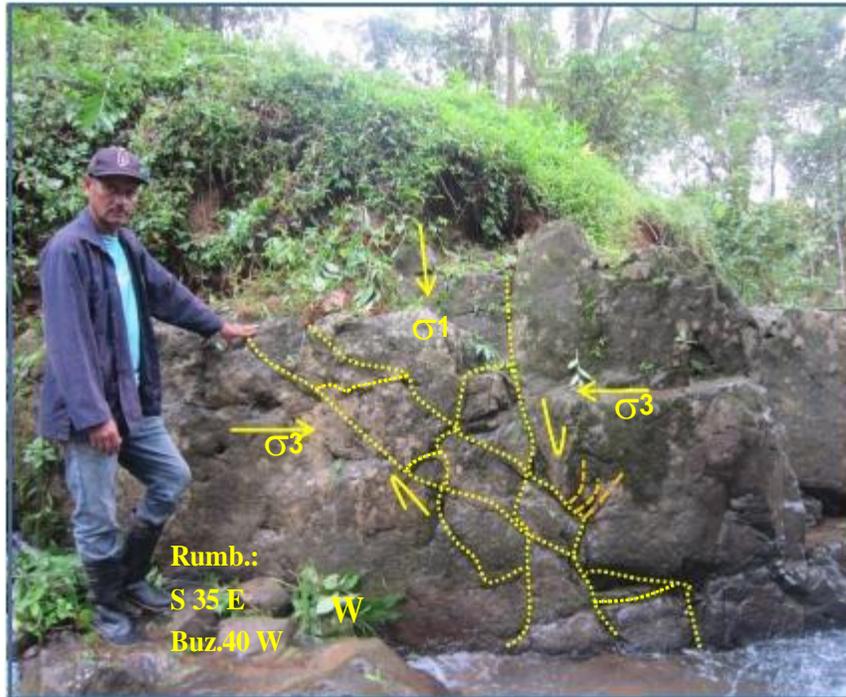


Foto 6- 12. Sistema anastomasado presente en la Falla La Estrella indica el movimiento del bloque W que está cayendo en la quebrada La Estrella

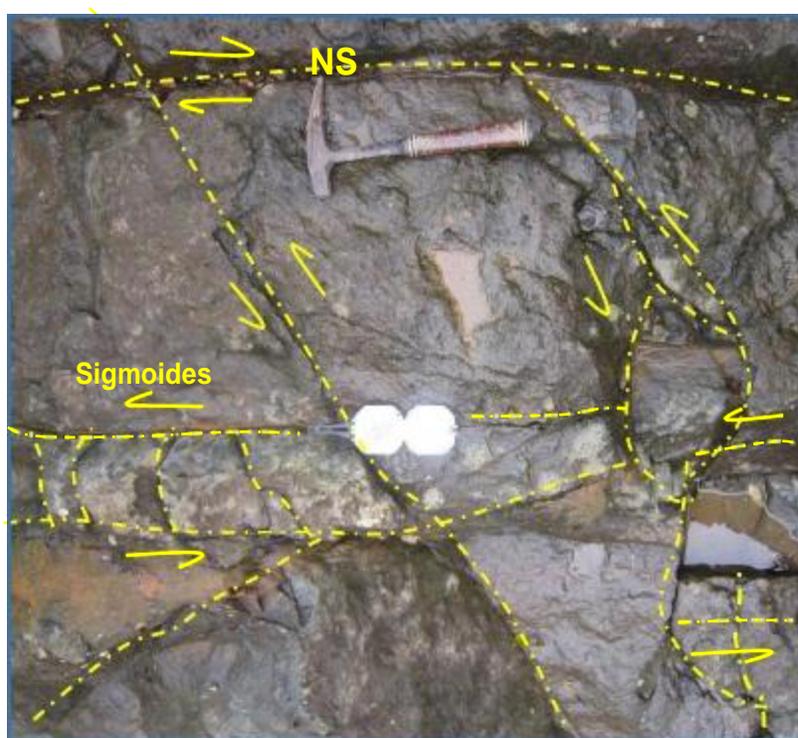


Foto 6- 13. Sistema complejo de fractura, el esfuerzo al que está sometida la roca andesita está provocando sigmoides verticales y horizontales que indican el movimiento de las fracturas.

Vetas

Las vetas se desplazaron en la zona de Santo Domingo por presentar fallas con condiciones extensionales. La mineralización del área se encuentra asociada a la zona dúctil frágil, donde se logró generar un mayor número de estructuras de apertura para albergar las mineralizaciones.

