



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

**Recinto Universitario Rubén Darío**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**

**Departamento de Tecnología**

**Monografía para optar al título de Ingeniero Geólogo.**

**“Geología Estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su  
Influencia en la Dirección del Flujo Subterráneo”**

**Autor:**

Br. María Alejandra Amaya López.

**Tutor:**

MSc. Francisco Javier Espinoza Martínez.

**Asesora:**

MSc. Yelba Del Carmen Flores Meza.

---

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios y la Virgen María, ya que sin ellos no habría logrado llegar a esta etapa de mi vida.

A toda mi familia, mis Primos, Tías, Abuela y especialmente a mi Mamá Lissette quien me formo en la vida y mi Tía Carla por su apoyo.

A mi Abuelo Joaquín Amaya (q. e. p. d.) cuyas enseñanzas ayudaron a superarme en mis metas y ha sido un ejemplo de modelo a seguir.

A todos aquellos que me apoyaron y ayudaron a escribir y concluir con este trabajo.

Y a todos los lectores quienes espero se enriquezcan un poco más en su conocimiento, sea de ayuda para sus estudios y pueda aportar en la solución de sus problemas.

## Agradecimientos

Agradezco inicialmente a Dios por sobre todas las cosas quien fue y sigue siendo mi guía en el camino, por ayudarme en los obstáculos que se presentaron en el transcurso de mi vida, y a la Virgen María de Guadalupe que siempre intercedió en mis oraciones para culminar con mi monografía.

A cada uno de los miembros de mi familia por todo el apoyo que me brindaron en los momentos difíciles que tuve. A mi Mamá Lissette por haberme dado la oportunidad de seguir adelante con mis estudios, por todo el amor y cariño que me brindo y por nunca dejarme sola en el transcurso de mi vida; A mi Tía Carla ya que sin ella no existiría y por darme su apoyo, amor y cariño para poder seguir adelante. A mi abuela Eva López, mi Tía Martha, mi Tía Thelma y a todos mis primos por darme su compañía y apoyo siempre.

Al Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) por haberme brindado la oportunidad de realizar mi trabajo con ellos en el proyecto “Evaluación del Riesgo y Medidas de Adaptación al Cambio Climático para la Recuperación del Recurso hídrico en la parte alta del Río Coco. Nicaragua-Honduras”, por apoyarme con los gastos, estudios y procesamientos para la realización de este documento, y a sus docentes y trabajadores quienes me apoyaron en lo que necesité y por brindarme su ayuda: Selvia Flores, Luis Moreno, Silvia Fuentes y Valeria Delgado. Especialmente al Laboratorio de Hidrogeología por brindarme las herramientas necesarias.

A mis mejores amigos y amigas: Jael, Yohana, Lesbia, Isaac, Pedro y José David quienes me ayudaron y apoyaron en el transcurso de mi etapa escolar y universitaria. Y mi mejor amiga la Arquitecta Stephanie Ingram que me dio su apoyo incondicional en el transcurso de la universidad y me ayudo en el desarrollo de mi documento.

A todos mis Maestros quienes no solo me dieron clases, sino que también me enseñaron valores morales y de crecimiento para ser una mejor persona. A

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

mis Maestros de secundaria ya que sin ellos no habría tenido el conocimiento básico para superar la universidad. A mis Maestros universitarios quienes me enseñaron lo que es ser un profesional de verdad y me ayudaron a culminar con esta etapa de mi vida.

A la Ingeniera Geóloga Bianka Castillo quien me ayudo en el desarrollo de mi documento, y me aconsejo en mis dudas. Al Ingeniero Javier Barberena, por apoyarme en la etapa de campo y con los equipos. Y al Maestro Jorge Guatemala por los consejos y enseñanzas que me brindo.

A mi tutor **Maestro Francisco Espinoza** por sus valiosas correcciones, consejos para el desarrollo de mi monografía y por haberme ayudado a realizar y culminar este mismo.

A mí asesora **Maestra Yelba Flores** por haberme dado la oportunidad de trabajar mi documento bajo su guía, por las enseñanzas que me brindo, el tiempo que me dedico en las diferentes etapas de la realización del documento y por sus valiosas correcciones que me ayudaron para finalizar esta investigación.

A los Maestros Dionisio Rodríguez y Marvin Valle, que me apoyaron en la etapa preliminar de mi estudio con los equipos que precisé.

Al instituto de geología y geofísica IGG-CIGEO, a su Dirección por ayudarme brindándome información para mis investigaciones: Claudio Romero y Edwin Obando; a las Ingenieras Mayela Martínez y Greicy Aldana por el apoyo en la realización de las secciones delgadas. Y a todos los docentes y trabajadores que me apoyaron en lo que necesité.

Y a todas y cada una de las personas que directa o indirectamente me apoyaron y ayudaron en la realización de este documento.

## Resumen

El tema de investigación, derivado del Proyecto del CIRA “Evaluación del Riesgo y Medidas de Adaptación al Cambio Climático, para la Recuperación del Recurso Hídrico en la Parta Alta del Rio Coco. Nicaragua-Honduras”, fue elaborado en la Microcuenca del Río Pire. El área está ubicada en el Municipio de Condega del Departamento de Estelí, y comprendida entre las Hojas Topográficas de Condega, La Sirena y San Juan de Limay, dentro de la parte alta de la Cuenca del Río Coco de Nicaragua.

Situada dentro de la Provincia Geológica Central, está compuesta por rocas volcánicas extrusivas pertenecientes a la actividad volcánica Terciaria. Litológicamente constituida por andesita glomeroporfídica, andesita-dacita, andesita porfídica, basalto-andesítico e ignimbrita dacítica, estas son rocas pertenecientes a los grupos: Matagalpa, Coyol Inferior y Coyol Superior. Además de pequeñas áreas compuestas de material coluvial y aluvial que pertenecen al cuaternario reciente.

Los esfuerzos tensionales producidos por la subducción de la placa Cocos por debajo de la placa Caribe afectaron a la zona de la Microcuenca creando estructuras que deformaron al cuerpo rocoso, donde se define la sucesión de eventos tectónicos caracterizando dos principales fases de fallamiento que son NW-SE y NE-SW. Estas fueron activas por movimientos normales yuxtapuestos con una componente lateral derecha, y muestran una clara dinámica con rotación en el sentido de las manecillas del reloj.

Hidrogeológicamente las aguas subterráneas en el área se encuentran relativamente someras con un valor máximo medido de 24.32 metros, las cuales se mueven principalmente a través del sistema de fallas presentes en el sitio debido a la predominancia de macizos rocosos fracturados. Del mismo modo el drenaje de las aguas superficiales, correspondiente a los ríos, están ligadas al ambiente estructural presente.

## Índice

Dedicatoria .....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iv
Capítulo I.....	1
1.1.    Introducción .....	1
1.1.1.  Localización y acceso .....	2
1.2.    Planteamiento del problema.....	4
1.3.    Justificación .....	5
1.4.    Objetivos.....	6
Capítulo II.....	7
2.1.    Antecedentes .....	7
2.2.    Marco Teórico.....	9
2.2.1.  Geología Estructural. ....	9
2.2.1.1.  Esfuerzo y deformación. ....	9
2.2.1.2.  Fallas y Fracturas. ....	10
2.2.2.  Geología general. ....	15
2.2.2.1.  Textura. ....	16
2.2.2.2.  Composición.....	16
2.2.3.  Hidrología. ....	17
2.2.3.1.  Cuenca.....	18
2.2.4.  Hidrogeología. ....	20
2.2.4.1.  Agua subterránea. ....	20
2.2.4.2.  Formaciones geológicas como acuíferos.....	23

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

2.2.4.3. Dirección del flujo subterráneo.....	25
2.2.4.4. Piezometría. ....	26
2.3. Hipótesis .....	27
Capítulo III.....	27
3.1. Diseño Metodológico.....	27
3.1.1. Tipo de estudio. ....	27
3.2. Método de recolección de datos. ....	28
3.2.1. Recopilación y análisis de información.....	28
3.2.2. Trabajo de campo. ....	30
3.2.3. Trabajo de gabinete. ....	31
Capítulo IV. Marco Tectónico y Geológico de Nicaragua.....	34
4.1. Tectónica Regional .....	34
4.2. Geología Regional .....	36
Capítulo V .....	39
5.1. Análisis y discusión de resultados.....	39
5.1.1. Geología Local.....	39
5.1.1.1. Unidad Andesita glomeroporfídica. ....	40
5.1.1.2. Unidad Andesita-dacita.....	44
5.1.1.3. Unidad Andesita porfirítica. ....	48
5.1.1.4. Unidad Basalto andesítico. ....	52
5.1.1.5. Unidad Ignimbrita dacítica. ....	58
5.1.1.6. Unidad Coluvial. ....	61
5.1.1.7. Unidad Aluvial.....	61
5.1.2. Geología Estructural .....	62
5.1.2.1. Caracterización Morfo-Estructural.....	64

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

5.1.2.2. Fases de Fallamiento.....	68
5.1.3. Hidrología .....	86
5.1.4. Hidrogeología .....	93
5.1.5. Transmisividad.....	97
5.1.6. Discusión .....	98
Capítulo VI .....	100
6.1. Conclusiones .....	100
6.2. Recomendaciones .....	101
6.3. Bibliografía.....	102
6.4. Anexos.....	106

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Características de Tipos de Fallas.....	13
Tabla 2. Clasificación de las Rocas Ígneas en base a su composición y origen.....	17

**Lista de Figuras**

Figura 1. Ubicación de la microcuenca en Estelí.....	3
Figura 2. Gráfico de Rumbo y Buzamiento. Medición con brújula .....	11
Figura 3. Geometría de fracturas. ....	11
Figura 4. Estructuras en las terminaciones de las fracturas. ....	12
Figura 5. Tipos de fallas según esfuerzos. ....	13
Figura 6. Fallas normales simétrica. Fallas normales asimétrica. ....	14
Figura 7. Arreglos de Fallas y Fracturas.....	14

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su  
influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Figura 8. Clasificación de las Rocas Ígneas. ....	15
Figura 9. Tipos de cuencas desde el punto de vista de su salida. ....	18
Figura 10. Orden de corrientes.....	19
Figura 11. Gráfico Hidrogeológico .....	22
Figura 12. Tipos de capas acuíferas .....	24
Figura 13. Líneas de flujo.....	25
Figura 14. Mapa Tectónico de América Central. ....	34
Figura 15. Provincias Geológicas de Nicaragua. ....	36
Figura 16. Puntos de estudio.....	63
Figura 17. Roseta de fractura Microcuenca Río Pire.....	69
Figura 18. Roseta de fracturas de la Falla La Montañuela. ....	78
Figura 19. Mapa Cuenca Hidrográfica del Río Coco – Ubicación de la Microcuenca Río Pire.....	86
Figura 20. Ríos intermitentes y permanentes del Río Pire.....	88
Figura 21. Orden de ríos del Río Pire.....	89
Figura 22. Red de drenaje del Río Pire. ....	91
Figura 23. Flujo subterráneo del Río Pire. ....	94

**Lista de Fotos**

Foto 1. Arreglos geométricos en campo. ....	12
Foto 2. Afloramientos de andesita glomeroporfídica. ....	41
Foto 3. Muestra de mano andesita glomeroporfídica.....	42
Foto 4. Andesita glomeroporfídica. ....	43
Foto 5. Afloramiento de andesita-dacita .....	44

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Foto 6. Diaclasas rellenas	45
Foto 7. Muestra de mano andesita- dacita	46
Foto 8. Andesita-dacita	47
Foto 9. Andesita porfirítica estratificada	48
Foto 10. Corte de andesita meteorizada	49
Foto 11. Muestra de mano andesita porfirítica	50
Foto 12. Andesita porfirítica	51
Foto 13. Colores del basalto andesítico en el terreno	52
Foto 14. Muestra de mano basalto andesítico	54
Foto 15. Muestra 1: Basalto andesítico	55
Foto 16. Muestra 2: Basalto andesítico	57
Foto 17. Corte de Ignimbrita dacítica	58
Foto 18. Muestra de mano Ignimbrita dacítica	59
Foto 19. Ignimbrita dacítica	60
Foto 20. Sedimentos coluviales	61
Foto 21. Corte de Andesita-dacita en Falla San Pedro	70
Foto 22. Afloramiento de Basalto andesítico en Falla San Pedro	71
Foto 23. Corte de roca en segmento Norte de Falla Santa Teresa	72
Foto 24. Afloramiento de Basalto andesítico en segmento Sur de Falla Santa Teresa	73
Foto 25. Corte de Basalto andesítico en segmento Sur de Falla Santa Teresa	74
Foto 26. Corte de andesita porfirítica en Falla La Hondura Azul	75
Foto 27. Afloramiento de Basalto andesítico en Falla La Hondura Azul	76
Foto 28. Corte de Andesita-dacita en Falla Santa Lucía	79

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Foto 29. Cortes de Andesita-dacita en Falla Santa Lucía. ....	80
Foto 30. Corte de Andesita glomeroporfídica en Falla Santa Lucía. ....	81
Foto 31. Cortes y afloramiento del segmento Oeste en Falla San José de Pire. ....	82
Foto 32. Afloramiento de Andesita porfirítica del segmento Oeste en Falla San José de Pire. ....	83
Foto 33. Afloramiento y corte de Basalto andesítico en Falla La Labranza. ....	85
Foto 34. Afloramiento de Basalto andesítico en Falla La Labranza. ....	85
Foto 35. Roca con fracturas estratificadas. ....	96
Foto 36. Manantiales. ....	96

**Anexo**

Anexo 1. Tabla de Indicadores cinemáticos. ....	106
Anexo 2. Tabla de Inventario de fuentes de agua. ....	107
Anexo 3. Tabla de Clasificación de la magnitud de la transmisividad (Krásný 1993) ....	109
Anexo 4. Mapa Topográfico. ....	110
Anexo 5. Mapa Altimétrico. ....	111
Anexo 6. Mapa de Pendientes. ....	112
Anexo 7. Mapa de Modelo de Sombra. ....	113
Anexo 8. Mapa Estructural. ....	114
Anexo 9. Mapa Geológico. ....	115
Anexo 10. Mapa Hidrogeológico. ....	116

## Capítulo I

### 1.1. Introducción

El presente estudio realizado en la microcuenca del Río Pire del Municipio de Condega del Departamento de Estelí, consiste en la actualización geológica estructural de las fallas y fracturas que están afectando el área, la definición de las unidades geológicas que la componen y la dirección que poseen las aguas subterráneas en el sitio. La microcuenca abarca un área de 106.3Km<sup>2</sup>.

Diferentes autores han realizado estudios de fisiografía, hidrología y geología a manera regional en el Municipio de Condega, destacándose: Hodgson, Williams, Garayar y Zoppis (1971); Angélica Calderón, Melvin Díaz y Jorge Cisneros (2001); Bayardo Gámez y Filiberto Cruz (2004); y por último INIFOM (2013), de los cuales el de mayor importancia corresponde al de Hodgson y demás autores que presentan resultados geológicos y estructurales en mapas del año 1971.

Este sitio no tiene información actualizada en el ámbito de la geología estructural, dando la problemática de no poder interpretar la dinámica que estas estructuras generaron. Es de importancia relacionarlo a la litología presente para ver el comportamiento de estas, de igual manera se considera importante la relación que hay con las aguas subterráneas debido al ambiente geológico predominante; puesto que el Municipio se ha visto afectado por los fenómenos que estos producen.

Por tanto a través de mediciones, análisis e interpretaciones de criterios de cizallas e indicadores cinemáticos, se definieron los esfuerzos que provocaron la deformación y ruptura de los cuerpos rocosos desde el Terciario; se delimitaron las unidades litológicas a través de la interpretación de secciones delgadas; y las mediciones de los pozos y manantiales permitieron concretar la dirección que poseen las aguas subterráneas.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

### 1.1.1. Localización y acceso

El Río Pire está ubicado en el Municipio de Condega, Departamento de Estelí (Figura 1), la microcuenca del Río Pire se encuentra entre las coordenadas UTM: 1477576-1462938 N y 552968-566150 E, con un área aproximada de 106.3Km<sup>2</sup>. Encontrándose entre las hojas topográficas: Condega (2956-III), La Sirena (2955-IV) y San Juan De Limay (2855-I).

Condega limita: al Norte con el Municipio de Palacagüina y Telpaneca (Departamento de Madriz); al Sur con el Municipio de Estelí; al Este con el Municipio de San Sebastián de Yalí (Departamento de Jinotega); Y al Oeste con el Municipio de San Juan de Limay y Pueblo Nuevo.

Condega se encuentra a 37 kilómetros al Norte de la ciudad de Estelí y a 185 kilómetros de Managua. Está situada sobre la Carretera Panamericana. Hay conexión de buses desde Estelí. Viniendo de Managua, hay buses directos a Condega desde la Terminal del Mercado El Mayoreo, también se pueden tomar los buses que salen desde esa misma terminal hacia Ocotol o Somoto, pues pasan por la cabecera de este municipio.

# Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

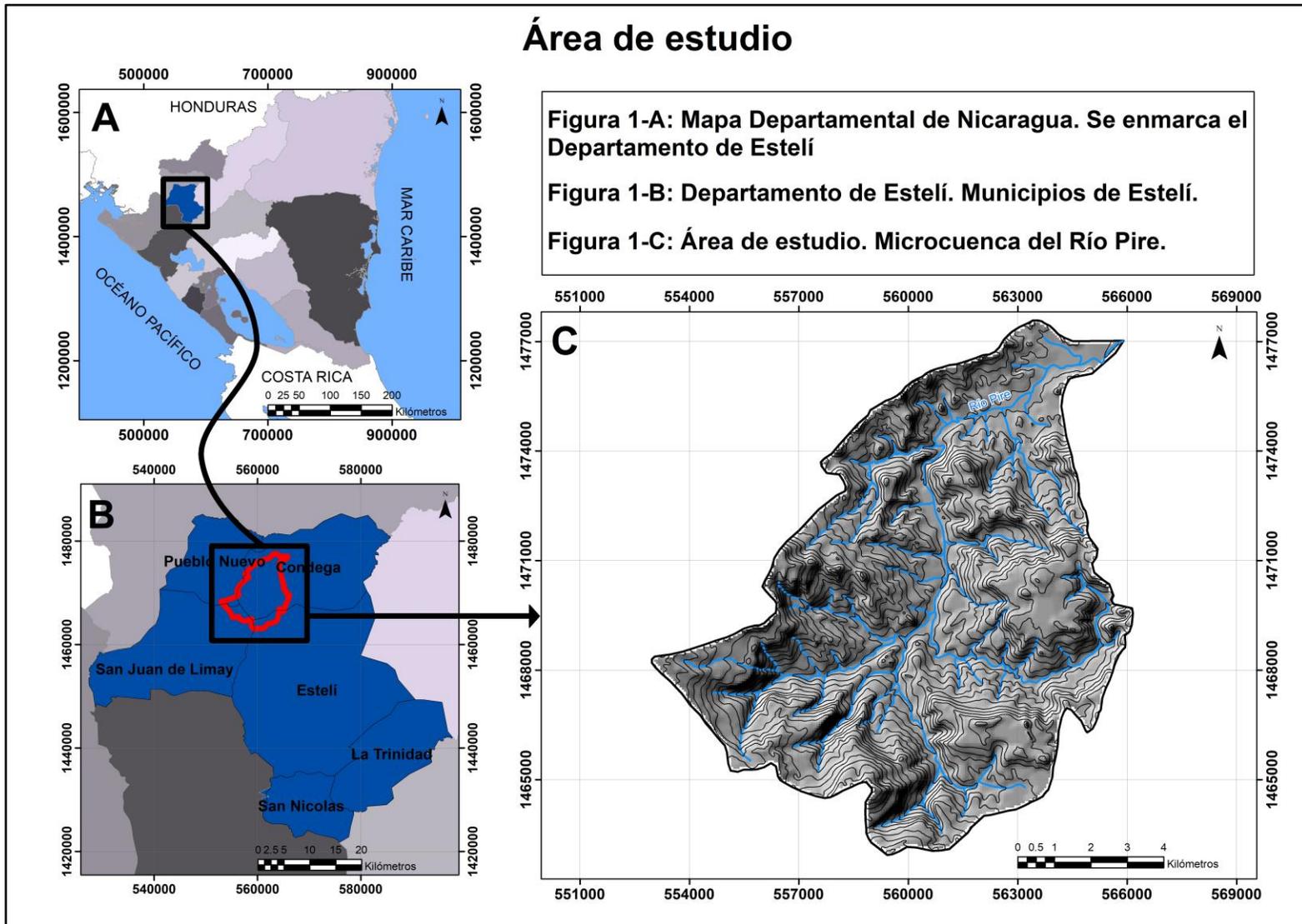


Figura 1. Ubicación de la microcuenca en Estelí.

## 1.2. Planteamiento del problema

El área de estudio posee muy poca información geológica. Los estudios que se encuentran relacionados al sitio corresponden al Municipio de Condega, de los cuales Bayardo Gámez y Filiberto Cruz (2004) describen la fisiografía en Condega, y el escurrimiento presente en la microcuenca del río Pire; de igual forma INIFOM (2013) da un valor numérico al volumen de agua escurrido en la microcuenca del río Pire; Y Angélica Calderón, Melvin Díaz y Jorge Cisneros (2001) describen estructuras tectónicas, representadas por fallas y diaclasas, para Condega.

Los mapas geológicos existentes son de 1971, hechos por Hodgson, Williams, Garayar y Zoppis, en ellos se ve la formación geológica del sitio y las fallas que los afectan.

Esta información geológica del sitio no se encuentra actualizada, además no hay información relacionada a la dirección de flujo subterráneo asociado a las fallas y fracturas presentes en la microcuenca del Río Pire. Actualmente se han presentado problemas por inundación en Condega y al mismo tiempo la accesibilidad al agua en algunas comunidades, al sur de la microcuenca, ha presentado problemática.

### 1.3. Justificación

La finalidad del estudio radica en conocer el estado geológico estructural actual del área. En esta zona es escasa la información geológica, por tanto este estudio brindará mayor información sobre las condiciones estructurales (fallamiento y fracturas) e hidrogeológicas (flujo subterráneo) presente en la microcuenca del Río Pire, y brindará mapas de fallas/fracturas y el flujo subterráneo, que se encuentran actuando actualmente en el área.

Por lo que el presente trabajo representaría un gran aporte tanto para el área de estudios geológicos realizados en el sitio, como para las autoridades municipales que se pueden beneficiar de la interpretación de los resultados obtenidos en el documento.

Sirve de ayuda en la interpretación de futuras amenazas de inundaciones, deslizamientos, procesos de erosión, que puedan presentarse, además de que podrá ser utilizado como un aporte más de referencia para estudios futuros, de interés geológico e hidrogeológico, que se deseen realizar en el sitio.

De igual manera podrá ser de ayuda para las autoridades municipales en la toma de decisiones para la prevención y/o capacitación de los habitantes de las comunidades sujetas a la afectación de dichos fenómenos.

#### 1.4. Objetivos

General:

“Caracterizar la geología estructural en la Microcuenca del Río Pire - Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo”.

Específicos:

- ✓ Identificar las diferentes estructuras geológicas que se encuentren en la Microcuenca.
- ✓ Describir la litología que predomina en el área de estudio.
- ✓ Determinar la dirección del flujo de agua subterránea tomando en cuenta la litología y estructuras presentes.
- ✓ Elaborar la correlación hidrológica, hidrogeológica y estructural.

## Capítulo II

### 2.1. Antecedentes

En Nicaragua se han realizado diversos estudios sobre las cuencas hidrográficas, tomando en cuenta geología, aspectos estructurales e hidrología, a lo largo de todo el territorio. A continuación, una breve descripción de algunos de ellos, conteniendo a su vez los propósitos del estudio.

**Calderón, Díaz F., & Cisneros O. (2001)** en el informe “Análisis de riesgos naturales y propuesta de plan municipal de reducción de desastres” muestran los siguientes resultados para el Municipio de Condega: En el área existen estructuras tectónicas representadas por fallas y diaclasas, inferidas por fotointerpretación, evidenciadas por la topografía, geomorfología y desplazamiento de las rocas.

Las fallas observadas en el Municipio presentan alineaciones rectilíneas, tienen una dirección predominante NE – SW que afectan principalmente al Grupo Coyol y NW – SE que están afectando al Grupo Matagalpa.

**Informe del Estado Ambiental en Nicaragua – Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (IEA – MARENA, 2001)** expresa cómo están distribuidas las precipitaciones en Nicaragua, las aguas superficiales, lagos y lagunas, aguas subterráneas, tipos de usos que se le dan al agua, la degradación de cuencas, contaminación del recurso, la falta de información que hay para el manejo y almacenamiento de este; y el planteamiento de protección de acuíferos.

**Gámez Montenegro & Cruz Cruz (2004)** en su libro: “Registro arqueológico de los petroglifos de la cuenca del río Estelí”, exponen que el relieve del municipio de Condega presenta pendientes fisiográficas de escarpadas a extremadamente escarpadas con presencia de mesas y pequeñas planicies intercratéricas, el relieve es muy accidentado, con diferencias marcadas en altitud y diversidad de sistemas terrestres. Expone el área que cubren los grupos

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

geológicos: Matagalpa, Coyol Superior, Coyol Inferior y Cuaternario, en las diferentes comunidades de Condega.

También menciona las características de los recursos hídricos de las microcuencas de los Ríos Pire y Jocote, estos muestran precipitaciones que se escurren rápidamente en la superficie, y que la mayor parte del agua se pierde por escorrentía, causando procesos erosivos fuertes en los suelos y una baja infiltración que alimente el manto acuífero.

**Red interamericana de academias de ciencias – Foro consultivo científico y tecnológico, AC (2012)** en el Diagnóstico del agua en las Américas, habla de la hidrología de Nicaragua, la abundancia, escasez y los tipos de usos que se le dan a los recursos hídricos, además de la contaminación y el impacto ambiental que presentan, mostrando datos y gráficos que respaldan cada uno de los puntos mencionados. Aborda la distribución del agua, la relación con el cambio climático y el impacto de obras antrópicas realizadas con el recurso agua.

**Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM, 2013):** En la Ficha Municipal de Condega menciona que los volúmenes de agua escurridos para las microcuencas de los ríos Pire y Jocote son 2,792,926 m<sup>3</sup>/año y 3,484,674 m<sup>3</sup>/año respectivamente. Estas microcuencas tienen una red hidrográfica densa, que les permite evacuar grandes volúmenes de agua de lluvia, sin embargo, la mayor cantidad de agua se pierde por escurrimiento superficial debido al mal manejo de los recursos, como consecuencia, muchos afluentes importantes de estos ríos solamente transportan agua en época de invierno.

En análisis de hidrogramas demuestran que los máximos gastos originados por las precipitaciones de 1mm de lluvia, se escurren superficialmente de forma rápida (7 horas 43 minutos para el Río Pire y 13 horas 23 minutos para el Río El Jocote) lo que obedece a las condiciones físicas del terreno de las microcuencas.

En estos estudios se puede apreciar que el área está íntimamente afectada por fallamiento evidenciado por el relieve escarpado presente, el cual está

afectando el comportamiento de las aguas superficiales, y junto con la litología también se presume una influencia en las aguas subterráneas.

## 2.2. Marco Teórico

El presente documento expone la correlación encontrada entre las fallas y fracturas de la microcuenca del Río Pire y la dirección del flujo subterráneo, para esto será necesario una introducción sobre los conceptos y parámetros que serán utilizados, con el fin de llegar al objetivo planteado.

### 2.2.1. Geología Estructural.

La geología estructural es una rama de la geología, que se encarga del estudio de los procesos de deformación de los cuerpos rocosos. Se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas. (García Rodríguez, 2012)

#### 2.2.1.1. Esfuerzo y deformación.

Las rocas tienen tres tipos de comportamientos ante los esfuerzos:

- ✓ Elástica: cuando se aplica esfuerzo se deforma, pero recupera su originalidad.
- ✓ Plástica: no recupera su posición original.
- ✓ Visco elástica: recupera su originalidad con el tiempo.

Las rocas presentes en la Microcuenca son mayormente de tipo volcánica extrusiva, estas tienden a estar expuestas a diferentes esfuerzos de tipo extensional o de compresión que provocan que sean fracturadas, por lo que se clasifican como rocas plásticas, ya que se rompen y no recuperan su estado natural.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Las rocas al ser expuestas a cualquier tipo de esfuerzo pueden ser rotadas o trasladadas, provocando que estas cambien de tamaño, forma y sean deformadas o distorsionadas. Estas deformaciones dependen de la composición química de la roca, temperatura y las presiones que confinen a la roca.

Existen dos tipos de deformación:

- ✓ Deformación dúctil: cuando se aplica esfuerzo a un cuerpo y no se rompe, solo se acumula el esfuerzo, no hay pérdida de cohesión.
- ✓ Deformación frágil: cuando se aplica esfuerzo a un cuerpo y este se deforma y se fractura. Hay pérdida de cohesión. Existen diferentes tipos de fracturas en la deformación frágil:
  1. Fracturas sistemáticas: son paralelas entre sí.
  2. Fracturas no sistemáticas: no son paralelas entre sí.
  3. Junta maestra: es la fractura principal del conjunto.
  4. Familia de junta: son un grupo de junta sistemática que aparecen en una región.

### 2.2.1.2. Fallas y Fracturas.

Fractura: Una fractura tectónica también llamada litoclasa, es una grieta del terreno producida por fuerzas tectónicas. Muchas fracturas se deben a que el terreno carece de la necesaria flexibilidad para plegarse al ser sometido a empujes laterales. En las fracturas simples o diaclasas, los dos bordes conservan, uno frente a otro, sus posiciones respectivas. (Ramírez, 2011)

Características de una Fractura:

Las fracturas, al igual que cualquier otro tipo de estructura geológica, poseen una orientación, la cual es medida (Figura 2) a través de los siguientes dos parámetros:

- ✓ Dirección: ángulo que forma una línea horizontal contenida en el plano de la diaclasa con el eje norte - sur.
- ✓ Buzamiento: ángulo formado por la diaclasa y un plano horizontal imaginario.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

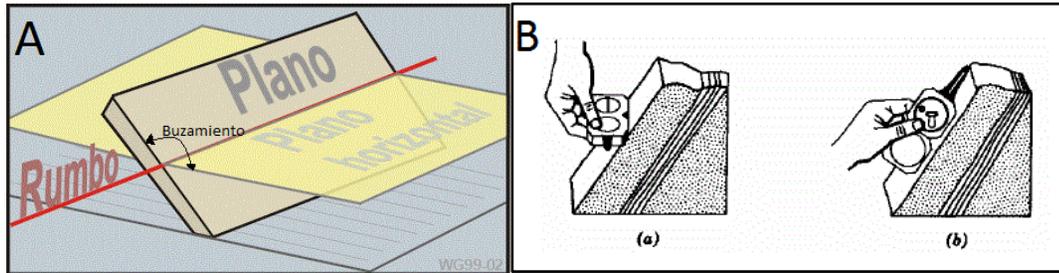


Figura 2. A) Gráfico de Rumbo y Buzamiento.

Fuente: <http://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/Imagenes/Rumbo003-gr.gif>

B) Medición con brújula

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos57/estereografica-mineria/Image16183.gif>

Las fracturas no tienen por qué ser en general planas, ni responder a ninguna geométrica regular, así que los parámetros indicados pueden variar de un punto a otro.

La formación de las fracturas obedece a muy diversas causas, incluyendo fuerzas dirigidas como las que provocan el fallamiento o plegamiento del terreno (Mattauer, 1973). Una de las causas más frecuentes de fracturamiento es la disminución del volumen del material (aumento de la densidad), que a su vez se puede producir por distintos motivos: Deshidratación, enfriamiento, recristalización y descompresión.

Las fracturas pueden observarse de diferentes formas (Figura 3) en la superficie y los cortes de los afloramientos de rocas, clasificándose en diferentes arreglos geométricos:

- ✓ Paralelo
- ✓ En échelon
- ✓ Abanico
- ✓ Relay
- ✓ Zona de relevo
- ✓ Curvilíneas
- ✓ Anastomasado

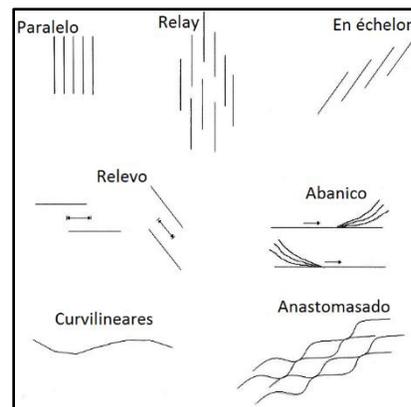


Figura 3. Geometría de fracturas.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

En el sitio de estudio se aprecian varios de estos arreglos en los afloramientos estudiados (Foto 1).



Foto 1. Arreglos geométricos en campo.

De la misma manera se puede observar en los extremos terminante de las fracturas, estructuras que se observan cuando se está en la presencia de una falla (Figura 4), estas formas son: cola de caballo, ala y ramificada.



Figura 4. Estructuras en las terminaciones de las fracturas.

Fallas: Se puede definir de diferentes formas, pero en términos simple es una fractura con desplazamiento, donde hay pérdida de cohesión. Son de suma importancia ya que controlan los recursos naturales, tales, como: hidrogeología, petróleo, minería y geotermia.

Las fallas se forman por esfuerzos tectónicos o gravitatorios actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie ampliamente bien definida denominada plano de falla, aunque puede hablarse de banda de falla cuando la fractura y la deformación asociada tienen una cierta anchura. (Anguita & Moreno, 1991).

Anderson (1905) realizó a comienzos del siglo una clasificación dinámica de las fallas basada en posicionamiento de tres vectores principales de esfuerzos:  $\sigma_1$ ,

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

$\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , ortogonales entre sí, que cumplen el requisito general de  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . Dependiendo de las posiciones de los vectores se definen los tres tipos de fallas principales: normal ( $\sigma_1$  vertical,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  horizontal) provocada por esfuerzos extensionales; transcurrente ( $\sigma_2$  vertical,  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  horizontal) que se originan por esfuerzo de cizalle; e inversa ( $\sigma_3$  vertical,  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  horizontal) que se dan por esfuerzos de compresión (Figura 5). (Oyarzun & Doblas, s.f.)

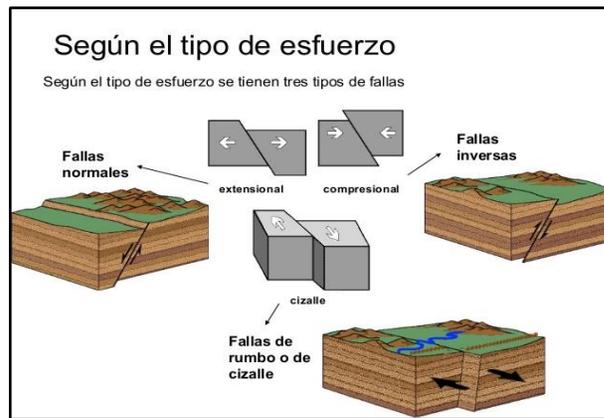


Figura 5. Tipos de fallas según esfuerzos.

Fuente: <http://es.slideshare.net/royeralexandercervantescaballero/fallas-35635422>

Definiendo que  $\sigma_1$  corresponde al esfuerzo principal que actúa sobre la roca, y  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos secundarios que se derivan de este.

Cada tipo de falla posee características que la definen y difieren entre sí, describiéndolas a continuación:

Tabla 1. Características de Tipos de Fallas.

Fallas normales	Fallas Inversas	Fallas laterales
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alto ángulo.</li> <li>– Pone en contacto a rocas de diferente edad.</li> <li>– Sigma 1 vertical.</li> <li>– Pitch vertical.</li> <li>– Acomoda la deformación.</li> <li>– El buzamiento es hacia la roca más joven.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pitch vertical.</li> <li>– Las rocas antiguas descansan sobre la más joven.</li> <li>– El buzamiento es hacia el bloque que sube.</li> <li>– Repetición de unidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Movimiento al rumbo.</li> <li>– Yuxtaponen unidades.</li> <li>– Sigma 1 horizontal.</li> <li>– Sigma 2 vertical.</li> <li>– Sigma 3 horizontal.</li> <li>– Régimen de cizalla simple.</li> <li>– Arreglos en échelon.</li> </ul>

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Al igual que las fracturas, las fallas poseen dos tipos de geometrías (Figura 6), refiriéndose a las fallas normales:

- ✓ Simétrica, cizalla pura: horst, pilar.
- ✓ Asimétrica, cizalla simple, falla lístrica, estructuras en domino.

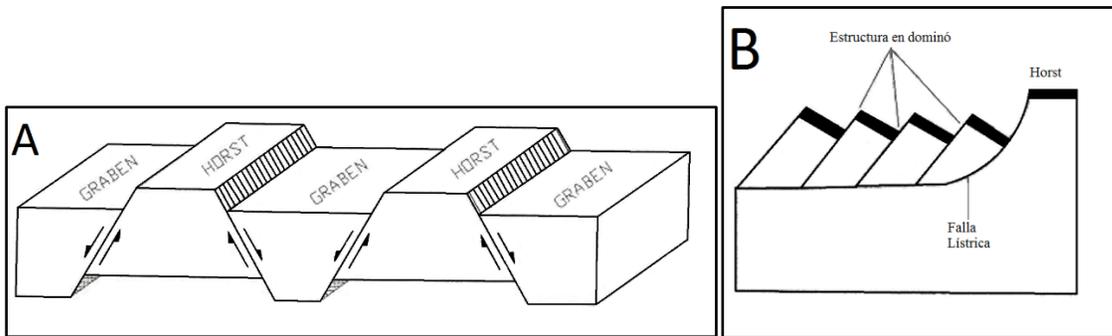


Figura 6. A) Fallas normales simétrica.

B) Fallas normales asimétrica.

Y también se pueden observar tres tipos de arreglos: Conjugado, perpendicular y complejo (Figura 7).

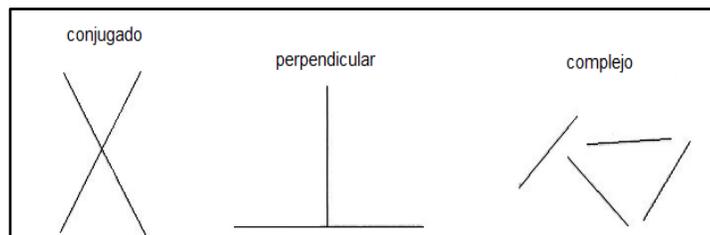


Figura 7. Arreglos de Fallas y Fracturas.

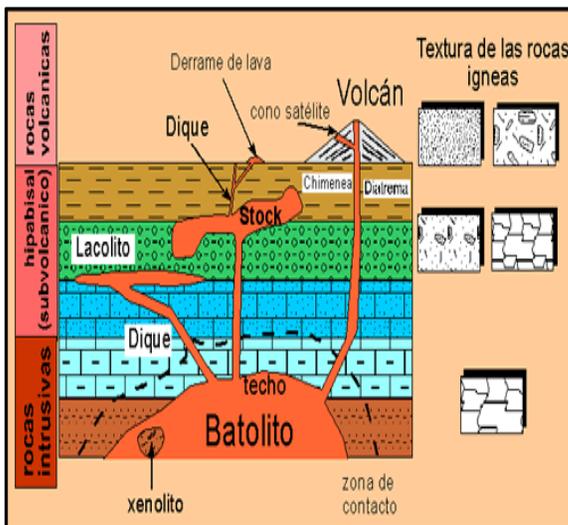
Las fallas se distinguen de las fracturas debido a que estas poseen un deslizamiento entre bloques, las cuales pueden ser evidenciadas por el rastro que deja este movimiento. Existen “indicadores cinemáticos” que nos permiten identificar la presencia de una falla en el campo, estos son estructuras que forman las fracturas que se encuentran en los afloramientos.

Entre estos indicadores se encuentran: Criterio escalonado, sistema conjugado, sigmoide, venas, etc.

### 2.2.2. Geología general.

La Geología es la ciencia que estudia la Tierra, la composición y estructura interna de esta, y los procesos internos y externos que están actuando sobre ella. Principalmente la geología se encarga de describir la composición química y física de las rocas que componen la superficie terrestre.

Las rocas se clasifican en tres grandes grupos: Rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.



Las rocas ígneas son creadas por la solidificación, provocada por el enfriamiento del magma en la superficie terrestre, el magma asciende a través de fallas y puede enfriarse dentro de la corteza o en la superficie. Estas rocas, de acuerdo a la profundidad a la que se solidifican, se clasifican en: Intrusivas (o plutónicas), extrusivas (o volcánica) e intermedias (o hipabisales). (Figura 8)

Figura 8. Clasificación de las Rocas Ígneas.

Fuente: [http://1.bp.blogspot.com/-f6wRGtnjq4/UY\\_VN6rqGzI/AAAAAAAAAIA/12Bwucytod8/s320/Pet2ac1.gif](http://1.bp.blogspot.com/-f6wRGtnjq4/UY_VN6rqGzI/AAAAAAAAAIA/12Bwucytod8/s320/Pet2ac1.gif)

Las rocas sedimentarias son el producto de la litificación o compactación de los sedimentos que se depositan en las partes bajas o cuencas, y también pueden producirse por la precipitación química (recristalización) de los sedimentos disueltos. Estas pueden ser: clásticas (o detríticas) y no clásticas (o químicas).

Las rocas metamórficas se producen por las altas presiones y temperaturas que actúan sobre una roca preexistente. El metamorfismo se puede dar por: Metamorfismo regional o metamorfismo de contacto.

En el sitio de estudio predominan las rocas volcánicas del terciario. Las rocas volcánicas o extrusivas se forman por el enfriamiento rápido de la lava en la superficie o del magma a una profundidad corta. Por lo general para clasificar las rocas ígneas, se describe la textura y composición de estas.

#### 2.2.2.1. Textura.

La textura de las rocas ígneas se define por el tamaño de grano de los minerales que contiene dicha roca, y la forma en que se encuentran distribuidos. Entre las diferentes texturas se definen las siguientes:

- ✓ Afanítica: Son rocas ígneas que poseen un grano y estructura cristalina finos, no pueden ser apreciables a simple vista.
- ✓ Fanerítica: Son rocas que poseen cristales grandes y fáciles de observar, con aproximadamente el mismo tamaño.
- ✓ Porfídica: Se caracterizan por poseer cristales grandes en un fondo de material con cristales pequeños.
- ✓ Vítreo: Cuando la roca fundida se expulsa de repente de un volcán, se puede enfriar tan rápidamente que no puede producirse una formación organizada de cristales. Esto da como resultado una roca ígnea que no tiene ninguna estructura interna. Tiene un aspecto vítreo y al romperse no produce simetrías planas o de cristal. (Rod Nave, 2006)
- ✓ Piroclástica: Algunas rocas ígneas se forman por la consolidación de fragmentos de roca individuales que son emitidos durante erupciones volcánicas violentas. Las partículas expulsadas pueden ser cenizas muy finas, gotas fundidas o grandes bloques angulares arrancados de las paredes de la chimenea volcánica durante la erupción. Las rocas ígneas formadas por estos fragmentos de roca se dice que tienen una textura piroclástica o fragmental. (Ruta Geológica - Explorando y Conociendo Nuestra Tierra., s.f.)

#### 2.2.2.2. Composición.

Las rocas ígneas se componen principalmente de minerales de silicato. Estos silicatos se pueden dividir generalmente en silicatos claros y oscuros. Los silicatos oscuros también se llaman ferromagnesianos, debido a la presencia de hierro y magnesio en ellos. Estos incluyen el olivino, el piroxeno, el anfíbol y la

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

biotita. Los silicatos de color claro son el cuarzo, la moscovita y el feldespato. (Rod Nave, 2006)

Las rocas ígneas pueden clasificarse, en función de la proporción de silicatos claros y oscuros (Tarbuck & Lutgens, 2005), de la siguiente manera:

- ✓ Rocas félsicas o de composición granítica. Son rocas ricas en sílice (un 70%), en las que predomina el cuarzo y el feldespato. Son, en general, de colores claros, y tienen baja densidad.
- ✓ Rocas andesíticas o de composición intermedia. Son las rocas comprendidas entre las rocas félsicas y máficas. Reciben su nombre por la andesita, la más común de las rocas intermedias. Contienen al menos 25% de silicatos oscuros, principalmente anfíbol, piroxeno y biotita más plagioclasa.
- ✓ Rocas máficas o de composición basáltica. Son rocas que tienen grandes cantidades de silicatos oscuros (ferromagnésicos) y plagioclasa rica en calcio. Son, normalmente, más oscuras y densas que las félsicas.
- ✓ Rocas ultramáficas. Roca con más de 90% de silicatos oscuros.

De acuerdo a la composición química y el origen de las rocas ígneas, se puede obtener un ejemplo de las rocas más representativas reflejadas en la siguiente tabla, expresando el tipo de roca intrusivo y su equivalente extrusivo:

Tabla 2. Clasificación de las Rocas Ígneas en base a su composición y origen.

Composición Origen	Félsicas	Andesíticas	Máficas	Ultramáficas
Intrusivo	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
Extrusivo	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita

### 2.2.3. Hidrología.

La Hidrología es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases. La hidrología se ha desarrollado como ciencia en respuesta a la necesidad de comprender el complejo sistema hídrico de la Tierra y ayudar a solucionar los problemas de agua (Marcano, s.f.)

Esta se encarga de describir las condiciones bajo la que están los cuerpos de agua, tales como son los lagos, lagunas, ríos, manantiales, etc.

### 2.2.3.1. Cuenca.

Así como el ciclo hidrológico es el concepto fundamental de la hidrología, la cuenca hidrológica es su unidad básica de estudio. Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Asociada a cada cuenca superficial existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial.

Desde el punto de vista de su salida, existen dos tipos de cuencas (Figura 9): endorreicas cuyo punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago, y exorreicas cuyo punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (Aparicio, 1992)

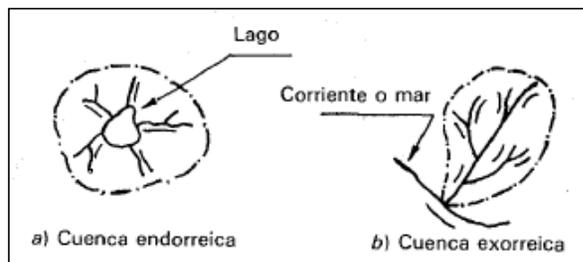


Figura 9. Tipos de cuencas desde el punto de vista de su salida.

Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Pág. 20.

El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Una cuenca se puede dividir en 3 grandes partes según las características físicas que posea:

- ✓ Cuenca alta, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.
- ✓ Cuenca media, la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.
- ✓ Cuenca baja, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.

El orden de corrientes (Horton, 1945) se determina como se muestra en la figura 10. Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., pero, por ejemplo, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida; así, por ejemplo, el orden de la cuenca de la figura es 4.

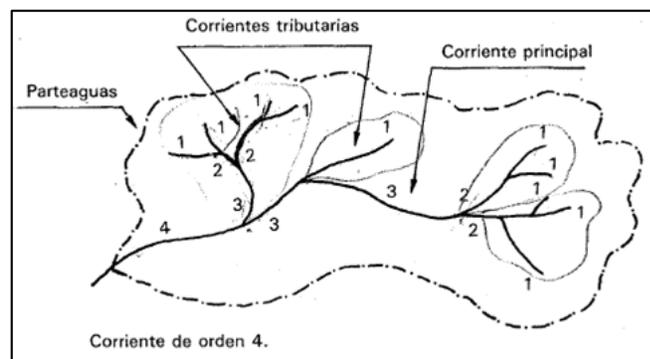


Figura 10. Orden de corrientes.

Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Pág. 21.

Nótese que el orden de una cuenca depende en mucho de la escala del plano utilizado para su determinación; en este sentido, las comparaciones entre una cuenca y otra deben hacerse con cuidado, especialmente cuando los planos

correspondientes no están a la misma escala o están editados por diferentes organismos (Aparicio, 1992).

#### 2.2.4. Hidrogeología.

Es una rama de las ciencias geológicas que estudia la cantidad y calidad del agua subterránea, el agua presente debajo de la tierra y lo relacionado con su circulación. Se trata de la interacción entre roca, suelo y agua. Es la ciencia de la química y el movimiento de las aguas subterráneas.

El agua subterránea se mueve según las fuerzas de la gravitación, pero más lento que el agua superficial. La velocidad y los movimientos dependen de la porosidad y permeabilidad del substrato (la roca o el suelo).

Las aguas subterráneas se mueven a través de medios llamados acuíferos que son capas de tierras por debajo de la superficie que contienen agua, estas pueden ser porosas o de rocas masivas, en este segundo caso se consideran acuíferos fracturados debido a que el agua se mueve mayormente por fallas o fracturas.

El comportamiento hidrogeológico de cualquier roca o formación geológica está definido por dos factores: i) Su capacidad de almacenamiento, de retener agua y después dejarla fluir (porosidad, que está determinada por el volumen de agujeros o vacíos sobre el volumen total), y ii) su capacidad de transmisión, o sea de permitir que el agua circule a través de la roca (permeabilidad o conductividad hidráulica K). (Sánchez, 2005).

##### 2.2.4.1. Agua subterránea.

Es el agua que se encuentra por debajo de la superficie, confinada a una presión igual o mayor que la atmosférica, situada bajo el nivel freático (NF) que satura el medio rocoso a través del cual se mueve y se almacena.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

El nivel freático conforma el límite superior de la zona saturada en un acuífero libre. Es el lugar geométrico de los puntos de un acuífero libre que se encuentran a la presión atmosférica. Su altura en un acuífero libre viene determinada por la cota que alcanza el agua en un pozo poco penetrante en reposo.

Para el caso de los acuíferos contenidos en un material macizo, no se habla de nivel freático puesto que estos en su mayoría son acuíferos confinados y el medio saturado se encuentra a una presión mayor que la atmosfera, esto provoca que el nivel del agua ascienda más por la presión que ejerce la capa confinante, a este nivel se le denomina Nivel Piezométrico.

El líquido puede presentarse en espacios abiertos de las unidades litológicas tales como hendiduras entre los cristales o granos, fallas, diaclasas, contactos litológicos y otras discontinuidades, así como en cavidades en las rocas originadas por enfriamiento, disolución o intemperismo. (SGm, 2013)

Esta agua fluye a la superficie de forma natural a través de manantiales, áreas de rezume, cauces fluviales, o bien directamente al mar. Puede también dirigirse artificialmente a pozos, galerías y otros tipos de captaciones. Se renueva de modo constante por la naturaleza a merced de la recarga. Esta recarga procede principalmente de las precipitaciones, pero también puede producirse a partir de escorrentía superficial y cursos superficiales de agua (sobre todo en climas áridos) de acuíferos próximos o de retornos de ciertos usos (destacan los retornos de los regadíos).

El movimiento y almacenamiento del agua subterránea, dependen del espesor, textura y estructura de las rocas que constituyen la corteza terrestre, además de la capacidad física del agua para moverse a través de un medio permeable.

El agua subterránea se desplaza muy lentamente por los acuíferos (Figura 11). Su velocidad media normal puede variar entre decímetros a algunas centenas

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

de metros en un año; solo en el caso de acuíferos kársticos y rocas muy fracturadas pueden existir conductos preferentes, por los que el agua puede circular a velocidades similares a la de las corrientes superficiales. (López Geta, Fornés Azcoiti, Ramos González, & Villarroya Gil, 2009)

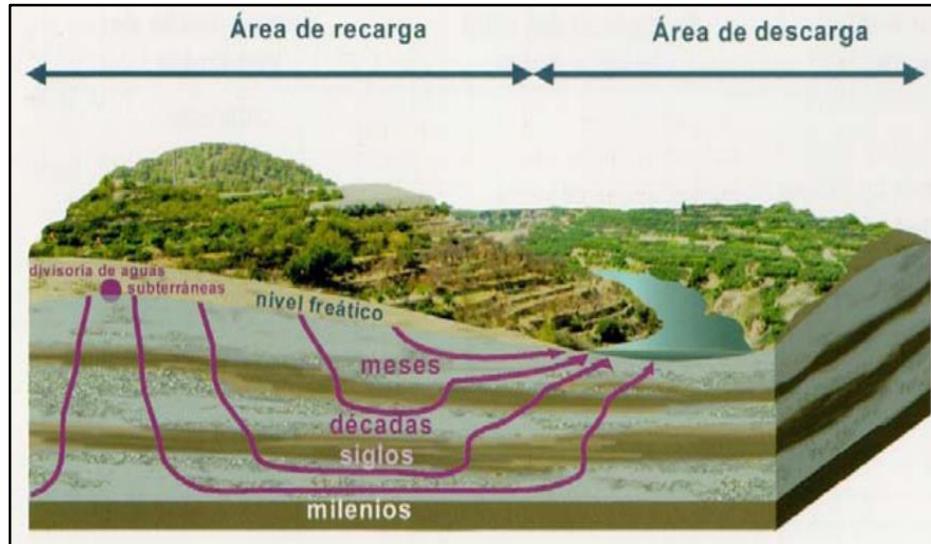


Figura 11. Gráfico Hidrogeológico

En la imagen se observan las áreas de recarga y descarga, así como las líneas de flujo y tiempo de desplazamiento del agua en un acuífero desde que alcanza la zona saturada hasta su salida a la superficie según diferentes trayectorias. Los tiempos son meramente indicativos.

Así mismo, el desequilibrio originado por la interacción de las diferentes fuerzas, como las presiones diferenciales y la gravedad, hacen que el agua se mantenga en movimiento constante, creando depósitos que abastezcan a pozos y manantiales, conservando el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía.

Las unidades litológicas que tienen una mayor capacidad de almacenar y proporcionar el vital líquido son denominadas acuíferos. Pueden ubicarse cerca de la superficie de la tierra contenidos en rocas permeables, o confinados a profundidad en rocas fracturadas y/o falladas. (SGM, 2013)

El agua subterránea se encuentra prácticamente en todas partes, pero solamente puede ser extraída en cantidades significativas cuando se acumula de

forma abundante al ser entrampada en lugares apropiados y específicos de los acuíferos.

#### 2.2.4.2. Formaciones geológicas como acuíferos.

Un acuífero es aquella formación geológica que es capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella en cantidades significativas, de modo que pueda extraerse mediante obras de captación.

Los acuíferos son abastecidos o recargados por el agua que ha caído sobre la superficie de la tierra como resultado de la precipitación pluvial, y se dispersa a través de suelos, arenas, gravas y rocas fracturadas; así queda almacenada en una o varias formaciones geológicas constituidas por rocas permeables que contienen y conducen el líquido. (SGM, 2013)

Los acuíferos (Figura 12) se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ✓ Acuíferos libres, Acuíferos no confinados o Acuíferos freáticos: se definen como aquellos en los que el límite superior de la masa de agua forma una superficie real que está en contacto con el aire de la zona no saturada y, por tanto, a presión atmosférica.
- ✓ Acuíferos confinados, Acuíferos cautivos o Acuíferos a presión: son aquellos que, en su límite superior o techo, el agua está a una presión superior a la atmosférica.
- ✓ Acuíferos semiconfinados o semicautivos: pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el piso, el techo o ambos, no son totalmente impermeables, sino que permiten la circulación vertical del agua. Este paso vertical de agua puede hacerse desde o hacia el Acuífero, e incluso variar con el tiempo, según sean los valores relativos de los niveles piezométricos.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

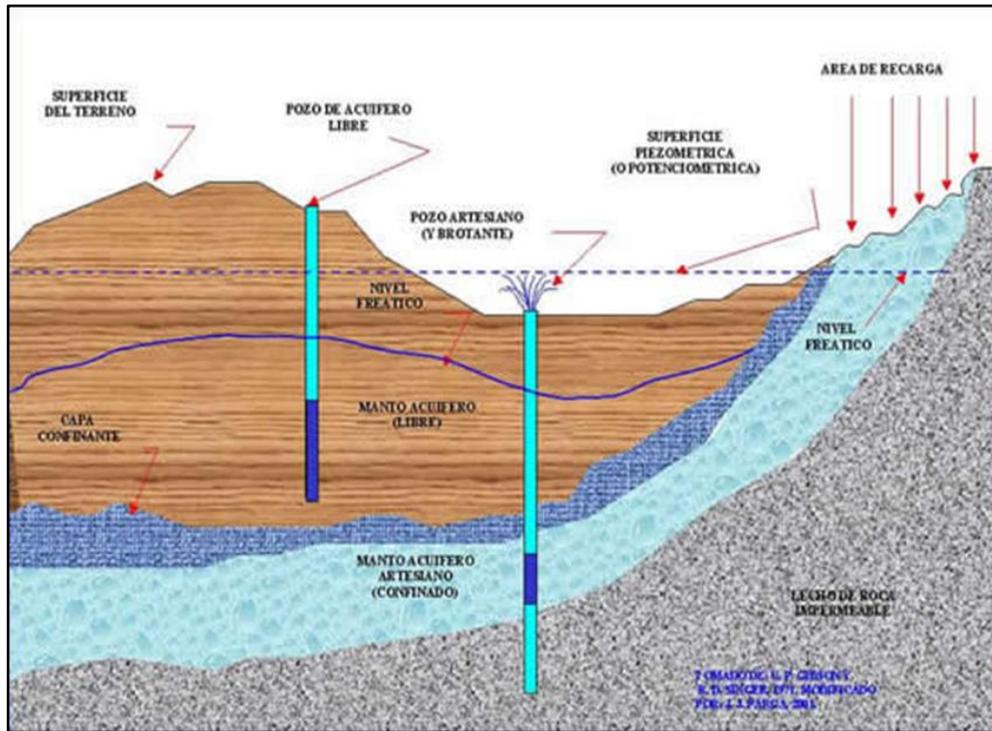


Figura 12. Tipos de capas acuíferas

Estas formaciones, cuando transmiten el agua muy lentamente y es difícil extraerla mediante captaciones en cantidades importantes, reciben el nombre de Acuitardo [aquitard] (del latín *tardo*, retardar, impedir). Sin embargo, pueden intercambiar importantes cantidades de agua con aquellos acuíferos con los que está en contacto horizontal ya que la superficie de intercambio es muy grande.

Para definir aquellas formaciones geológicas que conteniendo agua en su interior no la transmiten y, por tanto, no permiten extraerla, se utiliza el término acuicludo [aquiclude] (del latín *cludo*, encerrar), y acuífugo [aquifuge] (del latín *fugo*, rechazar, ahuyentar) cuando no contienen agua. En la práctica, no existen formaciones geológicas que puedan considerarse como acuífugos en sentido estricto.