Las zonas extensionales son las favorables para el desarrollo de las mineralizaciones. La extensión genera espacios, la compresión los sella. Esto tiene como consecuencia que ahí donde se generan espacios los fluidos circularon con mayor facilidad y por tanto es mayor la cantidad de mineral. Las fallas cumplieron dos roles principales en la formación del yacimiento de Santo Domingo su primer rol fue actuar como canales de migración de los fluidos hidrotermales y su segundo rol fue albergar la mineralización.

Los fluidos hidrotermales originaron las vetas, estas se emplazaron en los sistemas de fallas de direcciones E-W, N-S con un mayor predominio en la dirección NE-SW. Las vetas son del tipo epitermal conteniendo oro, plata y en menor proporción sulfuros. Algunas de las principales vetas se describen a continuación:

Veta el Sedan: se localiza en la parte W del pueblo de Santo Domingo, entre las coordenadas UTM: E 707937, N 1357138, presenta una longitud promedio de 500 m con dirección NE-SW.

Veta Casualidad: se ubica al S-W del pueblo de Santo Domingo, en el flanco Sur de la veta El Sedan, entre la coordenada UTM: E 708250, N 1356910 con una longitud aproximada de 580 m y sigue una dirección NW-SE.

Veta Amparo: esta veta al parecer es la continuidad de la veta El Sedan separada estructuralmente por el segundo segmento de la Falla el Ayote con una dirección de NE-SW. Esta veta sigue una dirección de NE-SW en ángulo alto, se ubica en las coordenadas UTM: E 707451, N 1356961 con una longitud aproximada de 400 m y un ancho de 1 a 3 m.

Veta San Gregorio: es una de las estructuras de mayor importancia y se encuentra actualmente explotada por los Pequeños Mineros. Los laboreos se realizan en los

alrededores de la vía que conduce al Ayote. La longitud de la veta es de aproximadamente 1500 m y se localiza en las coordenadas UTM: E 706994, N 1357323 con una dirección NE-SW.

Veta Los Portones: ubicada el N-W del pueblo de Santo Domingo, hacia el Sur de la veta San Gregorio entre la coordenada UTM: E707352 N 1357160 con una longitud aproximada de 960 m con rumbo NE-SW.

Las vetas están hospedadas en roca andesita. La mayoría de las estructuras mineralizadas alcanzan profundidades de 200 a 300 m a partir de la superficie (Rodríguez, 1998).

6.2.3. Fase de Fallamiento E-W.

Esta es la tercera fase de fallamiento que afecta la zona de estudio y su influencia solo se encuentra en la parte sur del área de estudio. Esta fase está representada por la Falla El Tamagás y la Veta Jabalí, y se desplaza en dirección E-W (Figura N°13), las estructuras mencionadas se describen a continuación:

Falla El Tamagás.

Corresponde a una estructura lineal, con una extensión superficial de 2 km aproximadamente y una orientación E-W. La falla el Tamagás se localiza en la parte Norte de área de estudio, entre la coordenada UTM: E708900 N1357450; E707100 N1356900.

Esta estructura no fue identificada en campo, pero el análisis fotogeológico en conjunto con los mapas de sombra, altimétrico y curvas de nivel, define la existencia de la falla, debido a la geomorfología y el escarpe bien definido. Su geometría consiste en un arreglo rectilíneo con un movimiento posiblemente de tipo de falla normal.

Veta Jabalí

La veta Jabalí es una de las mayores estructuras presentes en el área de estudio comprobada en campo. Esta estructura presenta una dirección preferencial de E-W entre las coordenadas: E710830 N1355718; E 708691 N 1355786; E708478 N1355805 y E707218 N1355651. La veta presenta una longitud de 4 Km aproximadamente y un ancho

de 6 m variables en toda la estructura medida en superficie. Actualmente, la veta Jabalí es explotada por la empresa minera B2Gold (Foto N°5-16).

Esta veta se logró observar en superficie cerca del quebrada La Cuatro, es una veta de cuarzo con textura sacaroide con intrecrecimiento de minerales de cuarzo de habito prismático presenta diferentes tipos de cuarzo entre ellos cuarzo amatista, ahumado y lechoso en la veta en superficie.

La geomorfología que presenta la veta a lo largo de su longitud comprobada en campo y determinado con los mapas: de sombra y curvas de nivel se comprobó que es una falla con movimiento normal (Foto N 6-14).



Foto 6- 14. Veta Jabalí en el costado N de la Quebrada La Cuatro flecha amarilla indica espesor de la estructura.

6.2.4. Falla N-S Río Sucio.

Esta falla, está definida por una estructura tectónica principal (río Sucio) de dirección N-S y una serie de fracturas secundarias. Geométricamente ésta estructura se caracteriza por presentar una segmentación bien definida, debido a las facturas secundarias presentes en toda la falla determinándose como una falla segmentada vertical de tipo normal, con una componente horizontal izquierdo (Foto N°6-15).

Estructuralmente el río está controlado por tres patrones de fallas y fracturas bien definidas. El primer patrón estructural presenta una dirección preferencial N-S (Foto 6-15). El segundo con una dirección NE-SW y un tercer patrón de dirección E-W.

El cauce del río está compuesto por roca andesita compacta y depósito coluvio-aluvial. Para definir la cinemática de esta falla fueron estudiados varios afloramientos a lo largo del río Sucio. Los principales indicadores cinemáticos corresponden a fracturas paralelas, compuestas y fracturas escalonadas.



Foto 6- 15. Obsérvese en la fotografía la Falla N-S sobre el cual circula el río Sucio, flecha indica el movimiento de la falla principal.

A. Patrón de Falla NE-SW

Este patrón de falla predomina en la parte norte, sur y central del río Sucio presentando una dirección preferencial N30E. El arreglo geométrico se caracteriza por fallas paralelas con una cinemática de tipo lateral izquierdo (Foto N 6-16).



Foto 6- 16. Fracturas paralelas con rumbo NE-SW que cortan el lecho del río Sucio.

B. Patrón de Falla E-W

Se observa principalmente en la parte Sur del río Sucio, con una dirección predominante al N85E buzando al S-E. Este patrón de fallas corta rocas andesítica.

Geoméricamente estas fallas se presentan en forma paralela, su mejor expresión en el río son las estructuras escalonadas (Foto N 6-17) que forman caídas de agua de alturas de 2 m a 8 m aproximadamente en todo el río con un buzamiento hacia el S-E comprobándose en campo como una estructura de componente vertical normal.



Foto 6- 17. Fracturas de dirección E-W formando un sistema escalonado en el río Sucio, las líneas de color negro indican el movimiento de los bloques.