Cuando existen lentejones o capas discontinuas de baja permeabilidad en la zona no saturada, en algunos casos se pueden llegar a formar acuíferos colgados. Estas capas retienen parte de la recarga durante un periodo más o

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

menos largo y dan origen a zonas saturadas relativamente extensas (colgadas) sobre la zona saturada regional.

### 2.2.4.3. Dirección del flujo subterráneo.

El flujo del agua subterránea no es nada más que el estudio del movimiento de este. Por tanto, el objetivo de este punto es estudiar el comportamiento que posee el flujo subterráneo, tomando en cuenta las diferentes estructuras presentes en el área.

Para que exista flujo es necesario una diferencia de carga hidráulica (Figura 13), de manera que el agua subterránea circula desde puntos de mayor carga ( $H_A$ ) hacia puntos de menor carga ( $H_B$ )

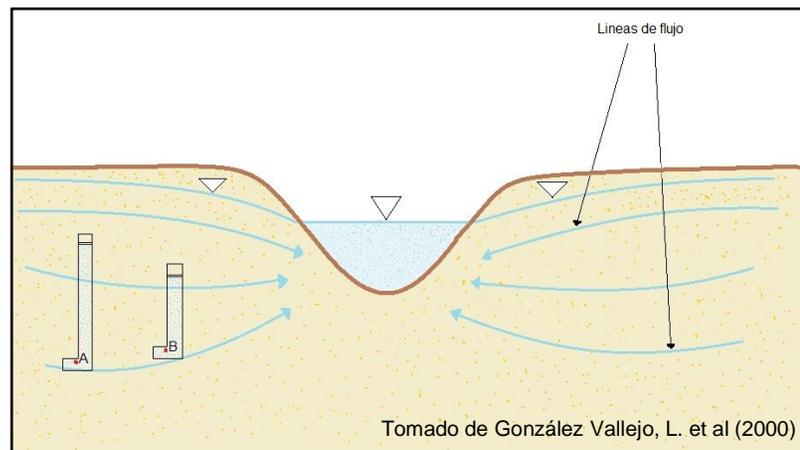


Figura 13. Líneas de flujo.

En la Figura 11 se muestra que el agua se mueve desde un punto “A” hacia un punto “B” porque la altura piezométrica en A es mayor que en B:  $H_A > H_B$ . Entre A y B se produce una pérdida de carga  $\Delta H = H_A - H_B$ . (Ortuño, 2008)

Se define el gradiente hidráulico ( $i$ ) como la pérdida de carga por unidad de longitud:

$$i = \frac{H_A - H_B}{L_{AB}} = \frac{\Delta H}{L}$$

#### 2.2.4.4. Piezometría.

El nivel piezométrico es la altura (cota absoluta sobre el nivel del mar) que alcanza el agua al ascender por la presión a la que se encuentra un acuífero confinado al perforar un pozo, situándose por encima del techo del acuífero. Por tanto, cada punto de un acuífero confinado tiene un nivel piezométrico propio y diferente. En la parte superior de los acuíferos libres el nivel piezométrico es el nivel freático.

El estudio de las superficies piezométricas permite obtener información básica sobre el movimiento y comportamiento del agua subterránea, como es el caso de la dirección del flujo del agua subterránea, la ubicación de zonas de recarga y descarga del acuífero, la existencia de heterogeneidades hidráulicas tales como cambios de permeabilidad dentro de una misma formación litológica o cambios de acuífero, la existencia de niveles acuíferos libres y confinados superpuestos o adyacentes, la existencia de flujos verticales o laterales entre formaciones distintas, etc. (Manzano Arellano, 2008).

Sólo es posible obtener valores del nivel piezométrico en un conjunto de puntos discretos de un acuífero (pozos, sondeos, manantiales). A partir de ellos deben trazarse las curvas de nivel (isopiezas) que sirvan para definir la superficie piezométrica.

El trazado de las isopiezas de un acuífero o sector de acuífero requiere, en primer lugar, dos cosas: 1) que los valores de nivel (freático o piezométrico) medidos correspondan a un mismo acuífero; 2) que estén expresados en cotas absolutas (metros sobre el nivel del mar). La determinación del lugar por el cual pasan las isopiezas se realiza mediante interpolación geométrica sobre el mapa.

### 2.3. Hipótesis

La dirección que presenta el flujo de agua subterránea en la Microcuenca del Río Pire, se encuentra ligado al sistema de fallas y fracturas presentes en esa misma zona.

## Capítulo III

### 3.1. Diseño Metodológico

#### 3.1.1. Tipo de estudio.

Los tipos de estudios que existen son: Exploratoria, descriptiva, y explicativa. El presente trabajo abarca cada uno de estos estudios.

El estudio exploratorio examina un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. En el caso del Tema abordado en el trabajo, no se encuentra mucha información relacionada a la Microcuenca del Río Pire, la información encontrada es de Condega como municipio y no de la microcuenca del Río Pire, además de que esta información no se encuentra actualizada.

El estudio descriptivo: describe situaciones y eventos, dice como es y se manifiesta determinado fenómeno; busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En el trabajo se realizará la descripción del tipo de litología presente en el área, comportamiento de fallas y fracturas, y la dirección del flujo de agua subterránea.

El estudio explicativo va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos y sociales. En esta área de estudio se encuentra la explicación de los diferentes fenómenos geológicos ocurridos y

que siguen ocurriendo en la Microcuenca del Río Pire.(Hernández Sampier, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1996)

### 3.2. Método de recolección de datos.

La metodología realizada en esta investigación, que permitió el alcance de los objetivos planteados, se divide en tres principales etapas. Estas a su vez se subdividen, explicando el detalle de los procesos realizados a lo largo del estudio.

#### 3.2.1. Recopilación y análisis de información.

En esta etapa se realizó un análisis de los diferentes estudios realizados en la zona, para poder obtener un conocimiento sobre el comportamiento de los fenómenos geológicos que han afectado el área, además de realizar material de trabajo derivado de estas observaciones.

##### a) Recopilación de información de estudios anteriores hechos en el sitio.

Se realizó una visita a los centros de investigación como INETER, CIGEO, CIRA, MEM, para obtener información correspondiente al área de estudio, obteniendo así informes, libros, folletos, mapas, proyectos y fotografías aéreas que abarcan el sitio. De igual manera se hizo una investigación a través de internet para la recopilación de documentos digitales que contenían información relevante de la Microcuenca.

##### b) Análisis e interpretación de los documentos.

Una vez recopilada la información de los distintos centros de documentación e instituciones, se procedió a leerla y seleccionar aquella de mayor importancia e interés para el tema bajo estudio. Seleccionada la información de utilidad, se procedió a sistematizar todos los documentos, mapas y fotografías aéreas para poder trabajarlos de manera ordenada.

##### c) Análisis e interpretación de materiales didácticos.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Se procedió al análisis de fotografías aéreas, mapas topográficos, mapas hidrogeológicos, estudios de aguas subterráneas y mapas geológicos de estudios anteriores de la zona.

En esta etapa se digitalizaron en ArcGIS los mapas de La Sirena (2955-IV), Condega (2956-III) y San Juan de Limay (2855-I), siendo estos los mapas: topográficos de 1988 con los cuales se delimita la Microcuenca del Río Pire, que corresponde al área de estudio; y geológicos de 1971 para delimitar las diferentes litologías presentes en el área, a escala 1: 50,000 obtenidos de INETER.

Una vez digitalizados los mapas, con la ayuda de ArcGIS se realizaron diferentes mapas utilizando las herramientas de ArcToolbox, obteniendo el mapa altimétrico, topográfico, de pendientes y el de modelo de sombras que fueron interpretados antes de ir a campo.

Se utilizaron las fotografías aéreas a escala 1:40,000 correspondientes al año 1981, el área de estudio se encuentra entre las líneas de vuelo 13, 14 y 15 y se hizo uso de un estereoscopio de espejos, para observar las estructuras presentes en el sitio, las cuales se trazaron sobre una filmina colocada encima de las fotografías aéreas para luego digitalizarlas.

Se realizaron en ArcGIS mapas temáticos (geológicos) y representativos del sitio, conforme a la información que brindaron las fotografías aéreas y los mapas previos, siendo estos el mapa topográfico con curvas de nivel, en metros sobre el nivel del mar, cada 20 metros, conteniendo a su vez las comunidades y carreteras que se encuentran en el área; el mapa de relieve o altimétrico que junto con el topográfico se puede ver la diferencia de alturas, valles y cerros que hay dentro de la zona de estudio; el mapa de pendiente reflejando las zonas escarpadas y el grado de inclinación de estos; y por último el mapa de modelo de sombra que ayudó al reconocimiento de estructuras lineales y de fallas.

Del mismo modo, cada uno de los mapas ayudó a la interpretación previa del sitio, facilitando el reconocimiento de las diferentes estructuras geológicas y el

tipo de litología. Se digitalizan las fallas y/o fracturas reflejadas en los mapas previos y los interpretados en el mapa altimétrico, topográfico y el de modelo de sombras, que se encuentran contenidos dentro de la delimitación de la Microcuenca del Río Pire, teniendo así una idea de lo que se puede encontrar y lo que se podría realizar en el campo; ubicando posibles puntos a visitar y poder observar de manera general las estructuras en el campo.

### 3.2.2. Trabajo de campo.

El trabajo de campo estuvo dividido en tres grandes actividades, la primera de ellas consistió en el levantamiento de información primaria como lo son los datos geológicos; La segunda actividad corresponde a la toma de dirección de fracturas para el análisis estructural y por último está la tercera actividad que se concentró en la toma de datos de las fuentes de aguas.

- a) Análisis, verificación e interpretación de datos obtenidos en la primera fase con los datos que se consiguieron en el campo:

Durante el trabajo de campo se realizaron levantamientos geológicos dentro de los cuales están perfiles geológicos y recolección de muestras. En campo se georreferenciaron afloramientos de rocas, y sitios de mayor relevancia, para luego ubicarlos en el mapa y hacer una correlación o verificación del tipo de roca presente en el punto. Además, se tomaron muestras de rocas con el fin de hacer una descripción macroscópica y microscópica de los minerales que las componen, tomando en cuenta que la muestra a tomar sea representativa para el área y esté lo menos alterada posible.

- b) Dirección de fracturas presentes en el área de estudio:

Con ayuda de la brújula, se midieron la dirección de rumbos que poseían las fracturas en los afloramientos rocosos o cerca de ellos, así mismo se observaron las diferentes estructuras que forman estas fracturas, las cuales se clasificaron en: Conjugado, paralelo, échelon, relevo, anastomasado, y terminación en abanico.

Para definir si los sistemas de fracturas observados corresponde a una falla, se utilizaron los indicadores cinemáticos: Sistema conjugado, sigmoide, venas o vetas y espejo de falla; los cuales se observan cuando se está en presencia de una falla en el campo, debido a que estos se forman en zonas de deformación producidas por los esfuerzos de una falla. De igual forma se realizaron dibujos esquemáticos de este tipo de estructuras.

c) Toma de datos e inventario de las fuentes de agua:

Se procedió a realizar un inventario de las captaciones de agua subterránea, georreferenciando pozos y manantiales presentes dentro y fuera del área de estudio, midiendo parámetros hidrogeológicos como lo son el nivel estático del agua (NEA), y características de los pozos como lo es la altura del brocal (si posee).

Cada uno de estos datos tomados fue registrado en sus respectivos formatos de campo, con el fin de poder realizar un mapa de flujo subterráneo, de acuerdo a las alturas de los niveles freáticos tomados en cada uno de los puntos de agua medidos.

### 3.2.3. Trabajo de gabinete.

a) Descripción detallada en el laboratorio de las muestras recolectadas en el campo:

Además de la interpretación realizada en el campo, se procede a una descripción más a detalle de cada una de las muestras recolectadas, describiendo macroscópicamente su composición, los minerales que la conforman, textura y origen. Se elaboraron secciones delgadas para describir con ayuda del microscopio las rocas recolectadas en el campo, definiendo el tipo de mineral, alteración y forma de los cristales que se encuentran en cada una de ellas, y así definir el tipo de roca. Tomando en cuenta el tipo de litología observado según los datos obtenidos en campo, junto con la geología descrita por los autores anteriores, se realizó en ArcGIS el mapa litológico del área de estudio.

b) Procesamiento de datos:

En esta etapa se procede a ordenar los datos de las fuentes de agua en Excel, colocando sus coordenadas, elevación, brocal (si posee) y NEA para utilizarlos en el cálculo del nivel piezométrico. La ecuación del nivel piezométrico es: Elevación menos NEA; sin embargo, si el pozo en el que se midió el NEA posee brocal, habría que restarle el valor del brocal al NEA primero. Estos valores piezométricos fueron utilizados para la elaboración del mapa de flujo subterráneo, los cuales fueron exportados al programa de Surfer utilizando las coordenadas y el nivel piezométrico.

De igual forma se colocaron en un formato de Excel los datos de rumbo y buzamiento de las fallas y fracturas observadas en el campo, para poder reflejarlos en el mapa en el programa de ArcGIS y relacionarlo con las fallas que se encuentran plasmadas en el mapa que se había realizado previo al campo. Igualmente, con las muestras traídas del campo, se agregaron al archivo de Excel con sus coordenadas para ubicarlas en el mapa de ArcGIS.

c) Realización de Mapas:

Una vez ordenado y procesado todos los datos, se digitalizaron en ArcGIS los mapas con las correcciones realizadas en base a los resultados obtenidos en la investigación, el mapa de flujo subterráneo como se había mencionado anteriormente fue realizado en el programa de Surfer y luego se utilizó en ArcGIS.

Para la elaboración del mapa de flujo subterráneo se exportaron los datos a Surfer, estos datos se convierten del formato de Excel a un formato "Grid" (.grid) que es el que utiliza el programa para realizar una interpolación con las cotas calculadas, las cuales ayudaron a graficar vectores con la herramienta "Grid Vector Map" que indican la dirección y sentido que posee el flujo subterráneo, siempre utilizando los datos del archivo grid, obteniendo como resultado final la dirección de las aguas subterráneas en la Microcuenca.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

La definición de contactos y estructuras tectónicas para los mapas geológicos, se realizó relacionando los datos de campos con los mapas previamente hechos antes de ir al área de estudio, comparando así las mediciones de rumbos de fallas con las ya propuestas en el mapa, y correlacionando el tipo de roca presente en el mapa base con el obtenido de las descripciones en el trabajo de gabinete.

Obteniendo así nuestros mapas: litológico, estructural y de flujo subterráneo. Estos se utilizaron para observar el comportamiento de la dirección que posee el flujo en las zonas de fallas y fracturas presentes en la microcuenca del Río Pire.

- d) Interpretación de los esquemas realizados, y extracción de nuevos datos que se puedan obtener del análisis de estos:

Se realizó en ArcGIS perfiles geológicos y columnas estratigráficas de acuerdo a la descripción litológica presente en el área de estudio obtenida del campo, proyectando los espesores de la litología y las fallas que se encuentran afectando a lo largo del perfil y definiendo los contactos litológicos en la columna.

- e) Resultados obtenidos, tomando en cuenta todo lo anteriormente mencionado:

En este punto se prosiguió a plasmar en un documento todos y cada uno de los resultados, descripciones e interpretaciones realizadas en el trabajo.

- f) Realización del informe final exponiendo las conclusiones del trabajo:

Se ordenó de manera adecuada la información, mapas, esquemas, tablas, etc. Y se exponen las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron al finalizar el documento.

## Capítulo IV. Marco Tectónico y Geológico de Nicaragua

### 4.1. Tectónica Regional

Centroamérica está localizada en la zona Oeste de la placa del Caribe e involucrada en los movimientos de las placas de Norteamérica, Suramérica, placa de Cocos y la placa de Nazca (Figura 14), por consiguiente, presenta una historia geológica compleja (Frischbutter, 2002).

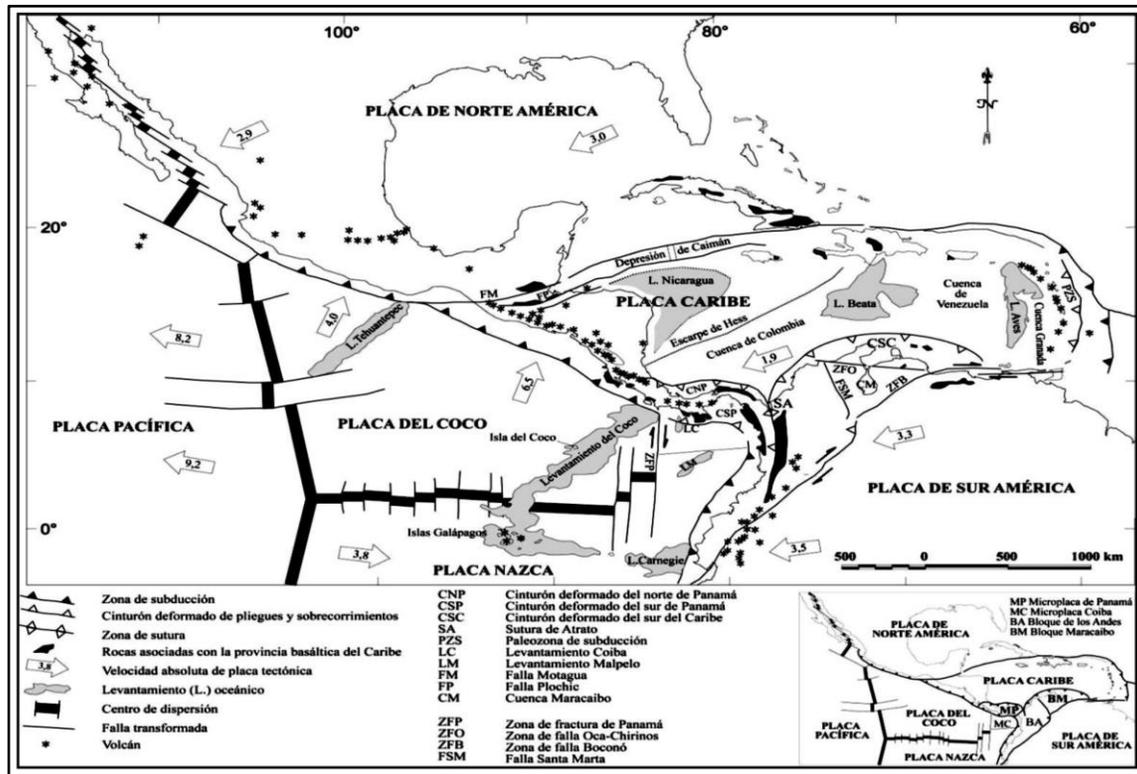


Figura 14. Mapa Tectónico de América Central.

Fuente: Basado en Case et al, (1994), Donnelly (1994), Mann et al., (1990) y Meschede & Frisch (1998).

El occidente de Nicaragua, así como el resto del occidente de Centroamérica, está dentro del llamado Cinturón de Fuego Circumpacífico, caracterizado por una intensa actividad sísmica y volcánica. Tanto la cadena volcánica como la fosa mesoamericana son producto de la subducción que se da entre la placa Cocos (placa oceánica) y la placa Caribe (placa continental), así mismo es la causante de la formación del graben o depresión Nicaragüense, que es paralela a la fosa mesoamericana en el continente (McBirney & Williams, 1965).

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Molnar y Sykes (1969) a través de 70 eventos sísmicos en las regiones de Meso América, el Caribe, y zonas aledañas, lograron determinar el sentido de movimiento relativo entre varias placas, con el estudio de los mecanismos focales.

En México, 16 mecanismos focales de eventos sísmicos pocos profundos indican subducción de la placa Cocos debajo de la placa de las “Américas” (aquella formada por Norte, Sur América, y el Atlántico occidental) en el arco de Mesoamérica con una dirección aproximada de N35°E a N45°E.

Los mecanismos focales de los sismos en el arco de Mesoamérica entre la extensión continental de la fosa del Cayman y la zona de fractura de Panamá son menos definitivos. En esta región, cuatro mecanismos focales sugieren subducción de la placa Cocos debajo de la Caribe en una dirección aproximada de N30°E (Molnar & Sykes, 1969).

La placa de Cocos tiene límites divergentes con la placa Pacífica en el oeste y con la placa de Nazca en el sur. El límite con esta última está constituido por la dorsal de Galápagos. Las Placas de Cocos y Nazca provienen de la antigua placa de Farallón, que se fragmento en placas menores aproximadamente hace 23 millones de años. En la parte sur de la placa de Cocos se encuentra la dorsal de Cocos una cordillera submarina que corre entre Panamá y las islas Galápagos (Mann, Rogers, & Gahagan, 2006).

En el istmo centroamericano la placa del Caribe está dividida en dos elementos estructurales; el Bloque Chortis que conforma América Central del Norte y el Bloque Chorotega de América Central Sur.

Se considera que el límite entre ambos bloques es el sistema de fallas de la Península de Santa Elena y el Escarpe de Hess ubicado al sur de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica. Pero los depósitos aluviales y volcánicos del Cenozoico tardío cubren la mayor parte del área, por lo que el límite no está claramente definido (Dengo & Case, 1990).

## 4.2. Geología Regional

La configuración geológica de Nicaragua se originó aparentemente en el paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica a principio del cuaternario. (Giesecke, 1989) Durante este periodo la región de Nicaragua fue afectada por una serie de fenómenos muy característicos, pero estos no fueron iguales en toda la zona del país.

En 1976 Hodgson en términos de la estructura geológica, subdividió a Nicaragua en cinco provincias (Figura 15). Las cuales han sido diferenciadas como (Hodgson Valrey, 2000):

1. Provincia de la Costa del Pacífico.
2. Provincia de la Depresión de Nicaragua.
3. Provincia Central.
4. Provincia de las Llanuras de la Costa Atlántica.
5. Provincia del Norte.

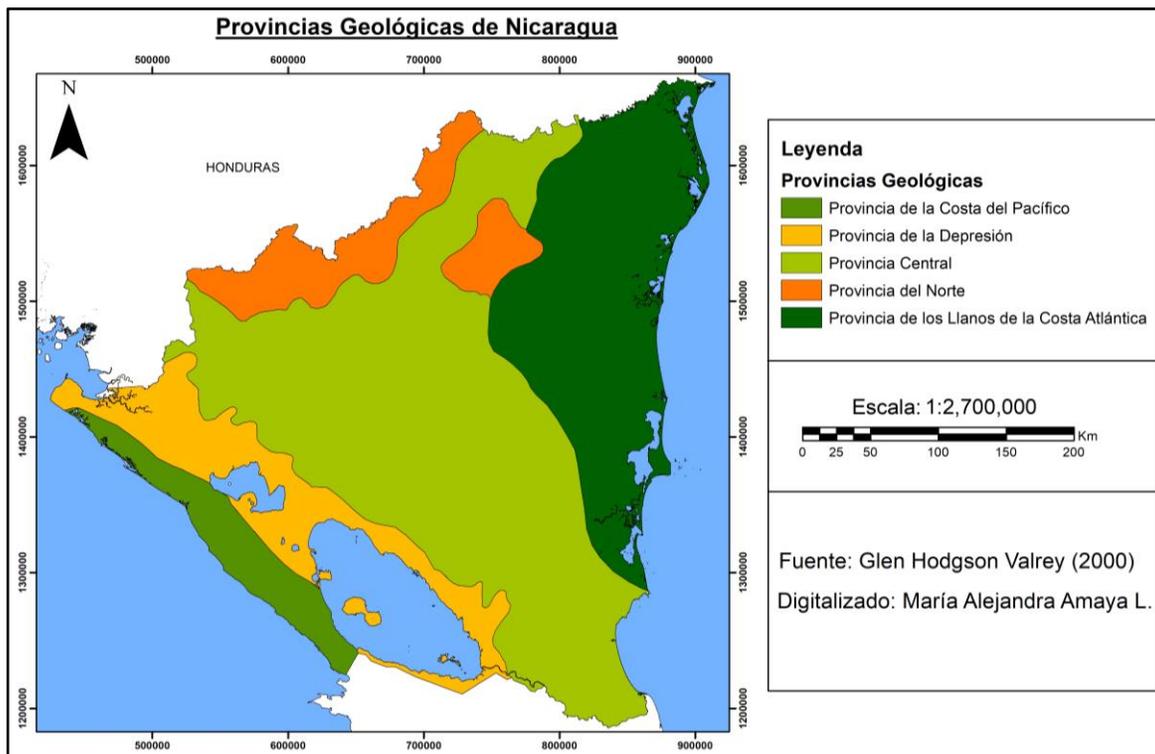


Figura 15. Provincias Geológicas de Nicaragua.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Esta configuración geológica inicia en el Paleozoico con el desplazamiento del basamento metamórfico cristalino, desde la parte norte de Centro América hasta la parte norte y centro de Nicaragua, constituyendo las rocas más antiguas del país pertenecientes a la Provincia del Norte. Corresponde a un basamento de rocas metamórficas intercaladas con rocas plutónicas del Mioceno constituyendo la parte más baja de la corteza continental.

Posteriormente en el Mesozoico entre el Jurásico-Cretácico Inferior hubo una fase de sedimentación que más tarde fue solevantada, plegada metamorfizada e instruida por rocas ígneas. Luego fue sometida a erosión e invadida por el mar con la deposición de conglomerados y calizas (área de Bocay), fue deformada por los movimientos larámicos y afectada en parte por el vulcanismo y el plutonismo. La historia concluyo con el levantamiento total y posterior erosión con el afloramiento de rocas mesozoicas y deposición de conglomerados rojos (Formación Totogalpa).

Durante el Cretácico al SW de Nicaragua, la compresión producida por la convergencia de la placa tectónica ha formado los anticlinales que se ubican paralelos a la fosa con rumbo NW-SE (Anticlinales de Rivas, la California y el área de la Plataforma). En la Costa afuera la sismicidad revela la existencia de una alta estructura que representa la cuenca Ante-arco y que se prolonga hacia el sur, representa el basamento y el borde meridional de la cuenca Sandino.

La cuenca ha sufrido varios eventos tectónicos, uno de ellos se efectuó durante el emplazamiento del sistema de Arco de isla, el segundo evento se efectuó en el sector de Sapoa con la formación de olistostromas durante el paleoceno. Todos estos eventos pertenecen a la Provincia de la Costa del Pacífico, que contiene 10 km de sedimentos pelágicos y turbidíticos costa adentro. Caracterizada por el predominio de las rocas sedimentarias como: caliza, arenisca, lutita, limonita, conglomerados y lodolita.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Durante el Terciario se desarrolló una intensa actividad volcánica, entre el Eoceno-Plioceno como consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, produciendo la depositación de considerables capas de rocas volcánicas incluyendo una serie de unidades sedimentarias epiclásticas y piroclásticas pertenecientes a la Provincia Central.

Durante el Terciario medio se originó la cadena volcánica de la Sierra Isabelia. Las fisuras de Amerrisque facilitaron las erupciones de ignimbritas del mioceno a lo largo del rumbo del margen de la depresión (Hunting 1971), que corresponden a gran parte de las rocas volcánicas.

A finales del Terciario e inicios del Cuaternario, se creó un sistema de fallas en dirección NW como resultado de esfuerzos locales de tensión, producidos por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe, lo que permitió la formación de la Depresión o Graben de Nicaragua perteneciente a la Provincia de la Depresión de Nicaragua. Caracterizada por el predominio de rocas volcánicas y depósitos sedimentarios del pleistoceno y reciente.

La depresión del graben de Nicaragua forma parte de la zona marginal del Pacífico de América Central, presenta fosa de mar profunda, regiones de plataformas, cadenas volcánicas activas, terremotos y rasgos tectónicos activos.

Durante el Pleistoceno en los llanos de la costa atlántica se dio una depositación de rocas sedimentarias y aluviales recientes, formando una gran cuenca sedimentaria llamada Mosquitia, donde se ha producido una serie de estructuras geológicas, que favorecen la acumulación de petróleo, entre anticlinales y fallas. En esta Cuenca se encuentran rocas sedimentarias antigua terciarias y mesozoicas.

Los sedimentos mesozoicos más antiguos son areniscas oscuras y pelitas de granulometría fina, seguido de sedimentos rojos y andesitas de la formación Todos Los Santos, estas pertenecientes a la Provincia de Las Llanuras de la Costa Atlántica.

## Capítulo V

### 5.1. Análisis y discusión de resultados

#### 5.1.1. Geología Local

El área de estudio está compuesta por rocas pertenecientes a la actividad volcánica del Terciario, de las cuales se distinguen los Grupos: Matagalpa y Coyol. Estas se encuentran en su mayoría altamente alteradas por procesos hidrotermales que se dieron en el sitio.

A lo largo del estudio se lograron observar afloramientos y cortes de rocas que se categorizaron dentro de las formaciones: Matagalpa Superior, Coyol Inferior y Coyol Superior; cuyas edades oscilan entre Mioceno – Plioceno (Hodgson Valrey, 2000).

De acuerdo a la composición mineralógica que presentan las rocas in situ y su comportamiento, se clasificaron siete diferentes tipos de unidades litológicas, esto se logró realizar debido a la descripción macroscópica de las muestras recolectadas de los afloramientos estudiados en campo, y la elaboración de secciones delgadas para el análisis microscópico de estas mismas.

A continuación, se describen las diferentes unidades litológicas presentes en el área de estudio (Anexo 9-Mapa Geológico), de la más antigua a la más reciente:

Pertenecientes al Grupo Matagalpa Superior:

- ✓ Unidad Andesita glomeroporfídica.
- ✓ Unidad Andesita-dacita

Perteneciente al Grupo Coyol Inferior:

- ✓ Unidad Andesita porfirítica.

Pertenecientes al Grupo Coyol Superior:

- ✓ Unidad Basalto andesítico.
- ✓ Unidad Ignimbrita dacítica.

Pertenecientes al Cuaternario:

- ✓ Unidad Coluvial.
- ✓ Unidad Aluvial.

#### 5.1.1.1. Unidad Andesita glomeroporfídica.

Esta unidad geológica abarca un área de 4.56 Km<sup>2</sup>, cubriendo las comunidades: Francisco Luis Espinoza, Culse y Santa Lucía. Al mismo tiempo está siendo afectada por la Falla Santa Lucía, la cual está provocando el fuerte fracturamiento de las rocas presentes en la zona.

Una de las características principales de las unidades pertenecientes al Grupo Matagalpa es que se encuentran afectadas por alteraciones hidrotermales y altamente meteorizadas. Esta unidad se observa en los afloramientos con tonalidades grises, café a café rojizo; se encuentra mayormente diaclasada (Foto 2-C) presentando entre sus planos de fracturas mineralización de sílice (Foto 2-A, B), también entre estos planos se pueden observar pequeñas manchas de color azul metálico en la roca, producto de la meteorización a la que ha sido expuesto el corte.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

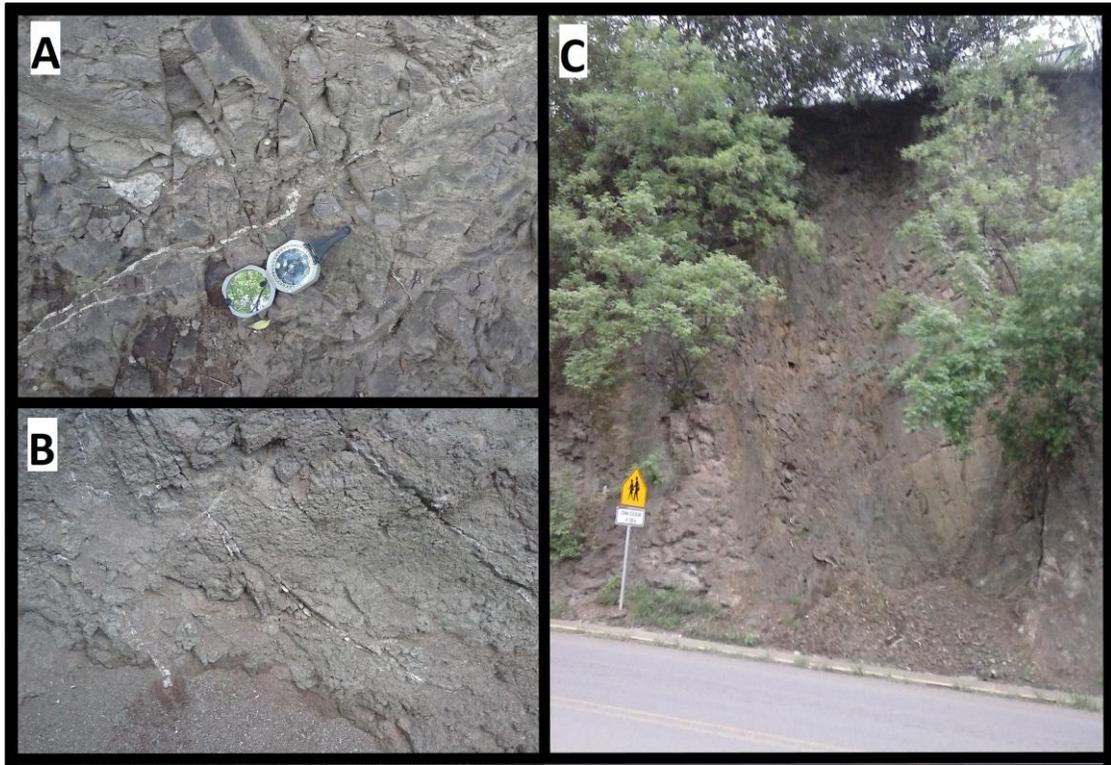


Foto 2. Afloramientos de andesita glomeroporfídica.

Se observan las diferentes tonalidades que los cortes de rocas presentan en los diferentes afloramientos estudiados, A y B gris, C de color café a café rojizo. Coordenadas A) 1476409N – 563757E, 579msnm. B) 1476200N – 563522E, 579msnm. C) 1476853N – 564922E, 589msnm.

Morfológicamente esa representada por la zona más baja de la Microcuenca, con pendientes suaves que van de 0° - 10° abarcando un área relativamente plana.

Macroscópicamente corresponde a una roca ígnea extrusiva con una textura afanítica, en este caso solamente se pueden apreciar con lupa las plagioclasas que la componen, posee un color gris oscuro y manchas azul metálico debido al grado de alteración por oxidación que posee; se observa una recristalización de cuarzo y pequeñas venas de sílice que se encuentran rellenando las fracturas observadas en la roca (Foto 3). En ocasiones se observan pequeñas manchas rojas que corresponde a la oxidación que se da en la roca.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---



Foto 3. Muestra de mano andesita glomeroporfídica.

Coordenadas 1476200N – 563522E, 579msnm. A) Muestra de color gris oscuro de andesita glomeroporfídica. B) Manchas color azul metálico en la muestra, presencia de venas de sílice. C) Apreciación de fracturas rellenas de sílice en la muestra.

Microscópicamente esta roca es de textura porfídica y en algunos casos glomeroporfídica, se compone de plagioclasas, minerales ferromagnesianos y minerales metálicos (Foto 4), de los cuales se describe a continuación el comportamiento observado en el microscopio:

**Plagioclasas:** Constituye un 18% de la muestra. Se observan fenocristales de plagioclasas que en su mayoría están siendo afectados por hematización y cloritización; se presentan en una forma de prismas alargados con un aspecto subhedral. Se encuentra involucrado en estructuras glomeroporfídica en conjunto con cristales de minerales ferromagnesianos. En ocasiones se muestran plagioclasas zonadas, diferenciándose plagioclasas como la andesina y sanidina.

**Minerales ferromagnesianos:** Abarcan un 6% de la muestra. Se presentan con forma de prismas cortos y alargados, entre estos se pueden distinguir piroxenos. Muy pocas veces estos están siendo alterados por cloritización y presentan una estructura glomeroporfídica. Se observan con un aspecto subhedral.

**Minerales metálicos:** Se observan en un 1% en la muestra. Se encuentra afectando principalmente a la matriz de la roca, y en algunas ocasiones se observa corroyendo a algunas plagioclasas. Estos se presentan alotriomorfos.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Matriz: Constituye el 75% de la muestra. Está compuesta por vidrio volcánico, microlitos de plagioclasas y minerales metálicos. Se encuentra afectada por alteración de hematización.

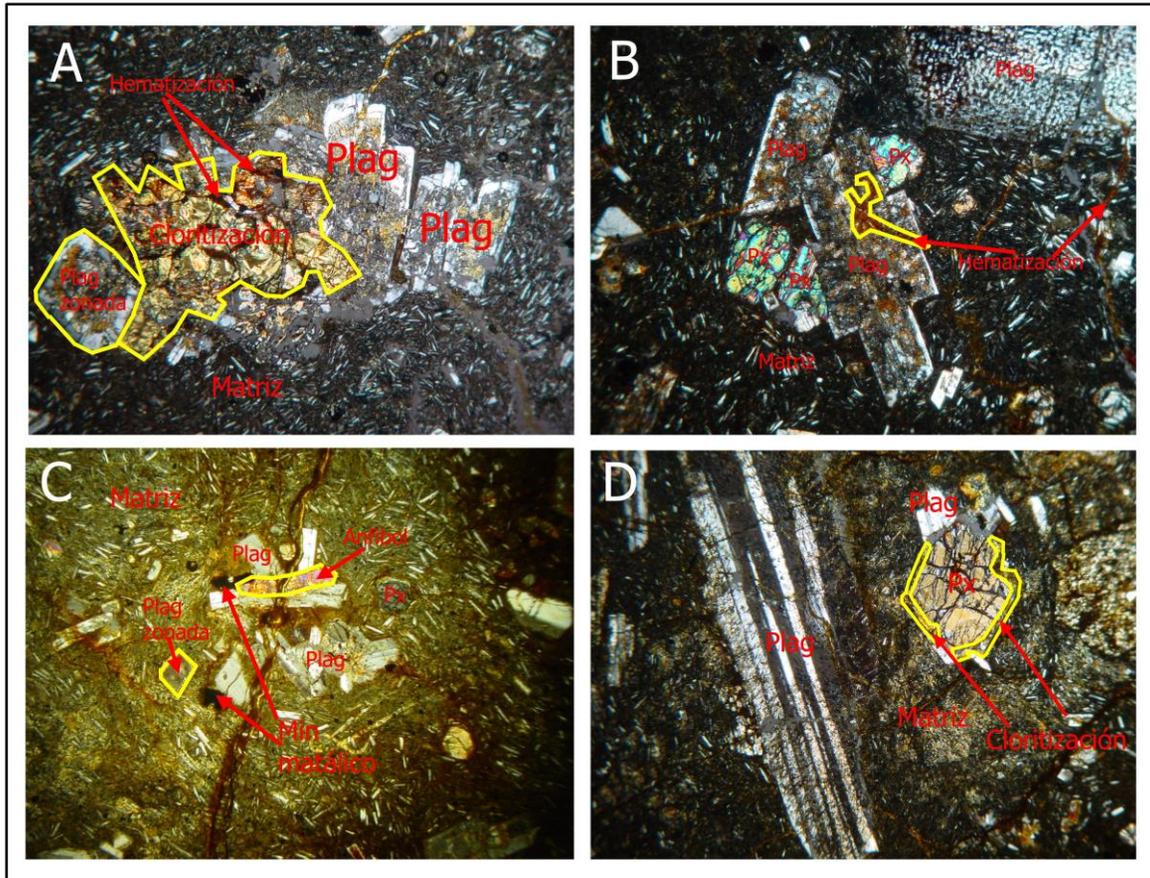


Foto 4. Andesita glomeroporfídica.

A) Cristales de plagioclasas (Plag) manchadas por hematización y plagioclasas zonadas (Andesina). Aumento: 5x. B) Cristales de plagioclasas (Plag) y piroxenos (Px) en una matriz microlítica. Aumento: 5x. C) Cristales de plagioclasas (Plag) y anfíbol en una estructura glomeroporfídica, cristales de plagioclasas zonadas (Andesina) y minerales metálicos. Aumento: 5x. D) Fenocristal de plagioclasa (Plag) y estructura glomeroporfídica de plagioclasas (Plag) y piroxeno (Px) con una alteración en corona de cloritización. Aumento: 5x.

5.1.1.2. Unidad Andesita-dacita.

Esta unidad, que se encuentra suprayaciendo a la andesita glomeroporfídica, abarca un área de aproximadamente 11.78 Km<sup>2</sup>, comprendiendo las comunidades: Santa Lucía, Los Cerritos y El Barro. Y está siendo afectada por la Falla Santa Lucía.

Esta unidad se encuentra en un grado de afectación por hidrotermalismo mayor que la andesita glomeroporfídica; lo cual provocó que las masas de roca tomaran tonos entre colores rojizos y morados (Foto 5-A), estos se dan por la oxidación de los minerales constituyentes de la roca; este tipo de alteración se le conoce como hematización en la roca (tonalidad roja). También se observaron afloramientos cuya roca es de color gris y café, y un afloramiento de un tono verde, este último se asoció a procesos de alteración por cloritización (Foto 5-B).



Foto 5. Afloramiento de andesita-dacita

Coordenadas: 1473722N – 560056E, 694msnm. Se observa en el inciso “A” el color rojizo a morado producto de la alteración hidrotermal, que provoca la oxidación de la roca; y en el inciso “B” se observa la roca de color verde, lo cual se asocia a la cloritización que provoco la alteración a un tono verde de la roca.

En su mayoría los afloramientos estudiados presentan mineralización de sílice en forma de vetillas y venas de color blanco (Foto 6-B), lo cual también es asociado al hidrotermalismo que se dio en la zona. Estas se encuentran rellenando las diaclasas que han sido provocadas por la afectación del intemperismo en la roca y por las fracturas producto de procesos endógenos que

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

se dieron en el sitio. De igual manera algunas de estas diaclasas se encuentran rellenas por un material blanquecino de aspecto arcilloso (Foto 6-A).

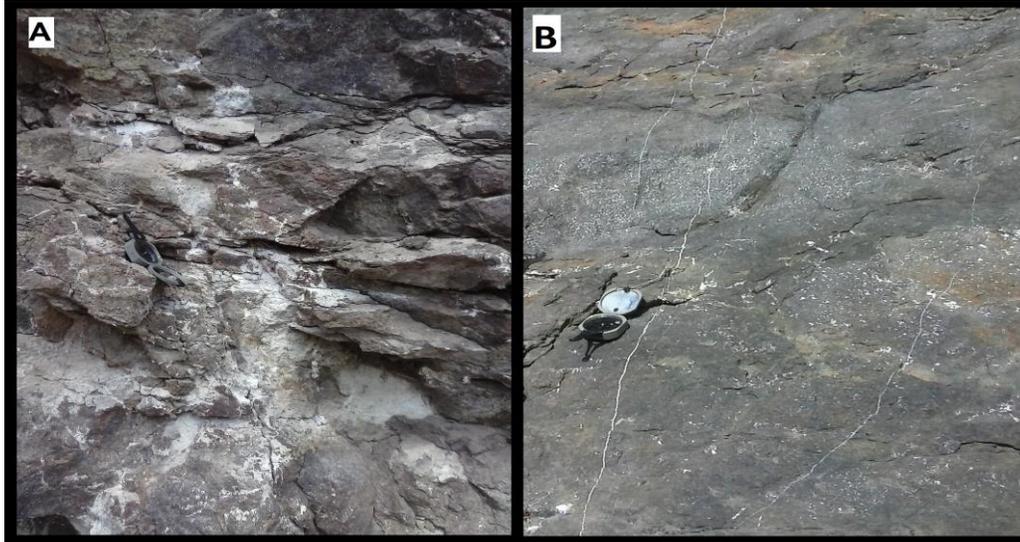


Foto 6. Diaclasas rellenas

A) Coordenadas 1474518N – 560692E, 635msnm. Se observa un material fino blanquecino que se encuentra relleno de las fracturas. Producto de la afectación por el intemperismo y/o afectación tectónica, la roca se degrada a este material B) Coordenadas 1476853N – 564922E, 589msnm. Venas de sílice que por hidrotermalismo se da el ascenso de fluidos que se desplazan a través de las grietas para emplazarse en estas.

Morfológicamente se presenta por pequeños cerros con alturas de 100 m – 200 m, los cuales son delimitados por pendientes moderadas a moderadamente escarpadas ( $10^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  aproximadamente) como lo es el Cerro El Barro, además de lomas de pendientes moderadas con valores de entre  $10^{\circ}$  y  $20^{\circ}$ , como lo son las Lomas El Tempatal y El Cerrito.

Macroscópicamente posee una textura afanítica, debido a que los minerales componentes no se aprecian sin ayuda de una lupa, se observa una fuerte recristalización de cuarzo en la roca, además de pequeñas venas de sílice presentes en pequeñas fracturas que se observan en las muestras de manos. Poseen un color de gris, gris oscuro y también dan una tonalidad morada por la oxidación que presenta debido a la exposición al ambiente (Foto 7). Son relativamente pesadas pero fáciles de romper.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

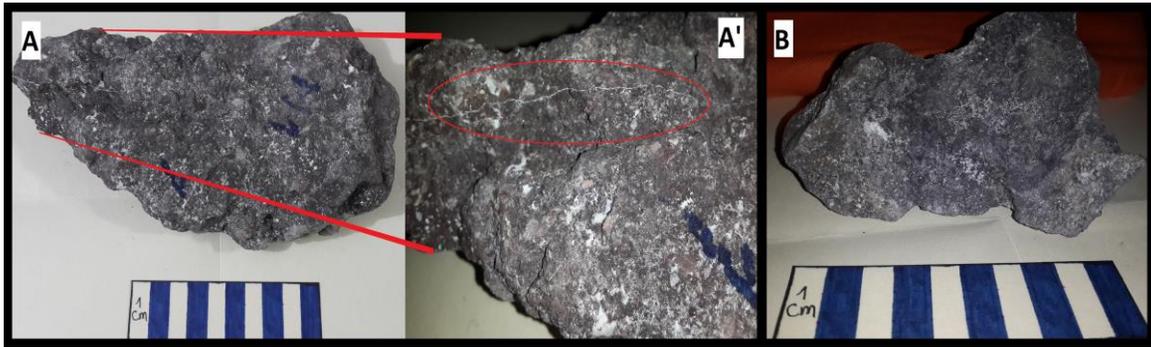


Foto 7. Muestra de mano andesita- dacita.

A) Coordenadas 1474968N – 559382E, 805msnm. Andesita-dacita recristalizada de sílice gris con tonalidades moradas. A') Ampliación de presencia de venas de sílice. B) Coordenadas 1473834N – 560030E, 693msnm. Andesita-dacita color gris oscuro de textura afanítica.

Microscópicamente estas rocas poseen una textura porfídica, en ocasiones de textura acrecional, constituida por minerales de plagioclasas, cuarzo, minerales metálicos y minerales ferromagnesianos (Foto 8), afectada por tres diferentes tipos de alteración. A continuación se detalla las características microscópicas de la roca:

**Plagioclasas:** Abarcando un 20% de la muestra, se encuentra en forma de prismas alargados de aspecto subhedral, con composición media (sanidina y anortoclasa). En ocasiones se encuentran afectadas por hematización.

**Cuarzo:** Este se encuentra en poca cantidad constituyendo un 5% de la muestra con una forma alotriomorfa.

**Minerales ferromagnesianos:** Abarcan un 5% de la muestra, entre los cuales se pueden distinguir pequeños cristales de piroxenos sin alterar con forma prismática corta. En su mayoría se encuentran afectados por cloritización.

**Minerales metálicos:** Estos conforman un 2% de toda la muestra, se encuentran distribuidos de manera regular, estos están corroyendo mayormente a la matriz y los minerales ferromagnesianos. De igual forma están siendo afectados por hematización.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Matriz: Constituye el 54% de la muestra, posee una textura vítrea compuesta de microcristales de minerales ferromagnesianos alterados por cloritización.

Posee alteración por zeolitización la cual se encuentra distribuida en un 15% de la muestra, apareciendo de forma agrupada con pequeños cristales de cuarzo creando una textura glomeroporfídica.

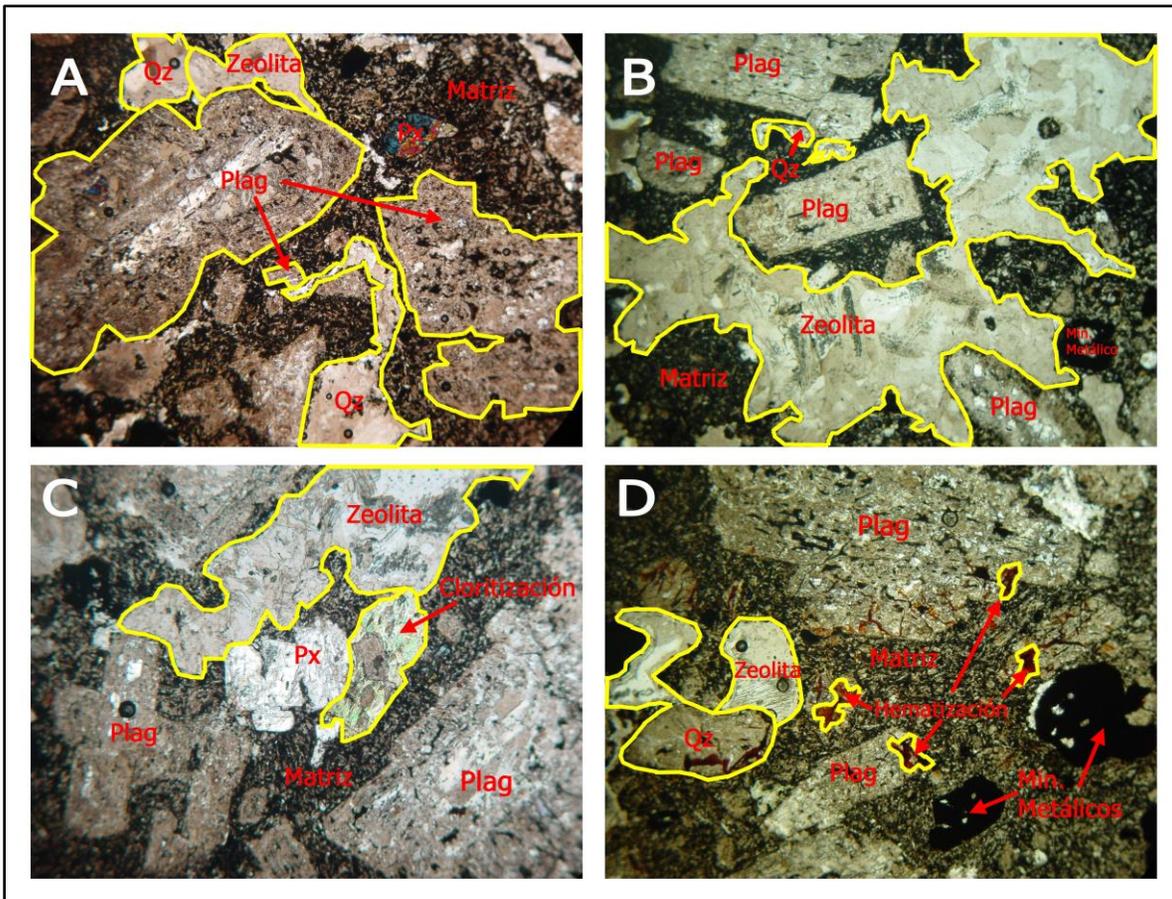


Foto 8. Andesita-dacita.

A) Cristales de plagioclasas (Plag), cuarzo (Qz), zeolita y piroxenos (Px) inmersos en una matriz microlítica. Aumento: 5x. B) Cristales de plagioclasas (Plag), minerales metálicos, cuarzo (Qz) y zeolita. Aumento: 5x. C) Cristales de plagioclasas (Plag), piroxenos (Px), zeolita y mineral ferromagnesiano afectado por cloritización. Aumento: 5x. D) Cristales de plagioclasas (Plag), zeolita, minerales metálicos y cuarzo (Qz), afectado por hematización. Aumento: 5x.

5.1.1.3. Unidad Andesita porfírica.

Esta unidad abarca un área aproximadamente de 16.7 Km<sup>2</sup> cubriendo las comunidades: Los Sueños, San Pedro, Santa Teresa, Jesús María, El Níspero, El Rodeo, El Zorrillo, San José de Pire y La Labranza N°1. Y está siendo afectada por las Fallas: San Pedro, Santa Teresa, El Níspero, San José de Pire y La Hondura Azul. Esta subyace al basalto andesítico y suprayace a la unidad de andesita-dacita.

Corresponde a coladas de lavas andesíticas, del Coyol Superior, en su mayoría con una estructura de estratificación (Foto 9-A). Sus colores varían entre gris a gris oscuro, también presenta tonos o manchas rojizas (Foto 9-B) que corresponden a alteraciones de los minerales que se están oxidando.



Foto 9. Andesita porfírica estratificada.

En la foto se puede observar dos afloramientos de diferentes sitios correspondientes a la misma unidad. A) Coordenadas 1467820N – 561370E, 771msnm. Andesita con estructura estratificada y fracturamiento vertical relleno con material erosionado de la roca madre, de color gris oscuro. B) Coordenadas 1469982N – 560697E, 712msnm. Afloramiento de andesita con tonos rojizos producto de la oxidación que se está dando en el sitio, igualmente se observa el emplazamiento de la roca en estratos.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

La alteración que se da por oxidación de la roca está asociados a procesos hidrotermales observándose en algunos de los cortes residuos de color rojo (Foto 10), así mismo la meteorización que ha sufrido produce un material blanquecino de aspecto arcilloso que se encuentran cubriendo la roca o rellenando diaclasas.



Foto 10. Corte de andesita meteorizada.

Coordenadas 1468282N – 560702E, 755msnm. Corte sobre la carretera donde se aprecia la andesita meteorizada cubierta por un material arcilloso blanquecino. Y residuos de color rojo al pie del corte.

Se diferencian de las andesitas del Grupo Matagalpa porque estas rocas constituyentes de esta unidad son más duras, lo cual indican que son físicamente más densas y tienden a ser menos afectadas por el intemperismo.

Morfológicamente se caracteriza por la presencia de cerros más altos que los de la unidad andesita-dacita, con alturas de 250 m a 300 m, delimitados por pendientes moderadamente escarpadas con valores de 40° o más, encontrándose el Cerro Capulín y el Cerro Juan Criollo; Presenta lomas con pendientes moderadas de 10° a 20° como la Loma Larga, y pequeños valles que se crean en los Ríos: Las Burras y La Majada, con pendientes suaves que van de 0° a 10°.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Macroscópicamente su textura es porfírica (Foto 11), se observa de un color gris, cuyos cristales de plagioclasas son fáciles de ver e identificar a simple vista, en ocasiones la roca se encuentra alterada por procesos de oxidación, tiéndola de un color rojizo, también la roca se expone en un tono gris oscuro.



Foto 11. Muestra de mano andesita porfírica.

A) Coordenadas 1470010N – 561547E, 748msnm. Se puede observar la muestra de color gris. A') Se aprecian las plagioclasas a simple vista en la roca. B) Coordenadas 1469982N – 560697E, 712msnm. Exteriormente posee el mismo color gris, pero internamente se encuentra alterada completamente, adquiriendo un tono rojizo, se aprecian pequeños puntos verdes, correspondientes a la cloritización.

Microscópicamente estas rocas son hipocristalinas con textura porfídica, presentando minerales como lo son: Plagioclasas, minerales ferromagnesianos y minerales metálicos (Foto 12). Se describen a continuación cada uno de estos:

**Plagioclasa:** Con un 35% se presenta en forma prismáticas alargadas de aspecto subhedral, en ocasiones manchada por cloritización y hematización, está siendo corroída por los minerales metálicos, se observa sanidina y andesina que es una plagioclasa zonada.

**Minerales ferromagnesianos:** En un 10%, se identifican piroxenos con algunos fenocristales sin alterar, de forma prismática corta alterados en su mayoría por hematización y cloritización, de igual manera se observan anfíboles con forma prismática alargadas, en su mayoría también cloritizados y hematizados; Todos poseen un aspecto subhedral.

**Minerales metálicos:** Se encuentran distribuidos en un 3% de manera general en la muestra, corroyendo a las plagioclasas y los minerales

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

ferromagnesianos; Mayormente están afectando a la matriz y son de aspecto alotriomorfos.

Matriz: Está compuesta por los mismos componentes de la roca abarcando un 42%: plagioclasas, piroxenos, anfíboles y minerales metálicos; También posee vidrio volcánico, este está siendo afectado en su mayoría por cloritización y hematización.

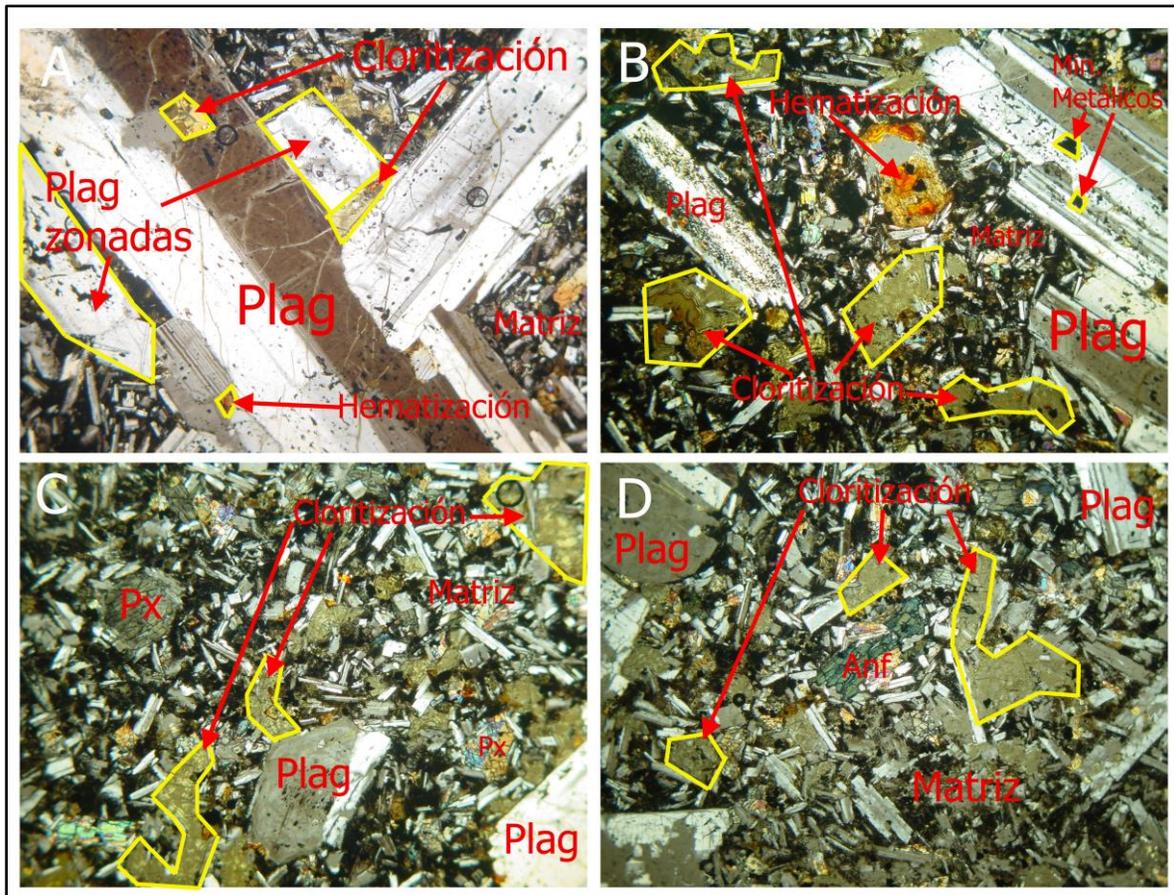


Foto 12. Andesita porfírica.