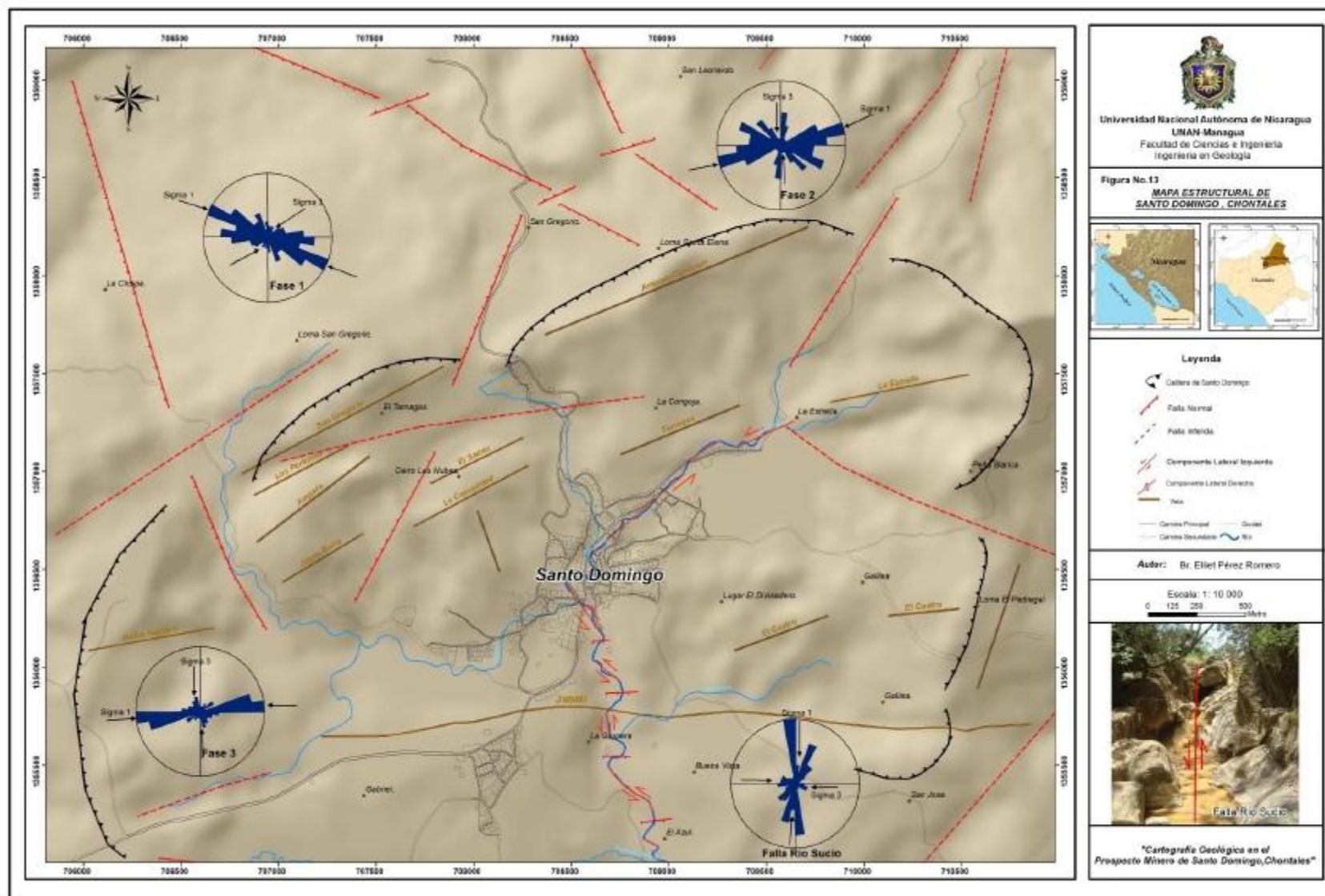


Figura 13. Mapa estructural de Santo Domingo, Chontales.

CONCLUSIONES

Basados en los resultados obtenidos de la Cartografía Geológica en el Prospecto Minero de Santo Domingo, Chontales, el cual, consistió en un levantamiento geológico, geoestructural y geomorfológico con trabajo de campo, análisis de fotografías aéreas y petrografía, se concluye lo siguiente:

1. La zona de estudio está conformada por dos unidades litológicas:
 - **Unidad Andesítica de Santo Domingo.**
 - Sub Unidad Andesita hidrotermalmente Alterada.
 - **Unidad Coluvio-Aluvial.**
2. Las rocas volcánicas son de composición intermedia básica del tipo andesita, sobreyacidas por gruesas capas de suelos producto de alteración hidrotermal. Tanto las andesitas como los suelos alterados hidrotermalmente, están cubiertos por material aluvial en las partes bajas de los ríos y quebradas, y principalmente en la parte baja del río Sucio.
3. En el área de estudio se 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.

4. Geomorfológicamente se lograron definir cuatro unidades:

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

Se logró determinar que el área de estudio de Santo Domingo, corresponde a una zona donde la actividad volcánica del Terciario dejó una antigua caldera denominada en este estudio como la caldera de Santo Domingo. Los bordes de esta caldera están compuestos de roca andesítica compacta depositados como antiguos depósito de lava observable en el campo como flujos y bloques. La estructura ha sido dislocada por las fases de fallamiento: NW-SE y NE-SW, estas fases a la vez han sido cortadas por las fallas de la fase E-W.

RECOMENDACIONES

Para enriquecer el conocimiento geológico del área de estudio se recomienda:

1. Elaborar un estudio vulcanológico detallado, no solo para la estructura volcánica de Santo Domingo, sino de una manera más regional, con el fin de realizar un estudio de evolución de las calderas del área.
2. Efectuar más estudios geoquímicos y petrológicos de las rocas del área para obtener un modelo de la evolución magmática y definir de una manera más detallada la relación de la tectónica con los depósitos minerales explotados en la actualidad.
3. Ampliar los estudios geo estructurales en el área y elaborar estudios con métodos dirigidos a la elaboración de un modelo tectónico del área y fuera del área de manera regional.
4. Realización de prospección magnética terrestre y aérea para definir estructuras volcánicas antiguas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de la Hidrología de la superficie*. Mexico, D.F.: LIMUSA-Grupo Noriega editores.
- Astrand. (1984). *Structural Interpretation of landsat Images Over Tertiary Volcanics in Nicaragua, Centro America*. SGAB Report to SERED/INMINE and FIR.
- B2GOLD., D. M.-D. (2012). *Linea Base Ambiental, Tomo I; Proyecto Santo Domingo*. Santo Domingo, Chontales.
- Belt, T. (2003). *El Naturalista en Nicaragua. Tr. Jaime Incer Barquero. 1a.ed.* Colección Cultural de Centro America. Serie Viajeros N°4.
- Burkart, B & Self, S. (1985). Extension and Rotation of Crustal Blocks in Northern Central America and Effect on the Volcanic Arc. *Department of Geology, University of Texas.*, Page. 22-26.
- Carr, M. (1976). Underthrusting and Quaternary Faulting in Northern Central America. *Geological Society of America. Bulletin*, V 87., 825-829.
- COSUDE, A. S. (2002). *Análisis de Riesgos Naturales y Propuesta del Plan Municipal de Reducción a Desastres*. . Municipio de Santo Domingo, Chontales.
- Darce, M. (1989). *Mineralogical Alteration Patterns, Chemical Mobility and Origin of the La Libertad Gold Deposit, Nicaragua*. Stockholm, Sweden: Department of Geology, University of Stockholm.
- Del Guice, D. (1960). *Análisis del Microscopio Polarizado de Cortes Sutiles de Rocas Provenientes del area de Macuelizo. Nueva Segovia*. Managua.: Servicio Geológico Nacional. Boletín N° 5.
- Del Guice, D. (1960). *Apuntes sobre la Geología de Nueva Segovia*. Managua.: Servicio Geológico Nacional, Boletín N° 4.
- DeMets. (2010). Geologically Current Plate Motions. *The Authors Journal Compilation.*, Page.1–80.
- DeMets, C. (2001). A New Estimate for Present day Cocos-Caribbean Plate motion: Implications for Slip Along the Central American Volcanic Arc. *GEOFYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 0, NO. 0, , PAGES 0-0, M 0.*

- DeMets, C.*; Mattioli, G.; Jansma, P.; Robert D. & et al. (2007). Present motion and deformation of the Caribbean plate: Constraints from new GPS geodetic measurements from Honduras and Nicaragua. *The Geological Society of America, Special Paper 428*, Page 21-36.
- Dengo, G. (1983). *Mid America: Tectonic Setting For The Pacific Margin From Southern Mexico to Northwestern Colombia*. Guatemala City, Guatemala.: Centro de Estudios Geologicos de America Central.
- Ehrenborg, J. (1996). A New Stratigraphy for Tertiary Volcanic Rocks of the Nicaragua Highland. *Geological Society of America Bulletin*, 830-842.
- Ernes K. Lehmann & Associates, I. (1984). *Reporte Final de los Estudios de Exploracion Minera en Nicaragua. Parte A: Tomo 1 de 2*. La Libertad, Chontales: CONDEMINA.
- Frischbutter, A. (2002). Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from Remote Sensing Images. *Geofísica Internacional, Vol. 41, Num. 2.*, pp. 87-102.
- Garayar, J. (1971). *Geología y Depósitos Minerales de una Parte de las Mesas de Esteli, Cordillera Norte y las Montañas de Dipilto*. Managua, Nicaragua.: Catastro N° 10.
- Hodgson, G. (1980, Julio). Mapa Geologico La Libertad. 3152-I. Managua, Nicaragua.
- Hodgson, G. (2001). *Geología Historica de Nicaragua*. Managua, Nicaragua.: No Editado.
- INETER, I. N. (1989). Mapa Topografico La Libertad. *Hoja 3152-I*. Managua., Nicaragua.
- INIDE. (2008). *Santo Domingo en Cifras*. Managua: Instituto Nacional de Información de Desarrollo.
- INIFOM. (n.d.). *Ficha Municipal de Santo Domingo, Chontales*. Retrieved April 14, 2013, from www.inifom.gob.ni/municipios/.../CHONTALES/sto_domingo.pdf
- Kuang, J. (1971). *Geología de la Costa del Pacifico de Nicaragua*. Managua.: Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Open File Report N° 3.
- Lilljequist, Andersson & Astrand. (1984). Structural Interpretation of Landsat Images Over Tertiary Volcanics in Nicaragua. *SGAB report to SAREC/ INMINE and FIR*.
- Lugo, J. (1988). *Elementos de Geomorfología aplicada (Metodos Cartograficos)*. UNAN-Mexico: Instituto de Geografía.