A) Fenocristales de plagioclasas (Plag) macladas y zonadas, manchadas por cloritización y hematización. Aumento: 5x. B) Fenocristales de plagioclasas (Plag) corroídas por minerales metálicos, cloritización afectando mayormente a la matriz, mineral ferromagnésiano hematizado completamente. Aumento: 5x. C y D) Presencia de plagioclasas (Plag) y minerales ferromagnesianos como piroxenos (Px) y anfíbol (Anf), y cloritización afectando a la matriz. Aumento: 5x.

5.1.1.4. Unidad Basalto andesítico.

La unidad en su totalidad abarca 63.6 Km<sup>2</sup> los cuales cubre las siguientes comunidades: Chagüite Grande, Laguna de los Hernández, El Algodonal, Los Tincos, La Montañuela, Rincón Grande, El Peñasco, Quema Venada, La Hondura Azul, La Labranza N°2, El Espino, El Gualiqueme, Las Chilcas, Los Laureles, El Progreso, América, Buena Vista, Los Andes de Sandino, El Porvenir, San Luis, La Fortuna y Santa Fe.

Dentro de esta unidad se observa en el mapa que la mayoría de las fallas trazadas están afectando al macizo rocoso, conteniendo así las fallas: Segmento oeste de San José de Pire, El Nispero, La Montañuela, Las Chilcas, La Labranza, Santa Teresa y La Hondura Azul.

Esta unidad corresponde a la de mayor extensión dentro de la microcuenca del río, se presenta de diferentes colores entre gris oscuro a negro, y por su exposición al intemperismo en los afloramientos, externamente se observan de color blanco, gris oscuro con manchas rojizas, gris claro y en algunas ocasiones se presenta de un tono azulado (Foto 13).

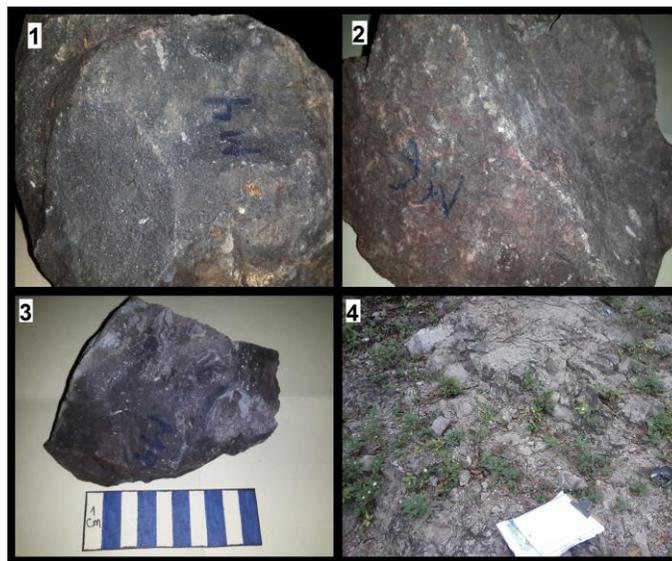


Foto 13. Colores del basalto andesítico en el terreno.

En esta foto se observa el basalto de diferentes puntos, 1) Se aprecia de manera fresca de un color gris oscuro, 2) Con manchas rojizas de oxidación, 3) Color gris claro, con un aspecto liso y de un tono azulado, 4) Con una capa blanca superficial.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Debido al grado de alteración e intemperismo que han sufrido estos afloramientos, es difícil apreciar la composición de estas rocas, sin embargo a nivel microscópico se logran definir de manera más precisa su composición. Una de las propiedades que ayudo a la definición de esta unidad fue la densidad de la roca, estas por ser rocas básicas tienden a ser más densas y pesadas, lo cual dificultaba y en algunos casos no permitía el rompimiento de esta con la piqueta de campo.

Morfológicamente se caracteriza por presentar cerros alargados delimitados por pendientes moderadamente escarpadas con valores de 20° a 40°, y alturas que van de 300 m a 350 m, como el Cerro La Oveja, Cerro El Níspero, Cerro El Salitre y Cerro Las Cumbres, formación de lomas con pendientes moderadas de hasta 20°, de las cuales están la Loma El Tabanco, Loma El Tizate y Loma De Zacatón. Además de un relieve en forma de mesa, como la Mesa El Pilón, destacándose por su superficie de pendiente suave con valores menores a 10°.

Macroscópicamente es una roca ígnea extrusiva con textura afanítica, cuyos minerales no se aprecian a simple vista, el mineral más fácil de observa con lupa es la plagioclasa que posee una forma de prisma alargados. El color de esta unidad sin alterar es gris oscuro a negro, y alterada se observa gris con manchas rojas (Foto 14), este último está oxidado, provocando que los minerales sean hematizados.

Estas rocas en ocasiones presentan pequeñas vesículas de desgasificación, que están siendo rellenadas por un material de color blanco que corresponde a carbonato de calcio, el cual reacciona al ácido clorhídrico; También se observan rellenadas con un material de color verde, el cual fue identificado en la sección delgada como cloritización.



Foto 14. Muestra de mano basalto andesítico.

A) Coordenadas 1470337N – 558181E, 1009msnm. Basalto andesítico gris oscuro. A') Ampliación de las vesículas presentes en la roca, rellenas por carbonato de calcio (color blanco) y clorita (color verde). B) Coordenadas 1468383N – 559164E, 748msnm. Basalto andesítico con tonalidad rojiza, textura afanítica.

Para esta unidad se realizaron dos secciones delgadas (Foto 15-16), con las cuales se observó que correspondían a un basalto andesítico, su textura microscópica es porfídica y en algunos sectores glomeroporfídica, con una matriz cristalina a microcristalina. Los minerales componentes observados son: Plagioclasas, minerales ferromagnesianos, olivino y minerales metálicos. A continuación la descripción a detalle de cada una de las secciones delgadas:

### **Muestra Número Uno**

**Plagioclasas:** Conforman el 45% de la muestra, se observan como cristales prismáticos alargados y cortos de aspectos subhedrales a anhedrales. Son de composición básica a intermedia (anortita, andesina) en su mayoría estos cristales aparecen maclados y algunos zonados. En algunos sectores de la muestra las plagioclasas se encuentran agrupadas entre sí, lo que da origen una textura glomeroporfídica (Foto 15-A, B y C).

**Ferromagnesianos:** Conforman el 10% de la muestra, se observan con formas prismáticas, con aspecto subhedral y anhedrales. Estos minerales se observan de tamaños muy pequeños, pero se puede distinguir que están siendo sustituidos por alteraciones de clorita. Se presume que sean cristales de anfíboles o piroxenos.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Minerales Metálicos: Constituyen el 3% de la muestra, aparecen distribuidos por toda la muestra con forma subhedral y anhedral.

La matriz conforma el 41% de la muestra, está constituida por microcristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos. Posee vesículas que constituyen el 1 % de la muestra, se encuentran distribuidas en toda la muestra, con formas irregulares (Foto 15-A, B y C).

Entre las alteraciones observadas están la cloritización que se observa rellenando a algunas de las vesículas y afectando a los minerales ferromagnesianos presentes en la muestra. Pelitización que aparece afectando a algunos cristales de plagioclasas. Y la carbonitización aparece rellenando a algunas vesículas que contiene la muestra.

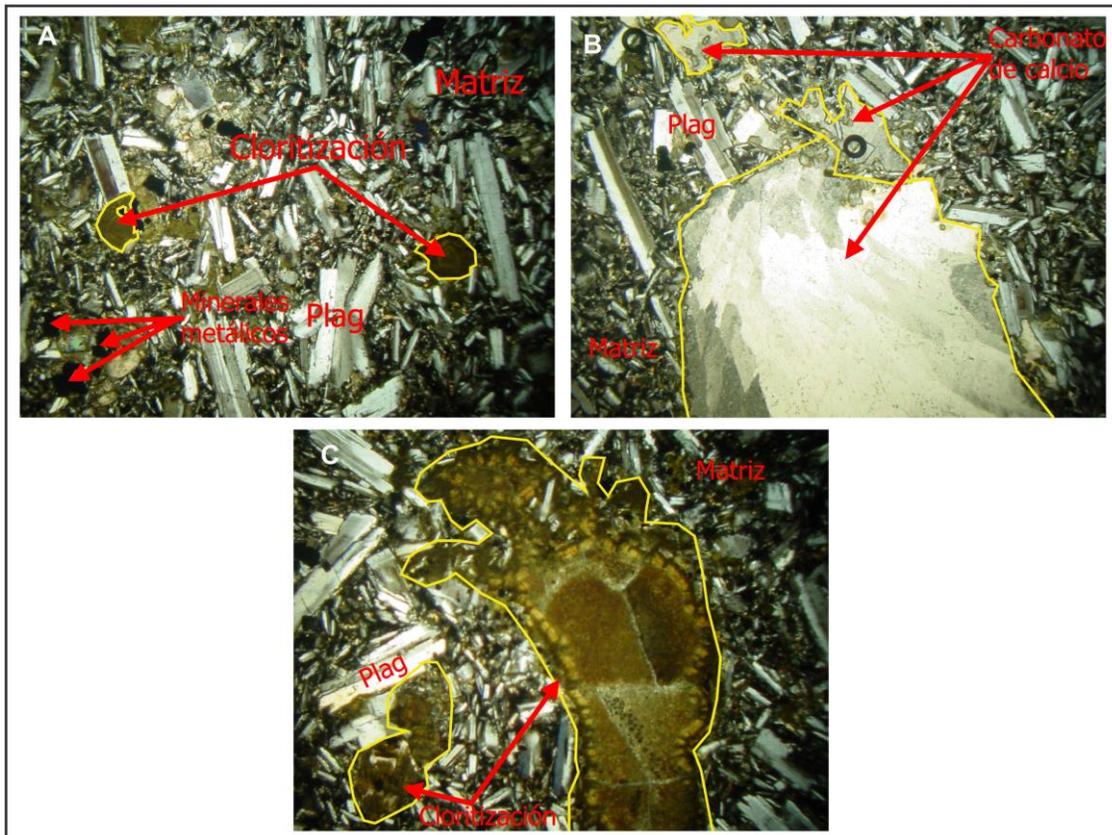


Foto 15. Muestra 1: Basalto andesítico.

A y C) Cristales de plagioclasas inmersos en matriz de la roca, a su alrededor se observan algunas vesículas rellenas por clorita, y minerales metálicos Aumento: 5x. B) Cristales de plagioclasas inmersos en matriz de la roca y alteraciones de carbonato de calcio. Aumento: 5x.

### **Muestra Número Dos**

**Plagioclasas:** Conforman el 25% de la muestra, se observan como cristales prismáticos alargados subhedrales a anhedrales. En su mayoría son de composición básica y en pequeña proporción se observan zonadas. En algunos sectores de la muestra las plagioclasas se encuentran agrupadas con otros minerales presentes en la muestra, originando una textura glomeroporfídica (Foto 16-A, C y D).

**Piroxenos (Px):** conforman el 15% de la muestra, se observan con formas prismáticas cortas, con aspecto subhedral, aparecen afectados por alteraciones de minerales metálicos. En algunas partes de la muestra aparecen agrupados con otros minerales que posee la muestra dando origen a una textura glomeroporfídica (Foto 16-A y B).

**Anfíboles:** Constituyen el 10% de la muestra, aparecen con formas prismáticas alargadas de aspecto subhedral. En algunos sectores de la muestra se les puede ver manchados por hematita. Estos aparecen agrupados con otros minerales que posee la muestra, dando origen a una textura glomeroporfídica (Foto 16-A).

**Minerales ferromagnesianos:** Conforman el 10% de la muestra, estos minerales aparecen distribuidos por toda la muestra, en su totalidad han sido sustituidos por clorita por lo que no se puede determinar en este análisis petrográfico de que mineral exactamente se trata y sus bordes se aprecian manchados por hematita y en ocasiones afectados por minerales metálicos (Foto 16-A, B y C).

**Olivino:** Constituyen el 5% de la muestra, aparecen con sus bordes corroídos por minerales metálicos (Foto 16-B).

**Minerales metálicos:** Estos conforman el 3% de la muestra aparecen distribuidos de manera irregular por toda la muestra, también se le puede ver

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

afectando los bordes de los cristales de olivino, minerales ferromagnesianos y a algunas plagioclasas (Foto 16-A y D).

La matriz conforma el 32% de la muestra, se encuentra formada por pequeños cristales de plagioclasas, piroxenos y anfíboles. Posee textura microcristalina (Foto 16-A, B, C y D).

Entre sus alteraciones esta la cloritización que se observa afectando principalmente a los minerales ferromagnesianos que contiene la muestra llegando a sustituirlos casi en su totalidad, también aparece distribuida por toda la muestra dándole en algunos sectores una tonalidad verdusca. Y la hematización aparece afectando en forma de corona a los minerales ferromagnesianos, se le puede ver también rellenando microfracturas presentes en la muestra y en ocasiones aparece manchando a la matriz.

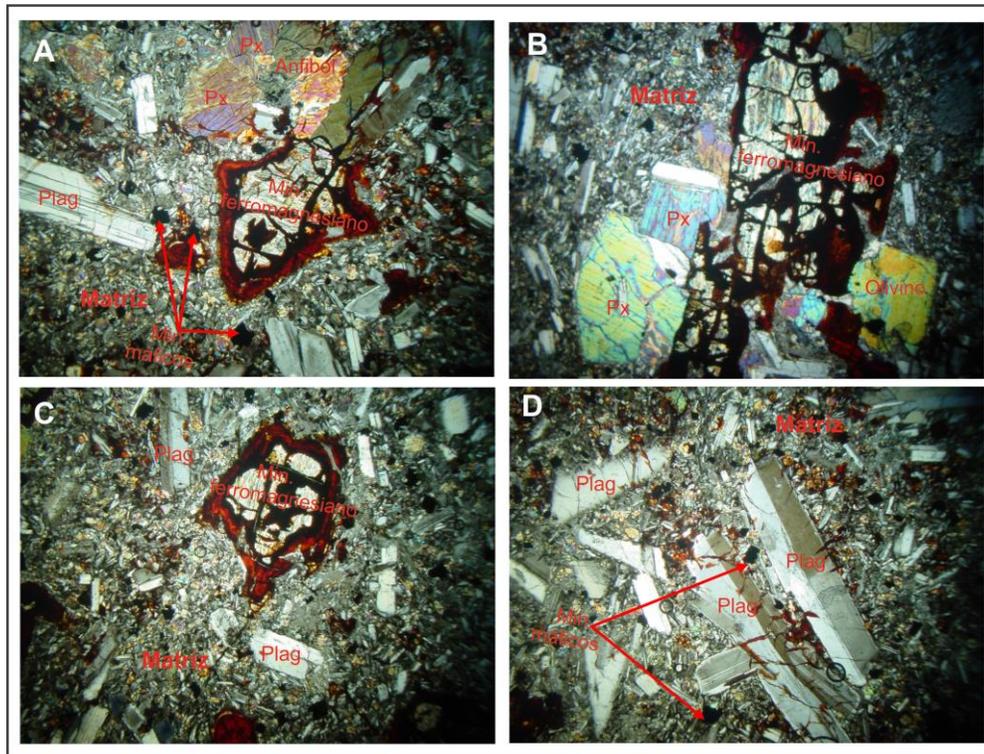


Foto 16. Muestra 2: Basalto andesítico.

A). Cristal de plagioclasa (Plag), piroxenos (Px), anfíbol, mineral ferromagnesiano alterados por hematita y minerales metálicos inmersos en matriz de la roca. Aumento: 5x. B y C). Cristales de plagioclasas (Plag), mineral ferromagnesiano alterados por hematita, olivino y piroxenos (Px) inmersos en matriz de la roca. Aumento: 5x. D). Cristales de plagioclasas (Plag) y minerales metálicos inmersos en matriz de la roca. Aumento: 5x.

5.1.1.5. Unidad Ignimbrita dacítica.

Esta unidad abarca un área aproximadamente de 7.9 Km<sup>2</sup> dentro de la microcuenca, cubriendo las comunidades: El Tule, El Roble y El Consuelo; y también se observó un afloramiento camino a la comunidad La Palagua que queda en la parte Oeste fuera de la zona de estudio. Esta unidad está siendo afectada levemente por las fallas: La Montañuela y el segmento Este de San José de Pire.

Se expone en las partes más altas del área de estudio, presentándose en dos porciones: una al Este y otra al Oeste del parte agua de la microcuenca. Corresponde a afloramientos de roca de color blanco en algunas ocasiones con tonos rosado pálido, esta unidad es la más joven del sitio y se pueden observar, en los cortes estudiados, estratos que corresponden a diferentes eventos de deposición (Foto 17).



Foto 17. Corte de Ignimbrita dacítica.

Coordenadas 1468318N – 554957E, 1221msnm. Corte de roca en donde se aprecian los estratos que se diferencian por el tono de color que poseen y el nivel de erosión que presenta ante la meteorización.

Morfológicamente se presentan cerros de 250 m a 400 m, delimitados por pendientes moderadamente escarpadas con valores de hasta 40°, entre los cuales se observan el Cerro Piedra Rajada, Cerro El Roble y Cerro Portillo El Monte.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Macroscópicamente corresponde a una roca blanda de aspecto poroso (Foto 18), con una textura vítrea se aprecian los clastos inmersos en la matriz de ceniza, se aprecian los líticos de color café oscuro a negro, y fragmentos de pómez de color blanco a rosado bajo, los minerales componentes no se pueden observar con lupa, únicamente se pueden apreciar con microscopio. De igual manera el color de la roca varía de blanco a rosado bajo.



Foto 18. Muestra de mano Ignimbrita dacítica.

A) Coordenadas 1470214N – 558182E, 954msnm. Ignimbrita dacítica de color blanco a rosado bajo, se aprecian los fragmentos de pómez. A') Ampliación de la muestra en donde se puede observar la distribución de los fragmentos líticos y la pómez. B) Coordenadas 1468318N – 554957E, 1221msnm. Ignimbrita dacítica de color blanco con mayor predominancia de los fragmentos líticos de color gris oscuro – negro, y pómez de color blanco.

Microscópicamente se pueden apreciar cristales de plagioclasas, piroxenos y minerales metálicos inmersos en una matriz de ceniza, además posee fragmentos líticos subredondeados incrustados en la muestra y cristales de pómez (Foto 19). A continuación se describe el comportamiento de los minerales componentes:

**Plagioclasas:** Se encuentran en un 10% en la muestra en forma de prismas alargados, macladas, de aspecto subhedral, estos se encuentran corroídos por los minerales metálicos.

**Piroxenos:** Con un 1% de presencia en la muestra, de aspecto subhedral y en forma de prismas cortos, inmersos en una matriz de ceniza.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Minerales metálicos: Conforman el 1% de la muestra, se observan corroyendo a la matriz y algunas plagioclasas, también se encuentran en los fragmentos líticos. Poseen un aspecto alotriomorfo.

Los fragmentos líticos conforman el 20% de la muestra, la textura que poseen es porfídica con una matriz cristalina, compuesta de plagioclasas macladas, cuarzo, minerales metálicos y minerales ferromagnesianos cloritizados. También se observan clastos de pómez que conforman el 30% de la muestra, encontrándose con una textura de fiame.

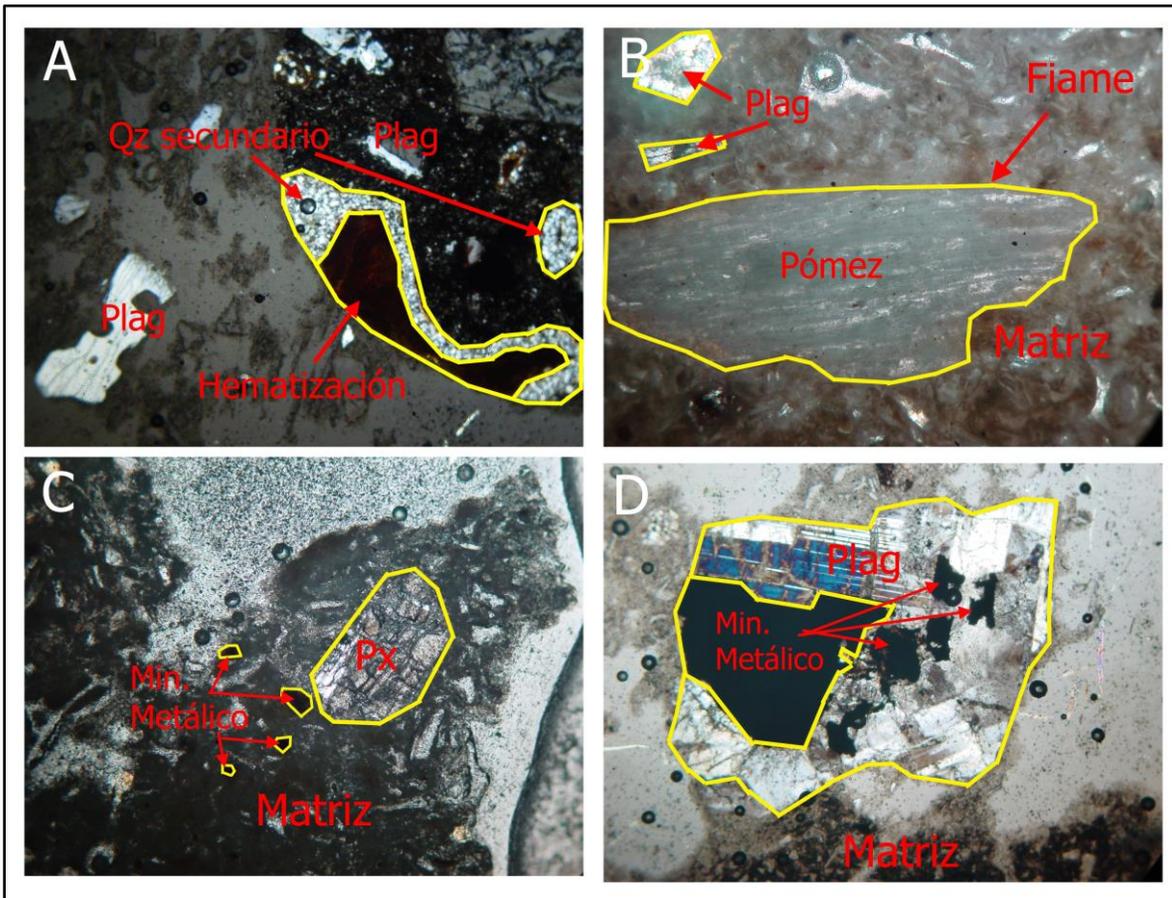


Foto 19. Ignimbrita dacítica.

A) Plagioclase (Plag) presente en la matriz de la muestra, clasto lítico de composición dacítica. Aumento: 5x. B) Pómez en estructura de fiame, presencia de plagioclasas (Plag). Aumento: 5x. C) Piroxeno (Px) con forma prismática corta, y minerales metálicos inmersos en una matriz fina. Aumento: 5x. D) Plagioclasas (Plag) corroídas por minerales metálicos. Aumento: 5x.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

### 5.1.1.6. Unidad Coluvial.

Abarca un área aproximada de 1.02 Km<sup>2</sup> y se encuentra afectada por las fallas: Santa Lucía, Santa Teresa y San José de Pire; en lo que recorre esta unidad.

Esta unidad está compuesta de rocas angulosas a subredondeadas producto del deterioro de las rocas circundantes; sobreyace a las unidades: Andesita-dacita, andesita porfirítica, y basalto andesítico. Se observa principalmente en las veredas de los ríos Pire hasta llegar al río Las Burras (Foto 20). Esta recorre las comunidades: Los Cerritos, Santa Teresa, El Níspero, La Labranza N°1 y Potrero Grande.

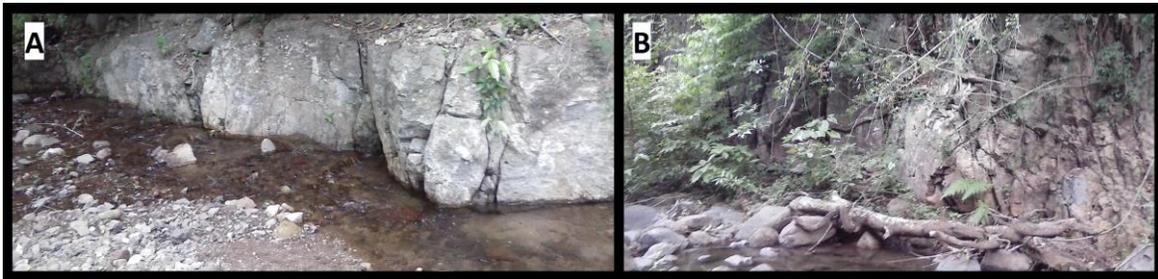


Foto 20. Sedimentos coluviales.

Se puede observar el material sedimentario con fragmentos de rocas angulosas y subredondeadas por donde corre el río, a orillas de los cortes de rocas. A) Coordenadas 1467497N – 559755E, 756msnm. B) Coordenadas 1467218N – 559964E, 763msnm.

### 5.1.1.7. Unidad Aluvial.

Abarca un área aproximada de 0.7 Km<sup>2</sup> y se encuentra afectada por la Falla Santa Lucía.

Esta unidad se logra observar desde la ciudad de Condega, hasta llegar a la comunidad Santa Teresa, recorre las veredas del río principal Pire, se encuentra compuesta por rocas meteorizadas y erosionadas, redondeadas a subredondeadas que han sido trasladadas desde los altos topográficos y recorren a través del río. Se encuentra sobreyaciendo a las unidades geológicas: Andesita glomeroporfídica y andesita-dacita.

### 5.1.2. Geología Estructural

El área de estudio se caracteriza por ser una zona predominada por rocas Volcánicas del Terciario (Mioceno tardío – Plioceno temprano), pertenecientes a los Grupo Coyol y Matagalpa. Las rocas volcánicas se caracterizan por presentar un tipo de deformación frágil, con respecto a los esfuerzos aplicados sobre estas, debido a que al aplicar un esfuerzo ya sea extensional o de compresión estas tienden mayormente a romperse y no recuperan su forma original, comportándose de una manera plástica ante los esfuerzos.

Se realizó un total de 51 puntos a estudiar a lo largo de toda la zona (Figura 16), en cada uno se observó las diferentes estructuras y geometrías presentes en las fracturas que se visualizaban.

Se observaron 11 diferentes tipos de indicadores cinemáticos que muestran existencia de fallas que actuaron en la zona, las cuales son: Vetas mayormente de sílice que se encuentran rellenas las fracturas, sigmoides, fracturas con arreglos conjugado, perpendicular y paralelo, planos o espejos de fallas, fracturas con terminación en cola de caballo, desplazamiento de fracturas, zonas de relevo, estructuras R y en échelon.

Para definir la cinemática que poseen las estructuras geológicas dentro del área de estudio, se utilizaron los criterios de cizalla e indicadores cinemáticos (Anexos 1) que permitieron la definición del movimiento de los bloques de rocas en las zonas de fallas.

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

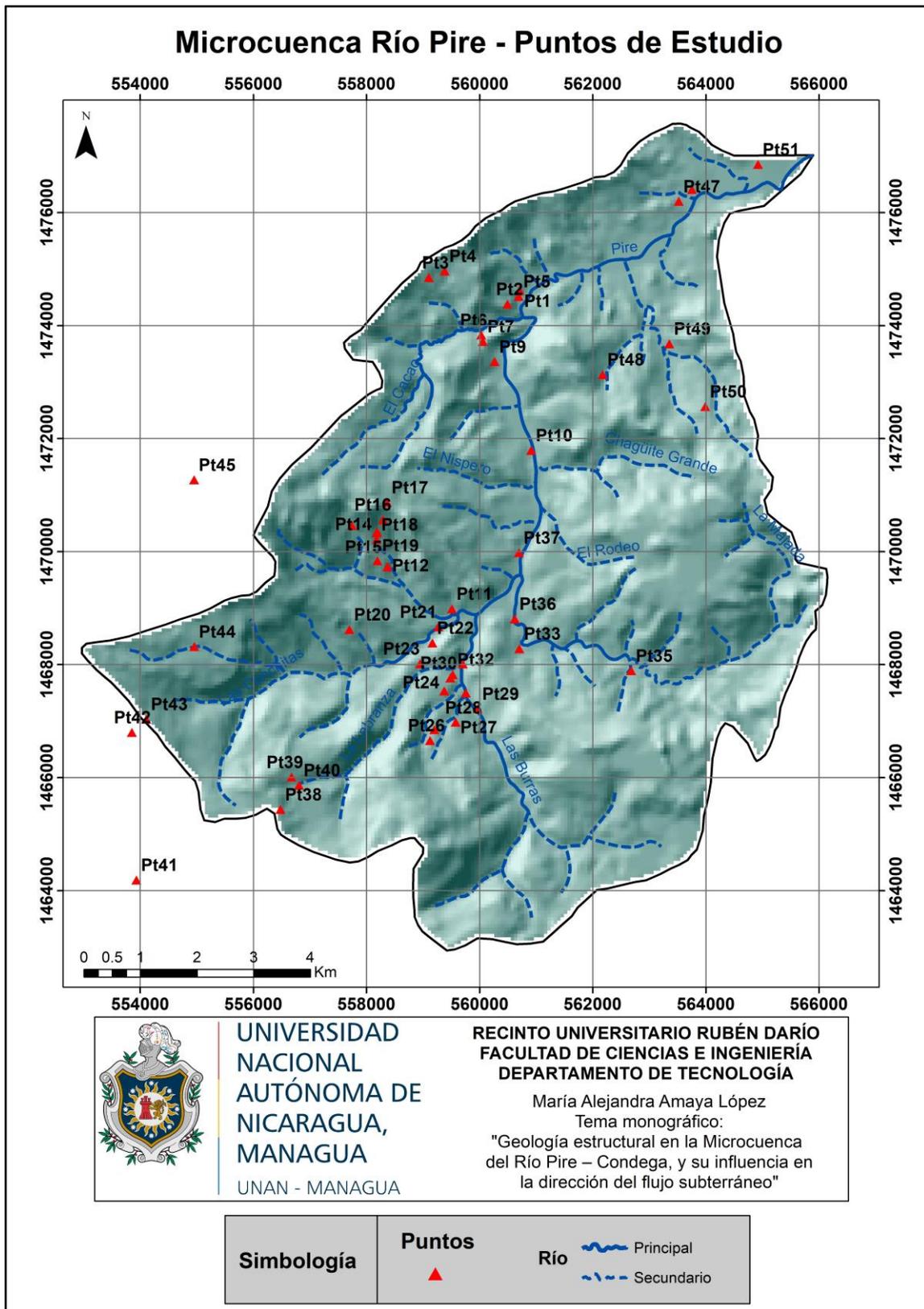


Figura 16. Puntos de estudio.

5.1.2.1. Caracterización Morfo-Estructural.

Morfología Estructural.

Para la interpretación geoestructural, se utilizaron cuatro diferentes tipos de mapas que facilitaron la determinación de estructuras presentes en la zona de estudio, de los cuales a continuación se detallan las diferentes características que posee la microcuenca en estudio, obtenidas de cada uno de ellos.

✓ Mapa Topográfico

A simple vista se puede observar en el mapa topográfico que el área de estudio es un lugar bastante accidentado debido a la cercanía que poseen las curvas de nivel, se observa con mayor predominio en la parte sur del sitio y en la parte NE (Anexo 4-Mapa Topográfico); representando zonas escarpadas en el área.

En base a las curvas se puede diferenciar dos tipos de relieves, uno bajo y suave que corresponde mayormente el área del río principal y una zona alta que cubre toda la parte de las orillas de la microcuenca.

Se puede observar también cómo las curvas se encuentran alineadas con las corrientes de los ríos; estas características, más el hecho de que tienden a ser rectos los ríos, nos indican presencia de fallas. Es decir, que tanto las curvas de nivel como los ríos están siendo controlados por una falla tectónica.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

### ✓ Mapa Altimétrico

En este mapa se puede observar la variación de altura diferenciadas por intervalos de colores que vienen desde tonos más claros las zonas más bajas y con tonos más fuertes en las zonas más altas (Anexo 5-Mapa Altimétrico).

Tomando en cuenta lo antes mencionado, en este mapa se pueden observar con mayor claridad las estructuras presentes en el área y el tipo de relieve que se encuentra. Se puede observar dos mesas en la parte Este del área representadas con un color marrón, cuyas alturas máximas son de 1000 msnm a 1200 msnm, los cuales presentan bordes con pendientes muy pronunciadas y están compuestas de basalto andesítico.

Las zonas más bajas o de relieve bajo, que van desde 540 msnm a 800 msnm, corresponde al área que recorre el río principal de la cuenca y también abarca la parte Norte del sitio. Luego hay un relieve medio con alturas que van desde 840msnm a 1100 msnm que comprenden los bordes y laderas de las zonas más altas y de las dos mesas de composición basalto andesítico, se puede observar en la parte Central y Este del sitio de estudio. Por último, están las zonas altas cuyas alturas van de 1140 msnm a 1460 msnm, hay presencia de pendientes moderadas, aunque en su mayoría el terreno es poco inclinado, este se encuentra en la parte SW del sitio.

✓ Mapa de Pendientes

En el mapa de pendiente se representan a través de una gama de colores los valores en grados correspondientes a la inclinación del terreno. Además, se puede diferenciar la geomorfología a partir del cambio de coloración de sus pendientes.

El mapa de pendientes de la zona de estudio presenta tres diferentes patrones morfológicos de acuerdo a los cambios de pendientes representados por las diferentes gamas de colores (Anexo 6-Mapa de Pendientes). Por tanto, se pueden visualizar valles y mesetas con pendientes suaves de  $0^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  representadas por tonos verdes; laderas con pendientes moderadas de  $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  representadas en tonos de color amarillo; y para zonas pronunciadas o moderadamente escarpadas las pendientes toman valores mayores a  $20^{\circ}$  representadas con tonos rojos.

Así mismo las pendientes de colores amarillos y rojos distinguen estructuras como los pequeños cerros y lomas que se encuentran dentro del área.

✓ Mapa de Modelo sombreado

El mapa de modelo de sombra es una representación tridimensional del área de estudio (Anexo 7-Mapa de Modelo de Sombra), en el cual se puede observar el relieve de la zona de una manera más directa y fácil de apreciar. Así bien son más perceptibles las estructuras que están dentro del área de estudio, como lo son las fallas, cerros, lineamientos u otro tipo de formación presente.

Con ayuda del mapa de modelo de sombra se definen de una manera más fácil y precisa las fallas que se encuentran en el área de estudio. Gracias a esto, las fallas observadas en las fotografías aéreas se pueden verificar con los trazos presentes en el relieve tridimensional que se muestran en este mapa, debido a que este (mapa de sombra) posee un mayor parecido a la imagen en relieve que se observan en las fotografías aéreas.

5.1.2.2. Fases de Fallamiento.

Los sistemas de fallas trazados en el sitio de estudio fueron interpretados a través de las fotografías aéreas a escala 1:40,000 del área, y evidenciados por los estudios realizados en campo en base a los diferentes indicadores cinemáticos observados en campo.

En el área de estudio se observan dos sistemas de fallamiento (Anexo 8- Mapa Estructural) que se encontraron actuando y deformando el sitio: NW-SE y NE-SW; las cuales se clasificaron en fases de fallamiento de actividad tectónica. Estas se catalogaron en base al movimiento del desplazamiento relativo que muestran entre ellas.

El ambiente estructural actual en la Microcuenca del Río Pire es consecuencia de la interacción las placas Coco y Caribe, cuyo fenómeno de subducción provoca esfuerzos de compresión y extensión que sobrepasan la resistencia mecánica de las rocas y producen deformación permanente, dando lugar a la formación de las estructuras geológicas en el área.

En la roseta de fractura (Figura 17) se puede apreciar la predominancia de las dos fases de fallamiento que se identificaron en el sitio, de igual manera nos indica una aplicación de esfuerzos conjugados que actuaron en la microcuenca que dieron lugar a las fallas que se encuentran deformando el área estudiada.

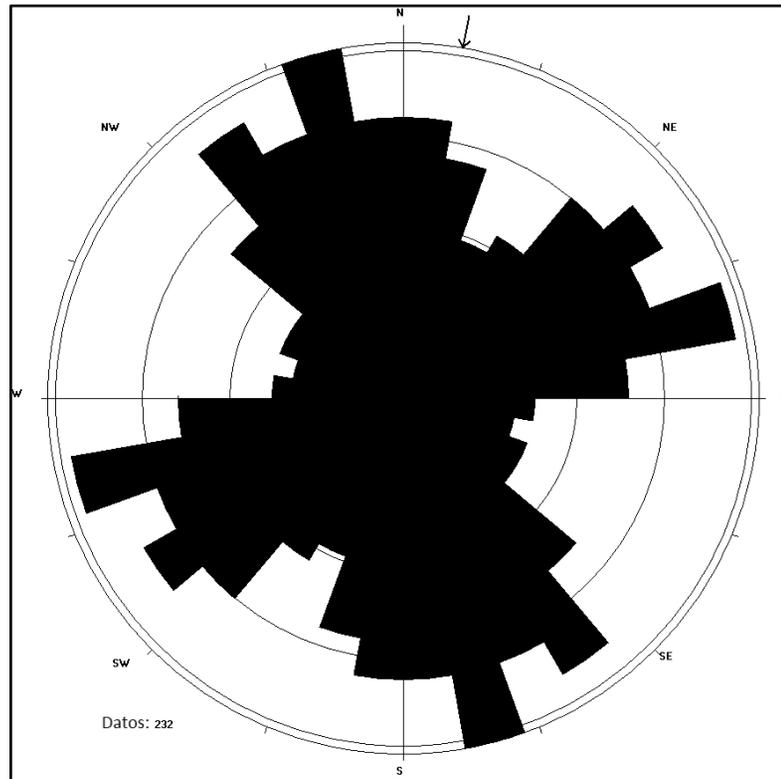


Figura 17. Roseta de fractura Microcuenca Río Pire.

### Fase de fallamiento NW-SE.

Comprende los sistemas de falla con dirección NW-SE y fue el primer evento tectónico que se dio lugar en el área de estudio. Estas Fallas en su mayoría se encuentran segmentadas y desplazadas por fallas más recientes.

Las estructuras de esta fase de falla son: Falla San Pedro, Falla Santa Teresa, Falla La Hondura Azul, Falla El Níspero y Falla La Montañuela.

#### Falla San Pedro

Ubicada al NW de la Microcuenca, abarca una longitud de 2.4 Km cerca de las comunidades San Pedro y Los Sueños. Se encuentra modificando la dirección del flujo del Río San Pedro e igualmente el relieve en la zona, creando pendientes que van de suaves a moderadas. Las unidades a las que afecta esta falla son andesita-dacita, andesita porfirítica y su rango de afectación alcanza al basalto andesítico.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Para definir la cinemática de esta falla, se describen dos sitios estudiados cerca de la zona, en donde se observan cortes que se encuentran deformados, producto de la afectación del movimiento de la falla.

El primer corte ubicado al Este de la comunidad San Pedro (Foto 21) presenta indicadores cinemáticos como: Sigmoides, estructuras R y P; los cuales se encuentran revelando el movimiento de la falla que afecta al sitio.

En este punto se observa una estructura sigmoidal que corresponden a lentes formados por cizallamiento, cuya fractura principal posee una dirección N32°W, indicando el sentido del movimiento de la falla (Foto 21-A).

También se observa una fractura principal de dirección N23°W (Foto 21-B) con estructuras R y P que se dan en zonas de cizallamiento en las fallas, las cuales se originaron por la deformación de los esfuerzos que actúan en la zona.

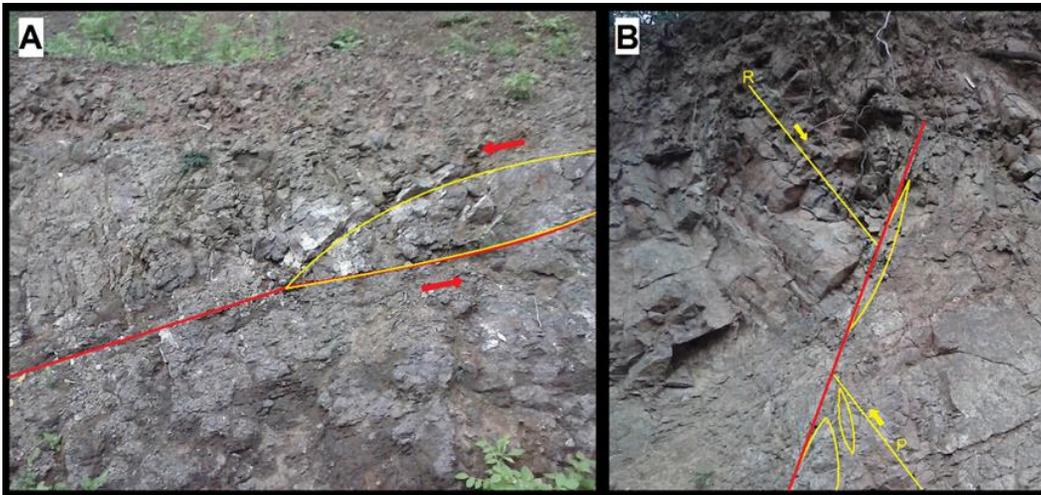


Foto 21. Corte de Andesita-dacita en Falla San Pedro.

Coordenadas 1473679N – 56335E, 655msnm. A) Movimiento de falla provocando estructuras sigmoidales B) Fracturamiento secundario que corresponden a las estructuras R y P, presencia de sigmoides.

El segundo corte es observado dentro de una finca cerca de la comunidad Los Sueños, en donde se aprecia un fuerte fracturamiento paralelo en la roca aflorante (Foto 22) con una dirección predominante N29°W, este tipo de estructura

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

se forman mayormente en puntos que delimitan zonas específicas de cizallamiento.



Foto 22. Afloramiento de Basalto andesítico en Falla San Pedro.

Coordenadas 1472568N – 563990E, 802msnm. Fuerte fracturamiento paralelo cerca de la zona de afectación de la Falla San Pedro con un rumbo predominante N29°W.

Los indicadores observados y descritos cerca de la zona de afectación de la Falla San Pedro muestran que esta falla es de carácter normal.

### Falla Santa Teresa

Esta falla está compuesta por dos segmentos con una geometría en échelon derecho, corresponde a una de las estructuras principales perteneciente a esta primera fase de fallamiento, el segmento Norte abarca una longitud de 3.7 Km, afectando las comunidades Santa Teresa y Los Tincos. Este segmento se encuentra modificando la dirección de los Ríos Pire y parte del Río El Rodeo.

También se encuentra modificando el relieve dentro de la Microcuenca, creando sitios con pendientes moderadas a moderadamente escarpadas. Las unidades que afecta son andesita-dacita, andesita porfírica y basalto andesítico.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Se estudiaron varios puntos en donde se aprecian indicadores cinemáticos producto de la deformación que se dio en el sitio a causa del segmento Norte de esta falla.

El primer sitio visitado fue cerca del Río El Cacao en el cual un corte sobre la carretera muestra a la roca completamente meteorizada y fracturada (Foto 23), se aprecia una estructura en dominó y escalonada, asociadas a un conjunto de fracturas paralelas, con un rumbo predominante de N80°W; cuyo origen está ligado a una falla lístrica, en donde el ángulo del plano de falla cambia de dirección ocasionando movimientos rotacionales en bloques delimitados por fallas sintéticas y antitéticas.

A orillas del corte se observan vetillas de sílice que fueron originados por el ascenso de fluidos a través de fracturas creadas por un esfuerzo principal de dirección NW.



Foto 23. Corte de roca en segmento Norte de Falla Santa Teresa.

Coordenadas: 1473722N – 560056E, 694msnm. A) Estructuras en dominó y escalonado, relacionadas a la presencia de una falla lístrica.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Al Norte de la comunidad Jesús María se observa un afloramiento (1473364N – 560265E) con presencia de vetas creadas por un esfuerzo de dirección N28°W. Y en un afloramiento sobre el Río Pire, al Sur de la comunidad Santa Teresa (1471793N – 560912E), hay indicadores cinemáticos como estructuras conjugadas que se producen en zonas de cizalla, además de una estructura anastomosada, las cuales se emplazan en el movimiento relativo de la falla, que presentaba una dirección N32°W.

El segmento Sur de esta falla está afectando las comunidades: La Labranza N°1, Potrero Grande y Los Laureles. Abarca una longitud de 3.5 Km dentro del área de estudio, afectando principalmente al Río Las Burras el cual presenta un aspecto recto debido a que está siendo controlado por la falla. Se encuentra modificando el relieve dándole un aspecto accidentado, creando así pendientes moderadas a moderadamente escarpadas entre 20° y 40°.

En un afloramiento de roca cerca de la comunidad Potrero Grande, se aprecian estructuras escalonadas las cuales se dan cuando el movimiento sobre el plano de falla no es continuo y suele hacer pausas antes de concluir con su desplazamiento; y un fuerte fracturamiento paralelo que afecta al sitio, con un rumbo promedio N55°W (Foto 24).

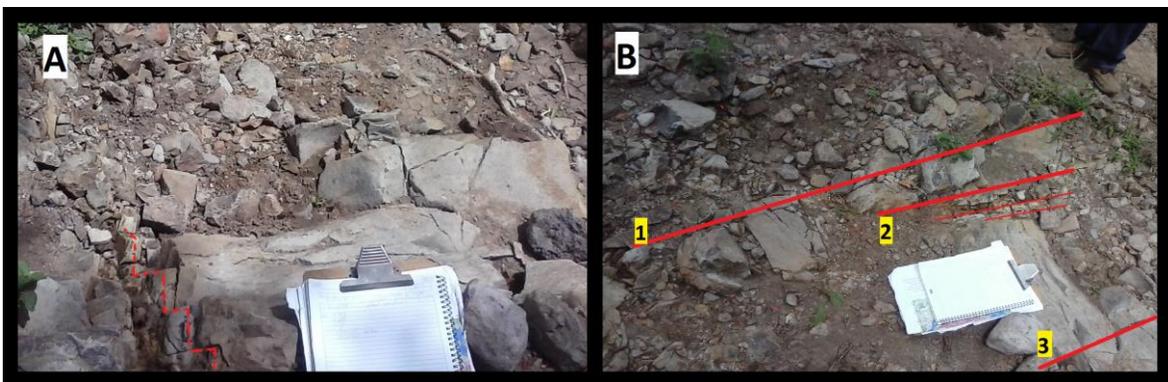


Foto 24. Afloramiento de Basalto andesítico en segmento Sur de Falla Santa Teresa.

Coordenadas 1466980N – 559579E, 824msnm. A) Estructura escalonada con dirección NW. B) Fracturas con geometría paralela rumbos 1-N75°W, 2-N44°W, 3-N64°W.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Igualmente, en esa misma comunidad se observó otro afloramiento con fracturas que poseían un rumbo promedio N78°W.

Un corte cerca de la comunidad La Labranza N°1 (Foto 25) se encontraba completamente fracturado y deformado. En este se logran identificar estructuras como: fractura con terminación en abanico que están asociadas a fallamiento de tipo transcurrente, sistema de fracturas paralelas y sigmoides que se dan en zonas de cizallas, todas estas con una predominancia en su rumbo hacia el NW, producidas por esfuerzos de compresión; exponiendo un leve movimiento en la vertical.

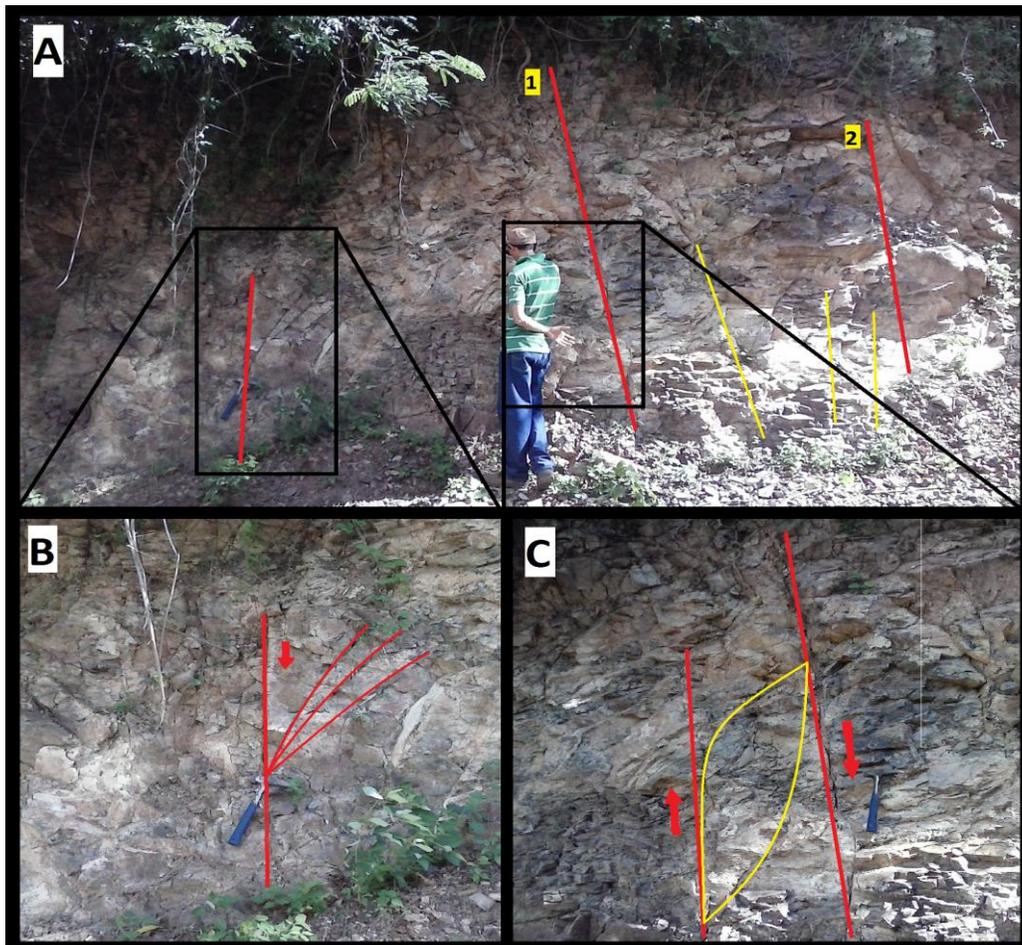


Foto 25. Corte de Basalto andesítico en segmento Sur de Falla Santa Teresa.

Coordenadas 1467824N – 559524E, 767msnm. A) Corte deformado con un sistema de fracturas paralelas con rumbos 1-N27°W, 2-N24°W. B) Fractura con geometría en terminación de abanico, rumbo N20°W. C) Fracturamiento creando una estructura sigmoidal que indica un movimiento normal de la falla.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Todos estos indicadores cinemáticos encontrados alrededor de la zona de afectación de la falla muestran que esta es una falla lateral derecha.

### Falla La Hondura Azul

Se encuentra entre las comunidades: El Zorrillo, Quema Venado, El Espino, La Hondura Azul y El Gualiqueme, con dirección NW influenciando el curso central del Río La Majada. Posee una longitud de 2.1 Km modificando el relieve en esta zona, en donde se forman pendientes moderadas. Afecta a las unidades andesita porfírica y basalto andesítico.

Uno de los puntos estudiados para esta falla, al sur de la comunidad El Zorrillo, muestra un corte de roca y un afloramiento frente al corte (Foto 26), en donde se observan indicadores cinemáticos, asociados a una falla lístrica, como: fractura con terminación en cola de caballo, una estructura en dominó, sigmoides y fracturas paralelas; con una dirección predominante N59°W.

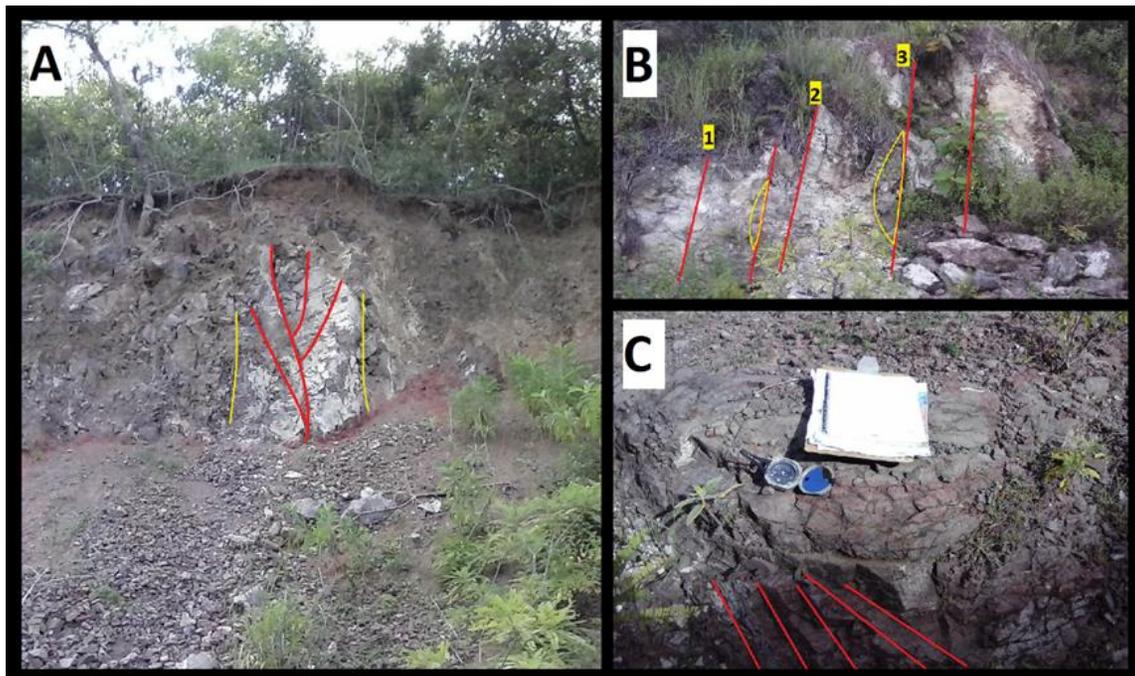


Foto 26. Corte de andesita porfírica en Falla La Hondura Azul.

Coordenadas 1468282N – 560702E, 755msnm. A) Fracturación paralela con una estructura en terminación cola de caballo. B) Fracturación paralela con estructura en dominó y sigmoides, rumbos 1-N70°W, 2-N85°W, 3-N80°W. C) Fracturación paralela con rumbos: N60°W, N55°W, N32°W.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Y cerca de la comunidad La Hondura Azul se observa un afloramiento de basalto andesítico (Foto 27) que presenta dos planos de falla paralelos y estructuras sigmoidales que dan un aspecto anastomasado. Estos planos o espejos de fallas son producto del movimiento de la falla que deja un plano o superficie lisa sobresaliendo en el plano de fractura.

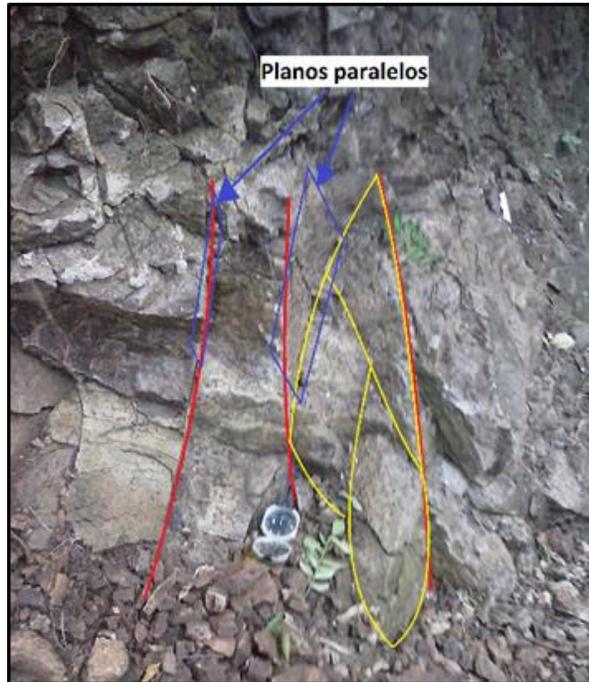


Foto 27. Afloramiento de Basalto andesítico en Falla La Hondura Azul.

Coordenadas 1467892N – 562681E, 796msnm. Fracturación paralela con dos planos de falla y estructuras sigmoidales, con un rumbo predominante de N45°W.

La interpretación de los indicadores cinemáticos observados alrededor de la zona de la Falla indica que es de carácter normal.

### Falla El Níspero

Corresponde a un sistema de fallas paralelas conformada por dos estructuras lineales con una dirección predominante N84°W, poseen longitudes de 2 Km y 1.4 Km respectivamente, y se encuentran afectando las comunidades El Algodonel y El Níspero. Estas fallas no se visitaron en campo, pero con el análisis

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

fotogeológico y los mapas de relieve de sombra, altimétrico y de curvas demuestra la existencia de estas fallas.