- Lugo, J. (1989). *Diccionario Gemorfológico*. UNAM- Mexico: Instituto de Geografía.
- Lugo, J. (2002). *La Superficie de la Tierra I, Un vistazo al un mundo cambiante*. FCE, Mexico: La ciencia para todos n,54.
- Lugo, J. (2004). *El Relieve de la Tierra y otra Sorpresas* . Mexico: La ciencia para todos n.201. FCE.
- MARENA. (1998). *Proyecto Prevencion de la Contaminacion Industrial. Diagnostico Situacional y Ambiental de la Pequeña Minería en Nicaragua*. . Managua.: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Programa Ambiental Nicaragua- Finlandia.
- McBirney, A & Williams, H. (1965). *Volcanic History of Nicaragua*. Bekeley and Los Angeles: Unifesty of California Publications in Geological Sciences. Volumen 55.
- Mills, R.A. & Hugh, K.E. (1974). *Reconnaissance Geological Map of Mosquitia Region, Honduras and Nicaragua Caribbean Coast*. America.: Assoc.Petrol.Geol.Bull. N° 58.
- NASA. (n.d.). *Shuttle Radar Topography Mission*. Retrieved Marzo 12, 2013, from Jet Propulsion Laboratory: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spotlight_sp.htm
- Parsons Corporation in Jint Venture with Mashall & Stevens Incorporated. (1972). *The Geology of Western Nicaragua*. Managua: Operations Consultant.
- Paz Rivera, N. (1964). Reconocimiento Geologico de la Costa del Pacifico de Nicaragua. In M. d. Economia., *Boletin del Servicio Geologico Nacional N° 8* (pp. 71-83). Managua, Nicaragua.
- Rodriguez, D. (1994). *Geology and Geochemistry of Igneous Rocks. Associated with Mineral Deposits in Northeastern, Nicaragua*. Suede: Lulea University of Technology.
- Rodriguez, D. (Durante el periodo 1981-1991). Depósitos Minerales y Provincias Mealogeneticas en Nicaragua: Reseña y Clasificacion. *Investigacion Geocientifica en Nicaragua. Proyecto Conjunto Suecia Nicaragua.*, 187-197.
- Sánchez, M. (2004). *Estudio Geologico de la parte Norte Sub Cuenca del Rio Sucio, Santo Domingo, Chontales*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional autonoma

de Nicaragua. UNAN-Managua/ Centro de Investigaciones Geocientíficas (CIGEO/UNAN- Managua) .

Sibson, R. (1990). *Faulting and fluid flow, in Nesbitt, B.E., ed., Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust.* Mineralogical Association of Canada, p. 93-132.