Estas fallas están modificando la dirección de dos tributarios del Río Pire que se encuentran de manera paralela uno del otro por la misma afectación de esta, uno de este río es el Río EL Níspero. Afecta a las unidades andesita porfirítica y basalto andesítico.

El relieve que se forma debido a la afectación de estas fallas son lomas con pendientes moderadas y en algunas partes suaves, esta última se da principalmente en la confluencia de los ríos tributarios con el Río Pire.

### Falla La Montañuela

Es una falla de dirección NW con una longitud de 2.9 Km, que recorre desde la comunidad La Naranjita, afectando Rincón Grande, La Montañuela, El Tule hasta llegar a la comunidad El Roble. Está influenciando la dirección del flujo del Río La Montañuela, creando pendientes en la zona que van de moderadas a moderadamente escarpadas que dan un aspecto accidentado al relieve. Afecta a las unidades andesita porfirítica, basalto andesítico e Ignimbrita dacítica.

Para la dinámica de esta falla se logra observar un afloramiento de roca que se encuentra dentro de la zona de afectación de los esfuerzos que provocó, este punto se encuentra en la comunidad El Tule, en el cual se logra ver la roca completamente fracturada. Este fracturamiento poseía una geometría paralela a sub paralelas y fracturamiento conjugado los cuales se forman en zonas de cizalla, además se observa que varias de las fracturas se encuentran rellenas de sílice producto del ascenso de este fluido, creando venas de sílice en la zona.

Al procesar las mediciones de este sitio se obtiene una roseta de fracturas (Figura 18) que indica una dirección predominante N24°W, mostrando en la forma del diagrama el fracturamiento conjugado observado en el campo. Todos estos datos permiten definir esta estructura como una falla de comportamiento normal.

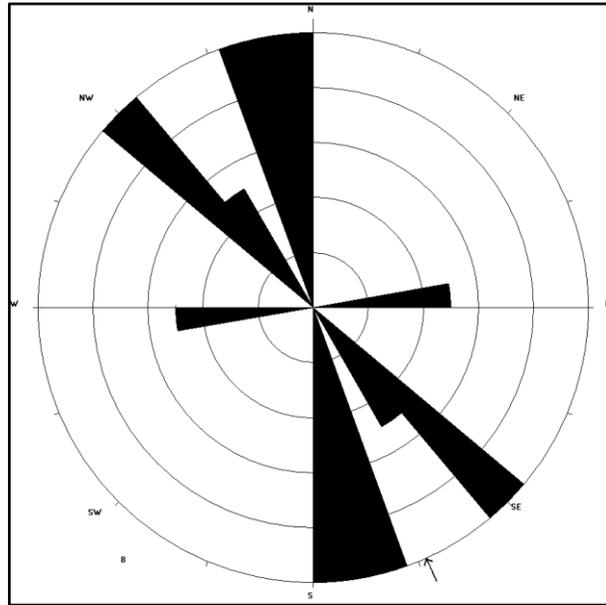


Figura 18. Roseta de fracturas de la Falla La Montañuela.

### Fase de fallamiento NE-SW

Esta fase corresponde al segundo evento presente en la zona de estudio, comprende los sistemas de fallas con direcciones NE-SW y se encuentran desplazando a las fallas de la primera fase.

Las estructuras que pertenecen a esta fase son: Falla Santa Lucía, Falla San José de Pire, Falla Las Chilcas y Falla La Labranza.

### Falla Santa Lucía

Es una de las fallas importantes que definen esta fase de fallamiento, se encuentra cortando la comunidad de Santa Lucía en la microcuenca en el sector Norte, de ahí su derivación del nombre. Esta falla posee una dirección aproximada de N62°E y su buzamiento en dirección NW, abarca una longitud de 6.7 Km dentro de la microcuenca.

Se encuentra modificando la dirección de los ríos: Pire (en la parte norte) que recorre las comunidades Francisco Luis Espinoza, Culse hasta llegar a Los

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Cerritos; y el río El Cacao. Además, forma pendientes suaves y moderadas en el relieve. Afectando a las unidades andesita glomeroporfídica y andesita-dacita.

Para lograr definir la cinemática de la falla Santa Lucía y el sentido del movimiento de esta, se estudiaron varios afloramientos alrededor de esta zona y en cada punto se lograron identificar vestigios de la actividad de esta.

Se observó un corte sobre la carretera cerca del Río El Cacao (Foto 28) en el cual se observaron dos planos de fallas indicando la superficie en donde se da el movimiento de esta, formando una geometría paralela con direcciones N11°E y N15°E, y buzamientos 75°NW y 68°NW respectivamente. En la parte inferior del corte, se observan fracturas paralelas con la misma dirección de los planos, incluyendo presencia de vetas de sílice.

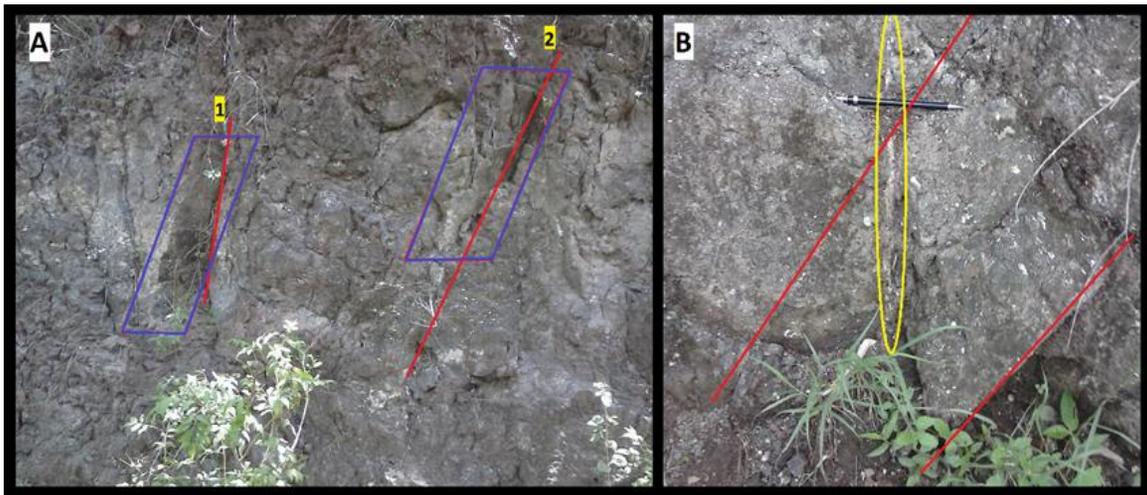


Foto 28. Corte de Andesita-dacita en Falla Santa Lucía.

Coordenadas 1473834N – 560030E, 693msnm. A) Planos de falla con geometría paralela, rumbos 1-N11°E, 2-N15°E. B) Fractura paralelas con un rumbo predominante N15°E, encerrado en amarillo se encuentra la presencia de vetilla rellena de sílice.

Dos cortes sobre la carretera cerca de la comunidad Los Cerritos (Foto 29), poseen estructuras con dirección N80°E que forman sigmoides, fracturas paralelas a subparalelas con dirección predominante N65°E, fracturas conjugadas y presencia de vetillas rellenas de sílice. Hay indicadores de que el sitio se encuentra afectado por una falla lístrica.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

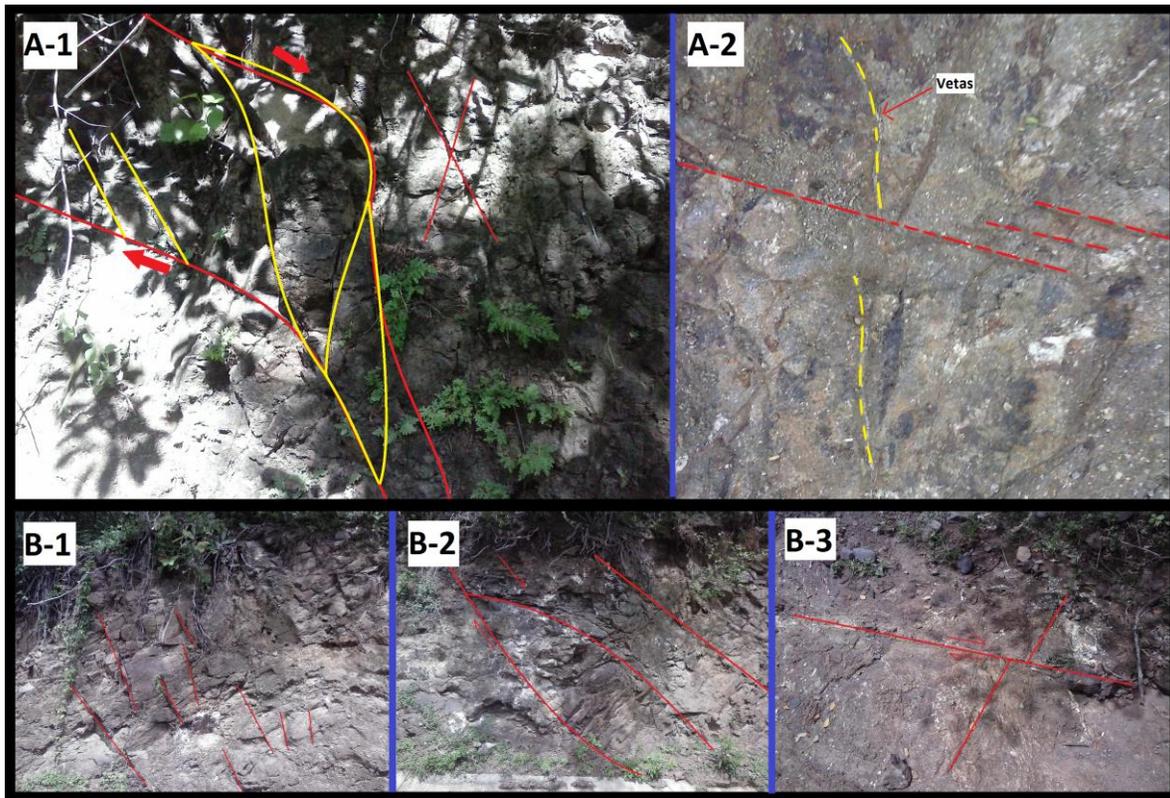


Foto 29. Cortes de Andesita-dacita en Falla Santa Lucía.

A) Coordenadas 1474628N – 560706E, 637msnm. A-1) Fracturas creando estructuras sigmoidales que indican un movimiento normal, presencia de fracturas conjugadas rumbos: N74°E y N8°E, A-2) Fracturas con geometría en relay y presencia de vetas rellenas de sílice. B) Coordenadas 1474518N – 560692E, 635msnm. B-1) Fracturas con geometría paralela a subparalela, rumbo predominante N65°E, B-2) Fracturas formando una estructura sigmoidal rumbo N80°E. B-3) Desplazamiento de fracturas NW por una fractura dirección N78°E.

Luego un corte ubicado en las cercanías de la comunidad Francisco Luis Espinoza, se encontraba completamente fracturado (Foto 30), presentando en la zona de cizalla estructuras de sistemas conjugados, fracturamiento en cola de caballo con dirección N78°E, en este mismo se aprecia un plano de falla representando la superficie de esta, y presencia de vetillas de sílice.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

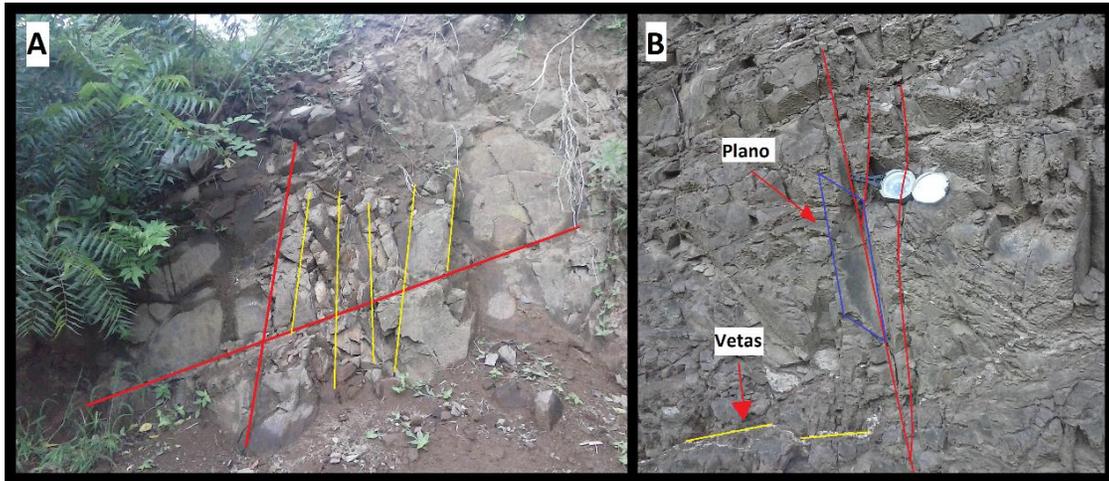


Foto 30. Corte de Andesita glomeroporfídica en Falla Santa Lucía.

Coordenadas 1476409N – 563757E, 579msnm. A) Fracturas conjugadas y fracturamiento paralelo con un rumbo predominante N80°E. B) Estructura con terminación en cola de caballo rumbo N78°E, presencia de plano de falla y vetas rellenas de sílice.

La presencia de los indicadores mencionados anteriormente expone que la Falla Santa Lucía es de carácter normal con un movimiento lateral derecho.

### Falla San José de Pire

Esta falla está compuesta por dos segmentos con una zona de relevo aproximadamente de 3.1 Km, la cual fue provocada por la resistencia del material al rompimiento de la falla que hizo que esta saltara. El segmento Oeste tiene una longitud de 4.2 Km que se encuentra afectando desde la comunidad EL Rodeo pasando por las comunidades La Naranjita, San José de Pire hasta llegar al Río El Peñasco el cual está siendo controlado por esta falla. De igual manera se encuentra controlando parte del Río Las Burras y modificando el relieve que expresa pendientes suaves a moderadas. Afecta a las unidades andesita porfírica y basalto andesítico.

Para definir la cinemática de este segmento, se observaron varios afloramientos en donde se encontraron diferentes indicadores cinemáticos, evidenciando la presencia de esfuerzos que estuvieron deformando y fracturando la roca.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Se observó un corte en la comunidad San José de Pire que se encuentra sobre la falla en cuestión, se aprecia claramente la zona de cizalla, este se encuentra fuertemente fracturado creando una geometría anastomasada en el corte (Foto 31-A), cuyas direcciones paralelas a subparalelas oscilan entre N60°E y N57°E. Un afloramiento en el Río Las Burras muestra un fracturamiento con estructuras sigmoidales dando un aspecto anastomasado (Foto 31-B) que indican un leve movimiento vertical de la falla, cuya dirección es N15°E. Luego un afloramiento al NW de la comunidad El Rodeo se observa un plano de falla (Foto 31-C) con rumbo N57°E, el cual está cortando y desplazando un bloque de roca de manera vertical.

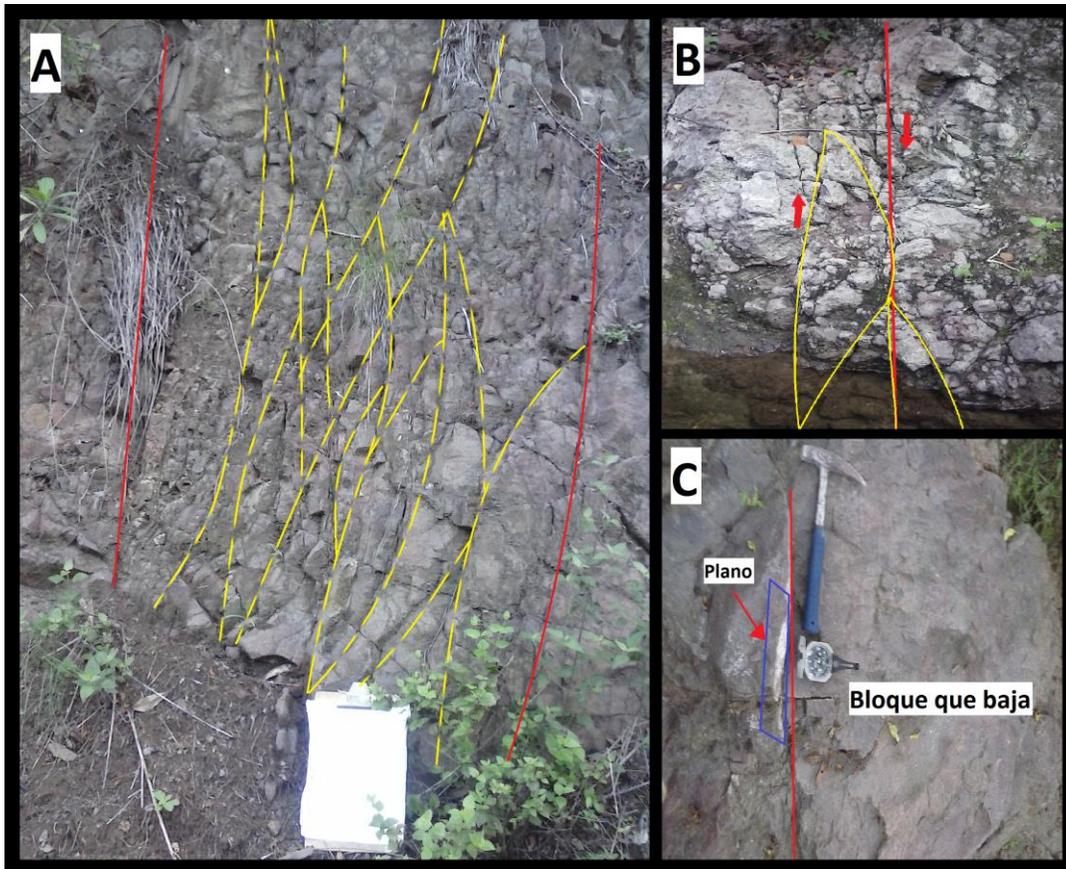


Foto 31. Cortes y afloramiento del segmento Oeste en Falla San José de Pire.

A) Coordenadas 1468383N – 559165E, 748msnm. Fracturas paralelas a subparalelas que forman una estructura con geometría anastomasada. B) Coordenadas 1468667N – 559271E, 721msnm. Fractura con estructuras sigmoidales. C) Coordenadas 1469982N – 560697E, 712msnm. Bloque desplazado por falla NE, indicadores de plano de falla.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Otro sitio estudiado se encuentra sobre el Río Las Burras al Este de la comunidad El Zorrillo, en el cual se observa una fuerte mineralización que se encuentra rellenando el fracturamiento provocado por la falla en el sitio (Foto 32), creando venas rellenas de sílice, las cuales muestra un fracturamiento inicial NW desplazado por fracturas NE que indican un movimiento lateral derecho.

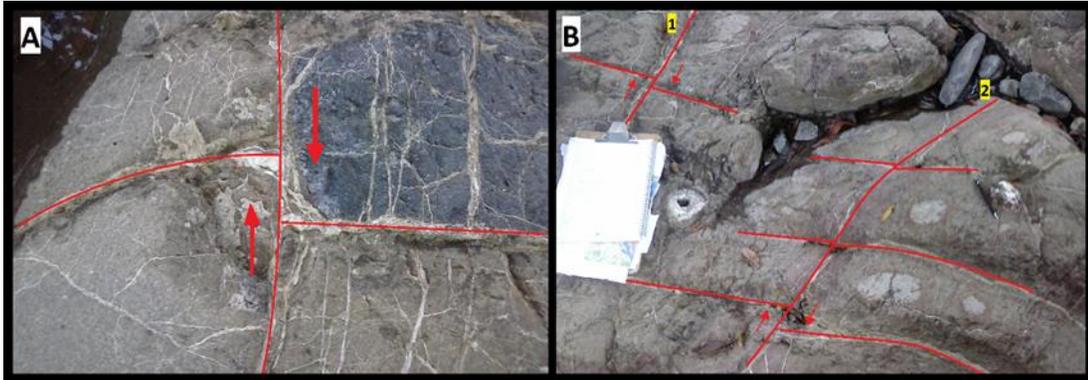


Foto 32. Afloramiento de Andesita porfírica del segmento Oeste en Falla San José de Pire.

Coordenadas 1468810N – 560621E, 698msnm. A) Fractura de rumbo N40°E desplazando a fracturas N52°W. B) Fracturas NE desplazando a fracturas NW, rumbos 1-N22°E, 2-N27°E.

El segmento Este de esta falla abarca una longitud de 4.4 Km dentro de la microcuenca, afecta principalmente el curso del Río La Majada y modifica el relieve de la zona formando pendientes que van desde suaves a moderadas.

Este segmento no se logró estudiar en campo sin embargo el análisis fotogeológico en conjunto con los mapas de relieve de sombra, altimétrico y de curvas define la existencia de estas fallas debido al lineamiento que posee el Río La Majada y la topografía presente.

La presencia de los indicadores cinemáticos descritos y observados en los diferentes puntos estudiados a lo largo de la falla, muestran que esta corresponde a una falla de carácter normal con un movimiento lateral derecho.

### Falla Las Chilcas

Con una longitud de 1.3 Km se encuentra afectando la comunidad Las Chilcas, influenciando uno de los ríos tributarios del Río El Peñasco y formando

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

pendientes moderadamente escarpadas en el relieve de esa zona. Afectando a la unidad basalto andesítico.

Esta falla no fue visitada en el campo, por tanto, no se logró identificar, sin embargo, por el análisis de la fotogeología y los mapas de modelo de sombra, altimétrico, pendiente y curvas, se definió la existencia de esta falla que se encuentra afectando el sitio.

### Falla La Labranza

Está conformada por dos estructuras lineales de longitudes 2.4 Km y 1.5 Km con una geometría paralela que están controlando la dirección de dos ríos, siendo: Río La Labranza y Río Potrero Grande; estos se encuentran corriendo paralelamente entre sí. Este fallamiento posee una dirección aproximada N45°E, se encuentra creando un relieve brusco y accidentado en la zona, presentando pendientes que van de moderadas a moderadamente escarpadas. Se encuentra afectando a la unidad de basalto andesítico.

Para el análisis de la dinámica de este sistema de fallas se estudiaron afloramientos y cortes de camino cerca de este sitio, en los cuales se logran observar indicadores cinemáticos que evidencian la actividad de esta.

Cerca de la comunidad La Labranza N°1 se observa un afloramiento de basalto andesítico fracturado, este presenta indicadores como lo es un fracturamiento paralelo evidenciando la zona de cizalla, y sigmoides producto del esfuerzo aplicado en la zona (Foto 33-A); con una dirección predominante N11°E. Y al sur de la comunidad América se observa un corte (Foto 33-B) en donde la roca aflorante está completamente fracturada y deformada por los esfuerzos que se dan en el sitio. En este corte se observa una estructura R con un fracturamiento de dirección N44°E.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

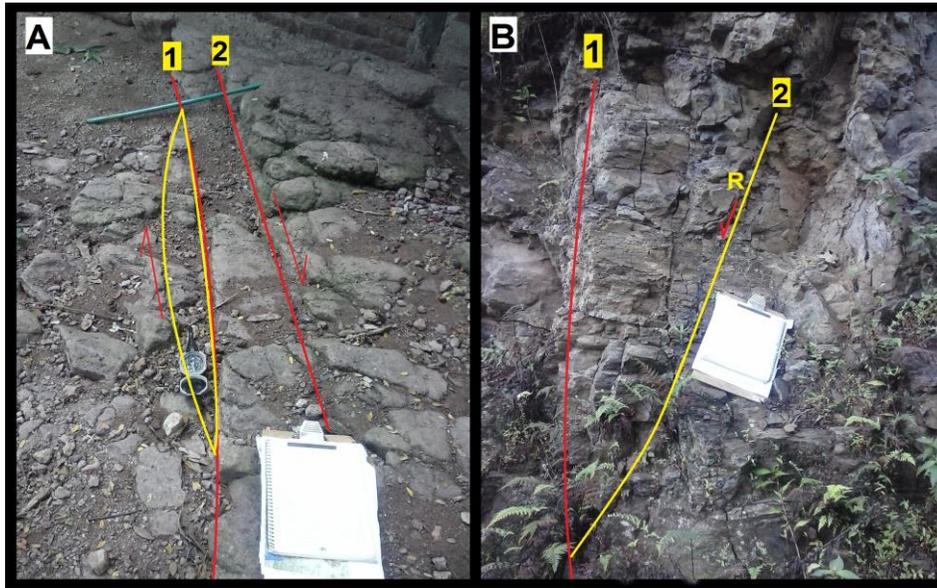


Foto 33. Afloramiento y corte de Basalto andesítico en Falla La Labranza.

A) Coordenadas 1468016N – 558949E, 804msnm. Fracturación paralela con sigmoide, dirección 1-N15°E, 2-N7°E. B) Coordenadas 1465865N – 556806E, 1205msnm. Fractura con estructura R dirección 1-N44°E, 2-N50°E.

Luego se observan dos afloramientos de rocas cerca de la comunidad Los Laureles, estos presentan un fracturamiento similar en ambos puntos, con una fracturación en geometría paralela bien marcada (Foto 34). En uno de los puntos se observa un desplazamiento de fracturas cuyo comportamiento indica que las fracturas con dirección NW están siendo desplazadas por el fracturamiento NE.

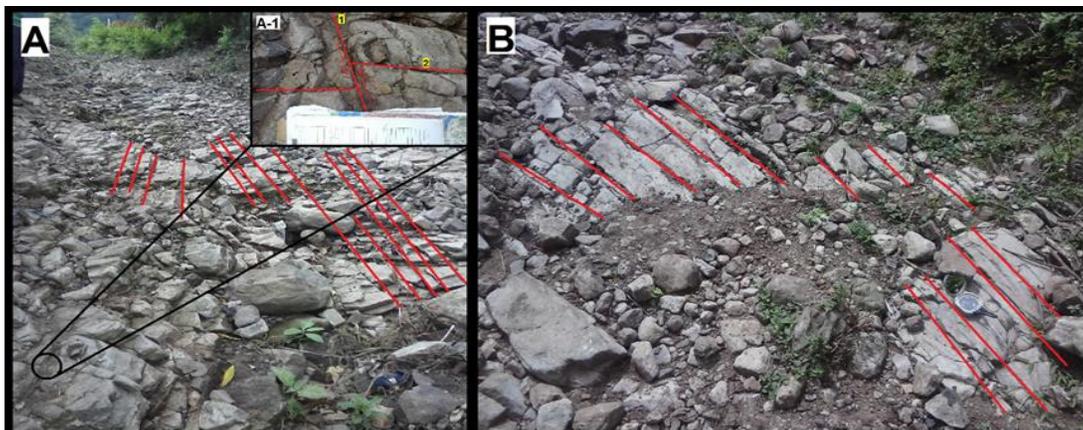


Foto 34. Afloramiento de Basalto andesítico en Falla La Labranza.

A) Coordenadas 1466850N – 559201E, 879msnm. Fracturación paralela con una dirección predominante N55°E; en A-1 se puede observar el desplazamiento de fracturas con dirección 1-N58°E, 2-N13°W. B) Coordenadas 1466657N – 559124E, 912msnm. Fracturación con geometría paralela, direcciones medidas: N15°E, N24°E, N10°E.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Los indicadores cinemáticos observados en los cortes y afloramientos estudiados en los alrededores de la falla demuestran que esta es de carácter normal con un movimiento lateral derecho.

### 5.1.3. Hidrología

El Río Pire es un afluente del Río Estelí, mismo que es tributario principal del Río Coco: La Microcuenca del Río Pire es exorreica. (Figura 19).