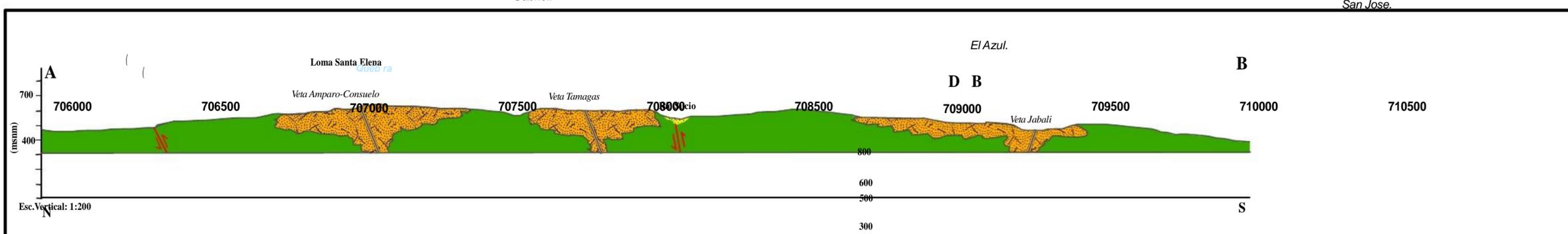
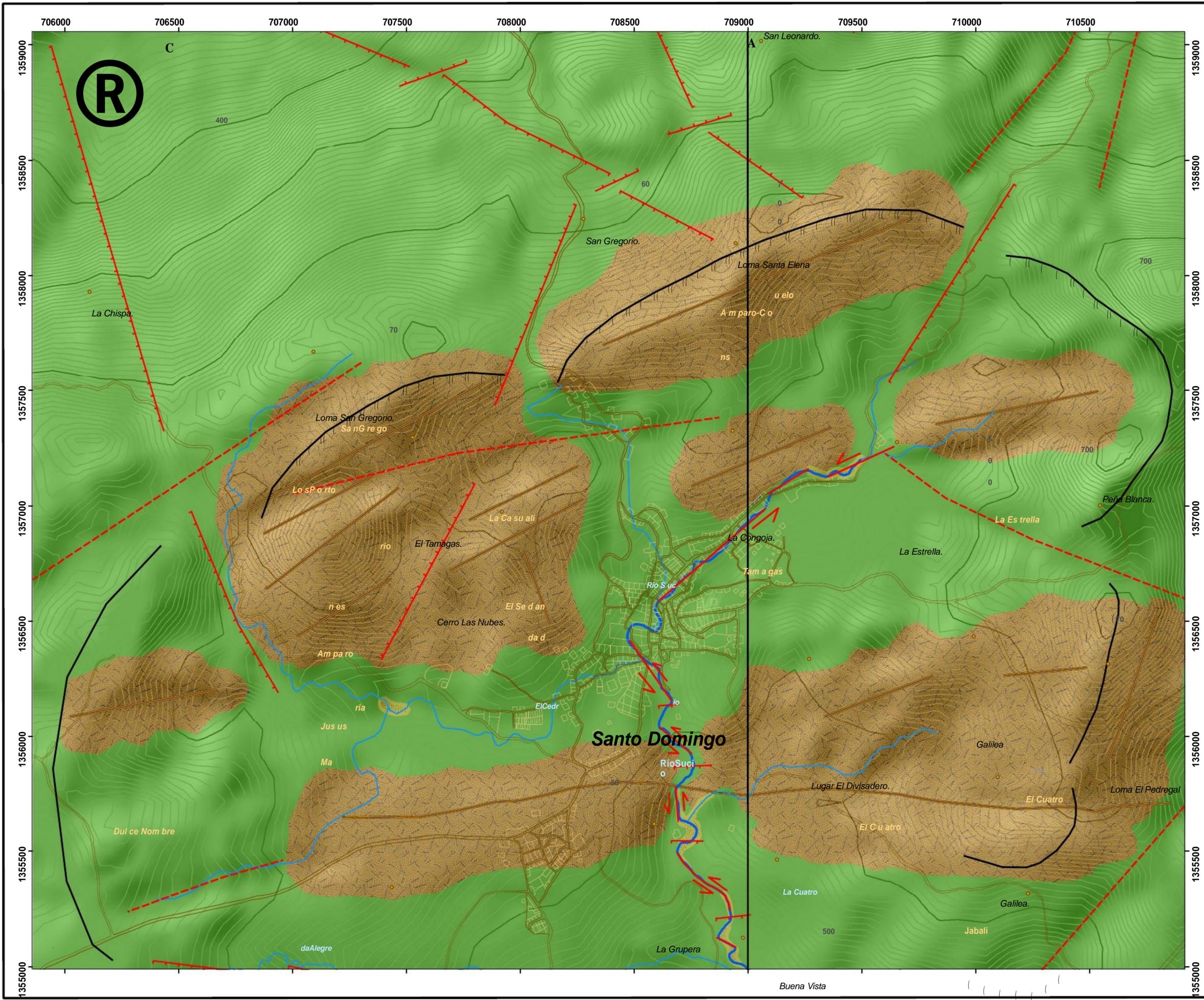
USGS, Federal Geographic Data Committee. (August 2006). *FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization.* Geological Survey for the Federal Geographic Data Committee.

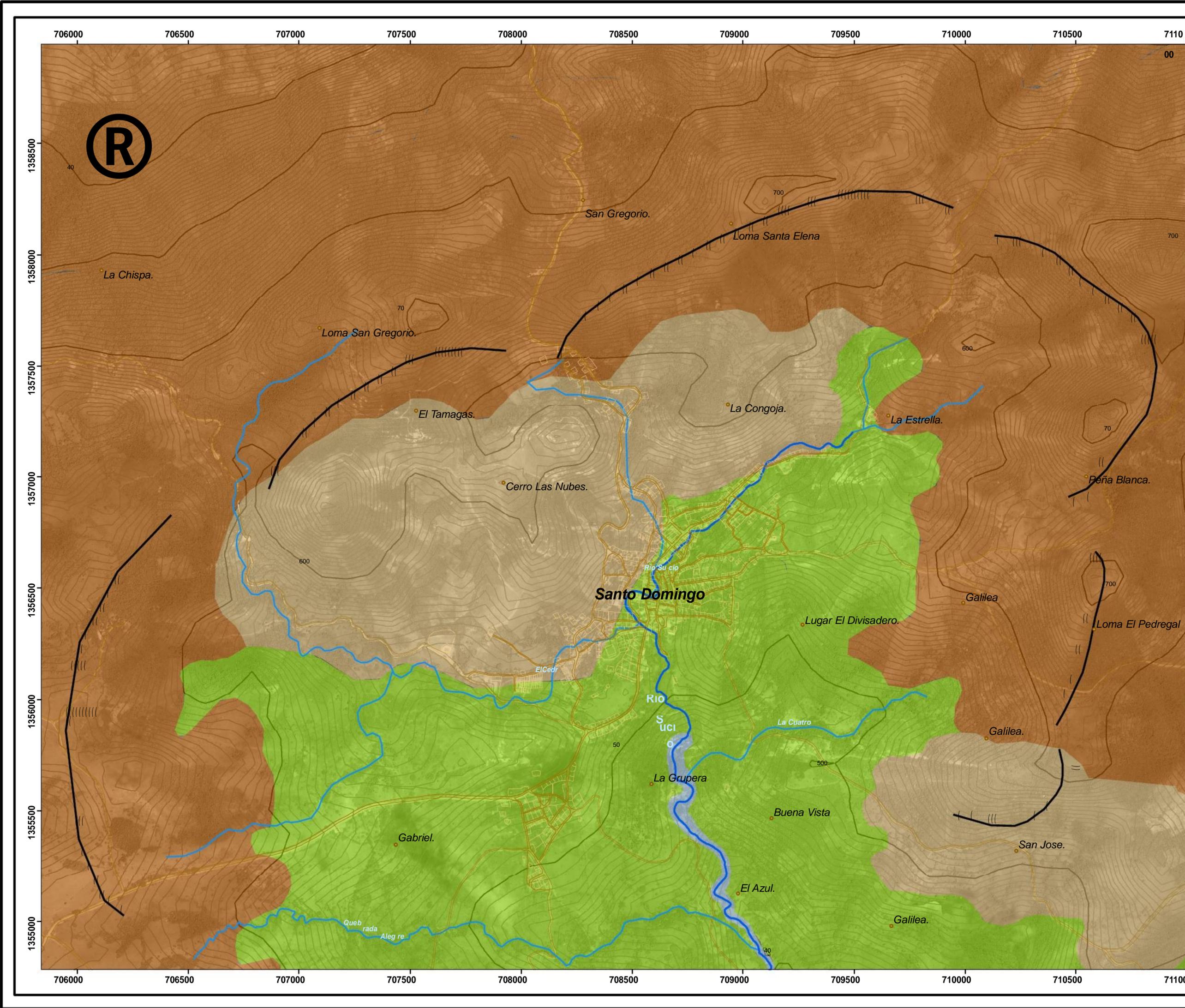
Weinberg, R. (1992). Neotectonic Development of Western Nicaragua. *Tectonics, Vol. 11.,* 1010-1017.

Zoidan Van, Robert, A.ITC. (1986). *Aerial Photointerpretation in terrains analysis and geomorphologic mapping.*

Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D. (1958). Geología de la Costa del Pacífico de Nicaragua. In M. d. Economía., *Boletín del Servicio Geológico Nacional de Nicaragua.* (pp. 68-75). Managua, Nicaragua.

ANEXOS





706000

706500

707000

707500

708000

708500

709000

709500

710000

710500

711000

1358500

1358000

1357500

1357000

1356500

1356000

1355500

1355000

706000

706500

707000

707500

708000

708500

709000

709500

710000

710500

711000

R

La Chispa.

Loma San Gregorio.

El Tamagas.

Cerro Las Nubes.

Santo Domingo

RIO
S
U
C
I
O

La Gruperá

Gabriel.

Quebrada Alegre

San Gregorio.

Loma Santa Elena

La Congoja.

La Estrella.

Peña Blanca.

Galilea

Loma El Pedregal

Galilea.

Lugar El Divisadero.

La Cuatro

Buena Vista

El Azul.

San Jose.

Galilea.

40

500

50

600

70

700

700

70

700

00