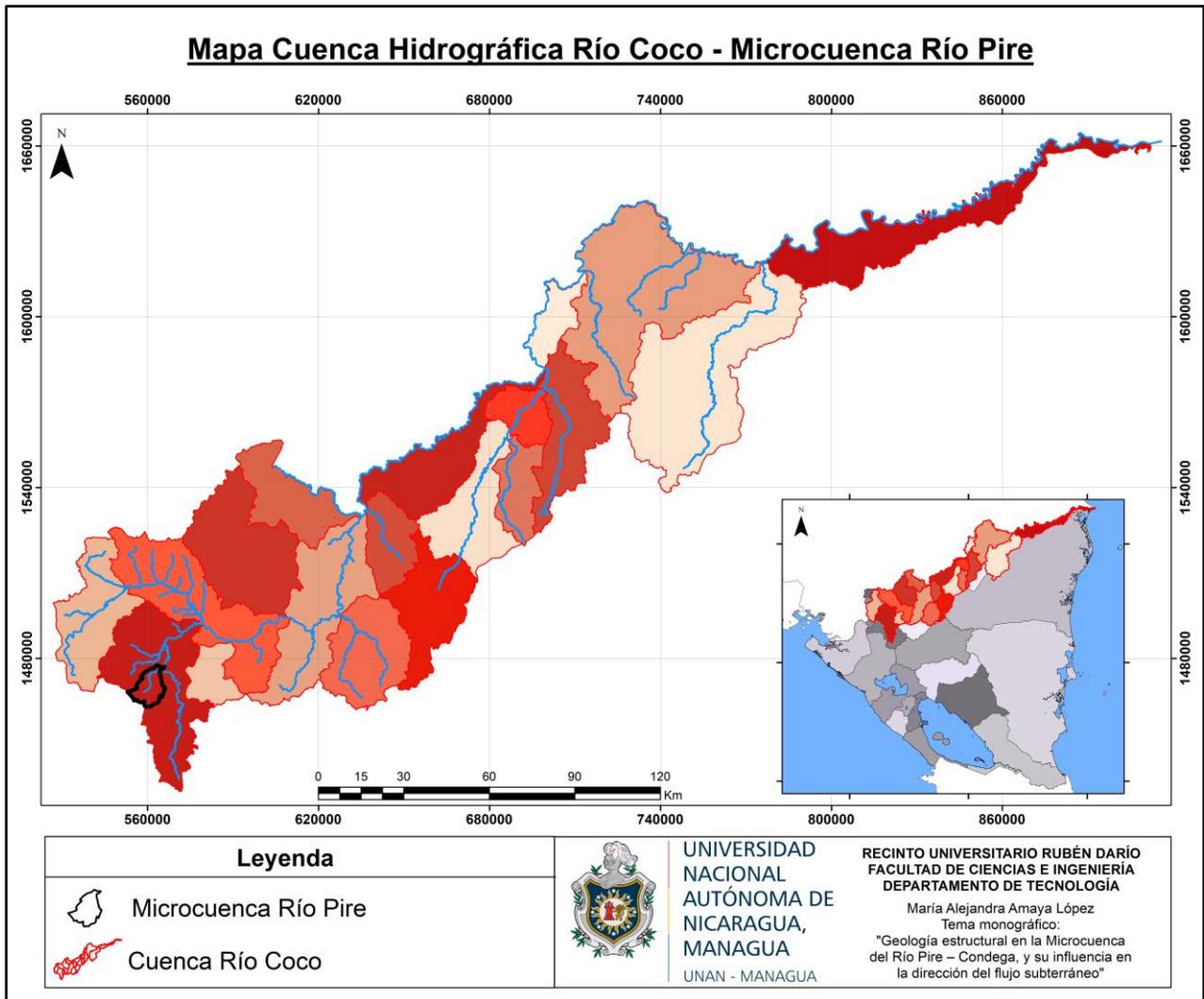


Figura 19. Mapa Cuenca Hidrográfica del Río Coco – Ubicación de la Microcuenca Río Pire.

Fuente: MARENA 2010

La Microcuenca del Río Pire está compuesta por 18 ríos: Pire, El Cacao, Las Burras, La Majada, Agua Caliente, Chagüite Grande, Cofradía, El Níspero, El

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Peñasco, El Rodeo, La Labranza, La Laguna, La Montañuela, La Pita, La Rana, Las Conchitas, Potrero Grande y San Pedro. De los cuales cuatro son permanentes (Pire, El Cacao, Las Burras y La Majada) y los demás son intermitentes o estacionarios (Figura 20).

Se puede observar que los ríos permanentes se encuentran afectados por las estructuras de fallas principales, caracterizadas como fallas laterales derecha, mientras que los ríos intermitentes en ocasiones están siendo influenciados por fallas normales, como los Ríos La Montañuela y San Pedro. Estas estructuras actúan como canales que redirigen las aguas superficiales, estimulando a que los ríos drenen de una manera más rápida hacia los cauces principales, impidiendo que los ríos como La Labranza y Potrero Grande puedan mantener un caudal permanente y ríos como Las Burras puedan mantener su caudal debido al arreglo casi perpendicular que poseen las fallas que afectan a dichos ríos.

Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

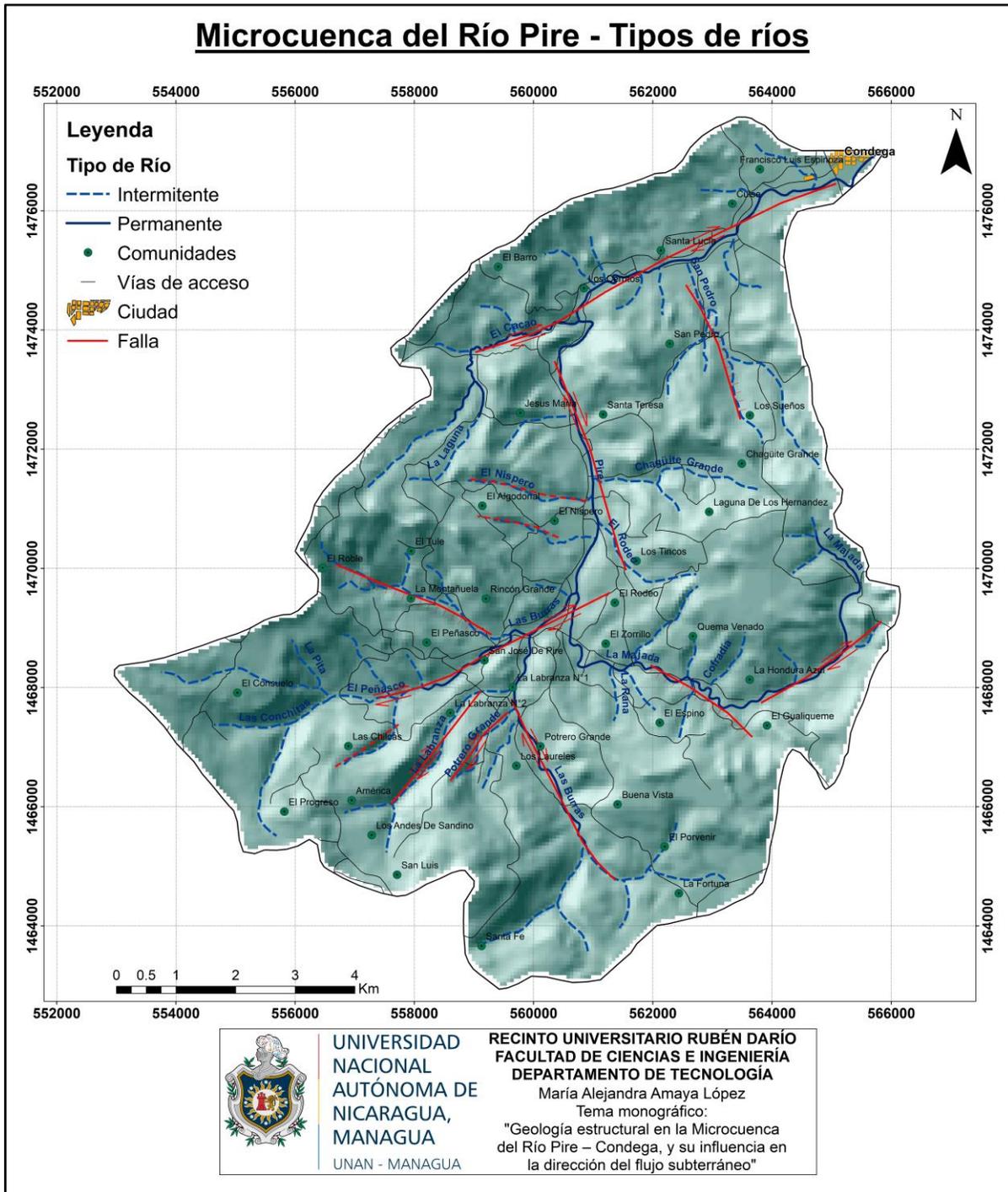


Figura 20. Ríos intermitentes y permanentes del Río Pire.

Según la clasificación de Horton, el Río Pire es un río de cuarto orden en su confluencia con el río Estelí. La red la componen 42 ríos de primer orden, 11 de segundo orden, 4 de tercer orden y uno de cuarto orden. La formación de tantos



## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

El Río Pire posee una red de drenaje dendrítica en la parte alta, semejando ramificaciones de árboles, subparalela en la confluencia de los tributarios mayores al río principal en la parte media y en ocasiones se comporta de manera perpendicular en la parte alta (Figura 22). La red dedrítica se forma cuando las rocas en el sitio son resistentes a la erosión uniforme, expresando que el área de estudio se encuentra dominado por rocas macizas, las cuales ya fueron descritas como rocas ígneas extrusivas. El patrón subparalelo está controlado por fallas, grietas y fracturas como es el caso del Río El Níspero. Igualmente ocurre con el patrón de drenaje perpendicular que se encuentra influenciado por el fallamiento perpendicular de la zona en los ríos La Labranza y Potrero Grande.

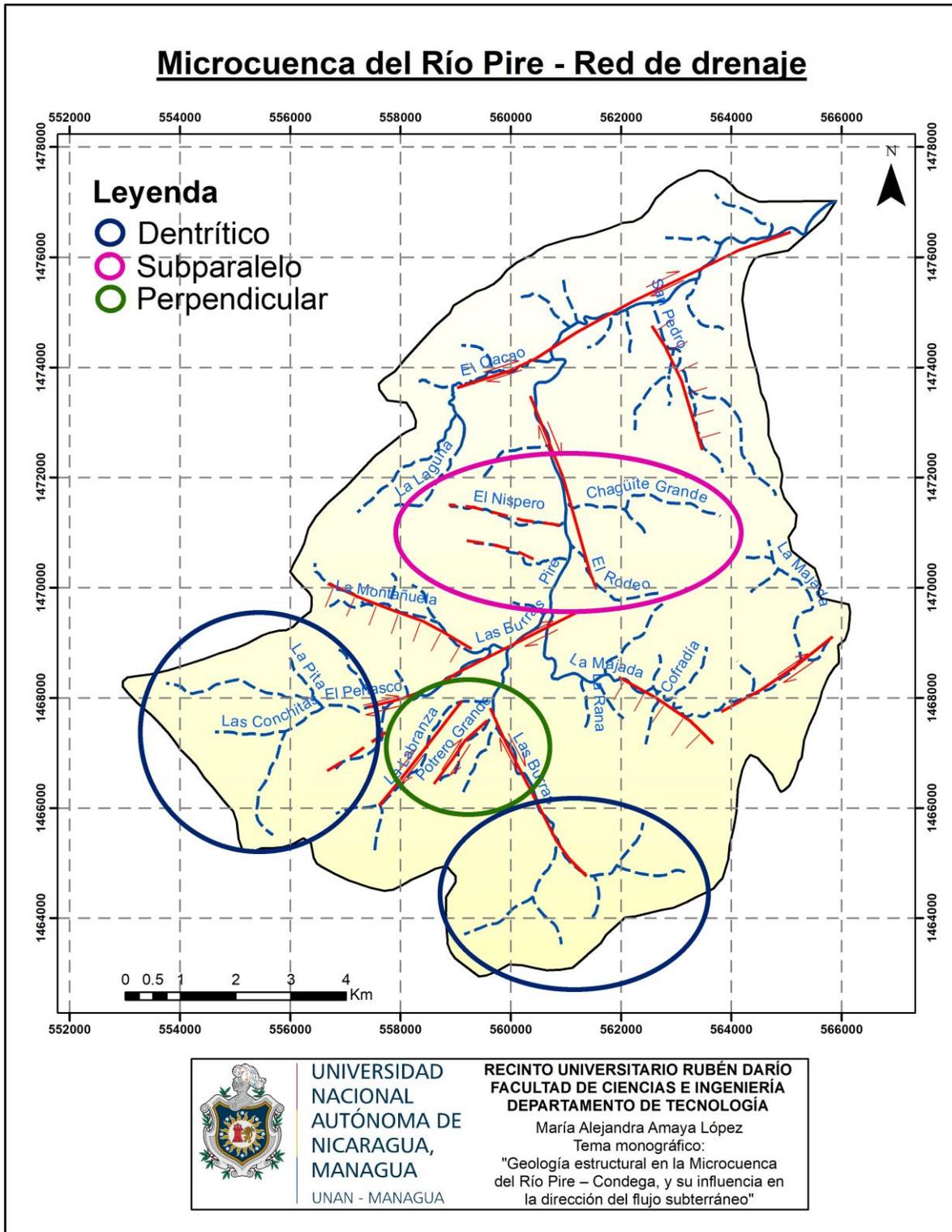


Figura 22. Red de drenaje del Río Pire.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

La densidad de drenaje se expresa como la longitud total del río entre el área de la cuenca, según la siguiente formula:

$$Dd = \frac{\sum Lc_i}{A}$$

Donde:

Lc: Longitud total de los recursos de agua (perennes o intermitentes) en Kilómetros.

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Teniendo en cuenta que:

- Dd < 0 = 0.5, corresponde a una cuenca mal drenada.
- Dd > 0 = 3.5, corresponde a una cuenca bien drenada.

Para la microcuenca Río Pire, por medio de las herramientas de ArcGIS, se calculó una Longitud de 112.024585 Km y un Área de 106.283 Km<sup>2</sup>, lo cual nos da una Densidad de 1.054 Km/Km<sup>2</sup>.

Esto indica que es una cuenca bien drenada superficialmente, lo que significa que los materiales son erosionables debido a la fracturación, los suelos son impermeables ya que son arcillosos y las pendientes son fuertes.

El tiempo de concentración es menor y la cuenca tiene mayor capacidad de producción de caudal superficial.

La producción de agua superficial está condicionada por la densidad de fracturas, hay más corrientes donde hay más densidad, sin embargo estas son intermitentes ya que son vías de infiltración al subsuelo. Donde hay menos densidad el agua se mantiene por el suelo y la vegetación.

#### 5.1.4. Hidrogeología

Se utilizaron datos obtenidos de mediciones en pozos realizadas en las campañas de campo en Octubre y Diciembre del 2015, ejecutadas por el Proyecto que llevó a cabo el CIRA, obteniendo así 92 mediciones. De todas estas 31 se encuentran dentro del área de estudio.

Los datos hidrogeológicos de la zona se limitan a 25 pozos excavados, dos pozos perforados y cuatro manantiales. Los pozos se ubican en la ribera del Río Pire. Los manantiales se localizan en la zona del río El Rodeo y La Majada por cambios de permeabilidad.

Las profundidades de las aguas subterráneas medidas en pozos dentro de la microcuenca varían (Anexo Tabla 2) abarcando un rango desde 24.32 m para un pozo excavado en El Espino y 1.8 m en un pozo excavado cerca de la comunidad El Níspero. Los pozos perforados encontrados en la zona fueron dos, con profundidades de 15 m y 16 m respectivamente, separados 150 m entre ellos.

Los ríos principales están controlados por las fallas mayores. El flujo del agua subterránea por lo tanto debe estar definido por las fallas perpendiculares a los tributarios menores (Figura 23). Así mismo dado que los ríos son en su mayoría intermitente se infiere que el flujo es descendente verticalmente con componente horizontal hacia las partes más bajas que mantienen el caudal base de los ríos principales.



## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

dirección del flujo subterráneo tiende a dirigirse primeramente hacia los tributarios de los ríos principales, como se puede apreciar en la zona del Río La Majada con los datos de los pozos perforados y manantiales, también se ve este comportamiento en los manantiales medidos cerca de la comunidad El Rodeo, donde posteriormente las aguas subterráneas son dirigidas hacia el río principal, en este caso El Pire.

En el mapa hidrogeológico se observa que la dirección de las aguas subterráneas en los ríos secundarios se encuentra íntimamente ligada con las fallas de arreglo subparalelo y perpendicular (Anexo 10-Mapa Hidrogeológico), en zonas donde se determinó que la litología corresponde a rocas sólidas, alteradas y fracturadas, evidenciando que las aguas se mueven en su mayoría a través de las fallas y fracturas que se encuentran en el sitio. Se puede observar este comportamiento en los ríos: El Níspero, La Montañuela, La Labranza y Potrero Grande.

Los manantiales se encuentran dentro de las unidades de rocas andesíticas porfíricas y los basaltos andesíticos, las cuales están siendo deformadas por fallas (Anexo 10-Mapa Hidrogeológico), estas rocas se encuentran fracturadas y poseen un buzamiento de capas, presentando una estructura en estratificación (Foto 35).

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

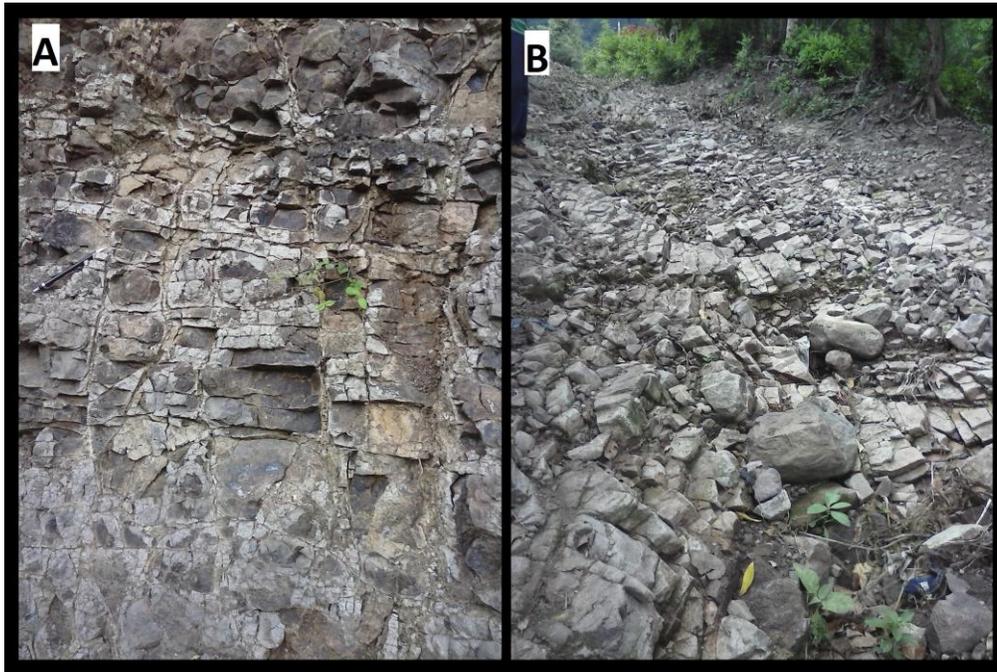


Foto 35. Roca con fracturas estratificadas.

A) Corte de Andesita porfírica alterada. B) Afloramiento de Basalto andesítico alterado.

Este tipo de estructuras permite que el agua subterránea se pueda mover a través de estas fracturas y surja como manantiales, observándose así los manantiales correspondientes a la unidad andesita porfírica cerca de las zonas afectadas por las fallas, y para los manantiales ubicados en la unidad basalto andesítico emergen a través de las fracturas horizontales que posee (Foto 36).



Foto 36. Manantiales.

A) Coordenadas 1470010N – 561547E, 748msnm. Manantial El Rodeo. B) Coordenadas 1467469N – 561950E, 891msnm. Manantial El Espino.

5.1.5. Transmisividad.

Según el mapa hidrogeológico realizado por Krásný (1998), la zona de estudio está caracterizada como un acuífero discontinuo poco profundo, producto de la meteorización y fisuración o fracturación de la zona subsuperficial de los Grupos Coyol y Matagalpa. Expresa que para este tipo de acuífero fracturado las transmisividades corresponden a las clases III-IV, las cuales son de moderadas a bajas cuyo aprovechamiento concierne a extracciones menores para abastecimientos locales (Anexo 3).

En las rocas de la Formación del Coyol se presentan zonas de conductividad hidráulica aumentada, donde las fracturas abiertas suelen servir para la ascensión de aguas termominerales de la profundidad (Krásný & Hecht, 1998).

#### 5.1.6. Discusión

Los diferentes tipos de datos recolectados en el campo, han proporcionado información en las disciplinas que se abordan en el presente documento (Litología, estructural, hidrogeología), que sirven para la elaboración de mapas actualizados correspondientes al área de la Microcuenca del Río Pire.

Se observa que la Microcuenca del Río Pire está siendo condicionada por dos sistemas de fallas que actuaron en esa zona: NW-SE y NE-SW; Las cuales se encuentran dispuestas en estructuras en échelon derecho y sistemas de fallas paralelas, en donde se aprecia que el sistema de fallas NW-SE se encuentra desplazado por el sistema de fallas NE-SW, evidenciando la antigüedad de uno sobre el otro.

Al mismo tiempo se presume que estas fallas dieron lugar al ascenso de flujos hidrotermales que alteraron la composición de las rocas presentes, provocando que estas fuesen más frágiles y más susceptibles al intemperismo. Viéndose cortes y afloramientos oxidados y con un alto grado de meteorización.

En su totalidad las fallas trazadas se encuentran dispuestas sobre los ríos que recorren dentro de la microcuenca, esto es debido al tipo de litología presente. Se lograron identificar diferentes tipos de rocas ígneas extrusivas que componen al área, variando estos de andesitas, andesitas-dacitas, basaltos andesíticos e ignimbritas dacíticas. Según Hodgson (2000) estas rocas pertenecen a la actividad volcánica del Terciario que se dio en Nicaragua, correspondientes a la provincia geológica Central.

Al haber actuado las diferentes estructuras tectónicas sobre estas rocas, categorizadas como rocas plásticas que se rompen y deforman por la aplicación de esfuerzos de extensión y/o compresión, provocaron el rompimiento del medio rocoso, permitiendo que la red de drenaje superficial se emplazara sobre las estructuras, ya que el ambiente en el que se encuentra no permitió el libre desplazamiento de las aguas superficiales.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

Esto se expresa en el tipo de drenaje que el Río Pire posee, siendo dendrítico, subparalelo y perpendicular. Junto al orden de ríos y la intermitencia y permanencia de los diferentes tributarios que componen a la red, se observa que los ríos intermitentes poseen una infiltración con una componente vertical y los ríos principales poseen una componente mayormente horizontal que es la que mantiene el caudal base de estos.

La morfología del sitio también se encuentra siendo controlada por el fallamiento, creando los valles con pendientes suaves y zonas accidentadas correspondientes a los escarpes de fallas con pendientes moderadas. Esto también está evidenciado por el tipo de drenaje subparalelo y el perpendicular.

La piezometría realizada en la zona de estudio muestra que las aguas subterráneas primeramente son dirigidas hacia los cauces de los ríos secundarios, que en su mayoría están ligados al fallamiento y fracturamiento que hay dentro de la microcuenca, revelando que la dirección del flujo subterráneo sigue la dirección de las fallas secundarias trazadas.

Posteriormente estos flujos son redirigidos hacia las estructuras de fallas mayores que igualmente están influenciando la dirección, todo esto se da porque al ser un subsuelo compuesto de un macizo rocoso las aguas utilizan las estructuras como medio de transporte.

## Capítulo VI

### 6.1. Conclusiones

1. Se determinó que la microcuenca del Río Pire está compuesto en su mayoría por rocas ígneas extrusivas, identificándose siete unidades litológicas: Andesita glomeroporfídica, andesita – dacita, andesita porfirítica, basalto andesítico, Ignimbrita dacítica, coluvial y aluvial.
2. La microcuenca se encuentra estructuralmente controlada por dos sistemas de fallas: NW-SE y NE-SW, con geometría en échelon derecho y paralelo.
3. El ambiente rocoso, morfología, fallamiento y fracturamiento determina que el drenaje superficial sea dendrítico, subparalelo y perpendicular. Y el flujo subterráneo corresponda a un acuífero fracturado.
4. Se evidencia la alteración de rocas por hidrotermalismo, meteorización y fracturación, producto de la actividad tectónica que sucedió en la zona.
5. La piezometría de las aguas subterráneas poseen una dirección primaria hacia los tributarios secundarios de los ríos y posterior, a través de las fallas y fracturas, hacia los cauces de los ríos principales.

## 6.2. Recomendaciones

1. Realizar estudios geofísicos para una mejor prospección de las fallas encontradas en el sitio, y las profundidades de las aguas subterráneas.
2. Desarrollar estudios petrológicos y geoquímicos para elaborar una delimitación geológica basadas en la composición química e identificar si esto afecta a las aguas subterráneas.
3. Cuantificar en porcentaje el grado de alteración presente en cada una de las unidades litológicas descritas, con el propósito de clasificarlas de acuerdo al nivel de fragilidad que presentan.
4. Elaborar un estudio de transmisividad del agua subterránea para el sitio de estudio, tomando en cuenta el ambiente en el que se transmite.
5. Hacer un uso y manejo adecuado de las aguas subterráneas, ya que en su mayoría su extracción solamente puede abastecer a pequeñas localidades.

### 6.3. Bibliografía

- Anguita, F., & Moreno, F. (1991). *Procesos geológicos internos*. Madrid: Rueda.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Calderón, A., Díaz F., M., & Cisneros O., J. (2001). *Análisis de riesgos naturales y propuesta de plan municipal de reducción de desastres*. León: UNAN-León.
- Chica, V. (21 de Octubre de 2013). *Slideshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/valeriavale5076798/interpretacin-de-redes-de-drenaje>
- Dengo, G., & Case, J. (1990). *The geology of north América. The caribbean Region* (Vol. H). Colorado.
- Flores, P. (2011). *Estudio Geoestructural en las hojas topográficas de Villa Nueva y El Sauce en el Occidente de Nicaragua*. Managua.
- Frischbutter, A. (2002). *Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images* (Vol. 41). Germany: Geofísica Internacional.
- Fuentes B, J., Morán V, S., & Vergara A, J. (2013). *CI5105 - Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento*. Chile: Universidad de Chile.
- Gámez Montenegro, B., & Cruz Cruz, F. (2004). *Registro arqueológico de los petroglifos de la cuenca del río Estelí*. Estelí: ADESO "Las Segovias".
- García Rodríguez, M. (2012). *Academia*. Obtenido de Geología estructural. Esfuerzos y deformaciones de las rocas. Deformación dúctil: los pliegues y sus tipos. Mecanismos de plegamiento. Deformaciones frágiles: diaclasas y fallas. Características y tipos. Asociaciones de pliegues y fallas: [https://www.academia.edu/5476368/Geolog%C3%ADa\\_estructural.\\_Esfuerzos\\_y\\_deformaciones\\_de\\_las\\_rocas.\\_Deformaci%C3%B3n\\_d%C3%BActil\\_los\\_pliegues\\_y\\_sus\\_tipos.\\_Mecanismos\\_de\\_plegamiento.\\_Deformaciones\\_fr%C3%A1giles\\_diaclasas\\_y\\_fallas.\\_Caracter%C3%ADsticas\\_y\\_ti](https://www.academia.edu/5476368/Geolog%C3%ADa_estructural._Esfuerzos_y_deformaciones_de_las_rocas._Deformaci%C3%B3n_d%C3%BActil_los_pliegues_y_sus_tipos._Mecanismos_de_plegamiento._Deformaciones_fr%C3%A1giles_diaclasas_y_fallas._Caracter%C3%ADsticas_y_ti)

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

- Giesecke, A. (1989). *Riesgo volcánico, evaluación y mitigación en América Latina: aspectos sociales, institucionales y científicos*. Lima: Centro Regional de sismología para América del Sur.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PRENTICE HALL.
- Hernández Sampier, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1996). *Metodología de la investigación*. México: MCGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. de C.V.
- Hodgson Valrey, G. (2000). *Geología Regional de Nicaragua, Introducción al Léxico estratigráfico de Nicaragua*. Managua.
- Horton, R. E. (1945). *Erosional Development of Streams* (Vol. 56).
- Inifom. (29 de Agosto de 2013). *Ficha Municipal - Condega*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014, de Inifom.gob.ni: <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/ESTELI/condega.pdf>
- Krásný, J., & Hecht, G. (1998). *Estudios Hidrogeológicos e Hidroquímicos de la Región del Pacífico de Nicaragua*. Managua: INETER.
- Laclette, J., & Zúñiga, P. (12 de Marzo de 2012). *Diagnóstico del agua en las Américas*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de cira-unan.edu.ni: <http://www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/nicaragua.pdf.pdf>
- León, A., Mendoza, Y., Blanco, M., Strauch, W., Castellón, A., & Angulo, P. (2004). *Evaluación de las Amenazas Geológicas e Hidrometeorológicas para Sitios de Urbanización*. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Managua. Managua: Instituto de la Vivienda Urbana y Rural (INVUR).
- López Geta, J. A., Fornés Azcoiti, J. M., Ramos González, G., & Villarroya Gil, F. (2009). *Las aguas subterráneas, un recurso natural del subsuelo* (4 ed.). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

- Mann, P., Rogers, R. D., & Gahagan, L. (2006). Overview of plate tectonic history and its unresolved tectonic problems. *Central America: Geology, Resources and Hazards.*, 205-241.
- Manzano Arellano, M. (2008). *Práctica 2: Trazado e interpretación de superficies piezométricas*. España: UPCT.
- Marcano, J. (s.f.). *Educación ambiental en la república dominicana*. Obtenido de <http://www.jmarcano.com/planeta/hidrologia.html>
- MARENA. (20 de Septiembre de 2011). *Proyecto Reducción de riesgos y vulnerabilidad ante inundaciones y sequías en la cuenca del Río Estero Real*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de [cepal.org: http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/5/44735/5.Proyectos\\_Fondo\\_de\\_Adaptacion.Denis\\_Fuentes.Nicaragua.pdf](http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/5/44735/5.Proyectos_Fondo_de_Adaptacion.Denis_Fuentes.Nicaragua.pdf)
- MARENA, & IEA. (21 de Febrero de 2001). *Recursos Hídricos*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de [centrogeo.org.mx: http://www.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUAagua.pdf](http://www.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUAagua.pdf)
- Mattauer, M. (1973). *Les deformations des matériaux de l'écorce terrestre*. París: Hermann.
- McBirney, & Williams. (1965). *Volcanic history of Nicaragua*. California: Geological Sciences.
- Ortuño, L. (Septiembre de 2008). *El agua en movimiento*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de [Apuntes - caminos upm: http://www.delegacion.camino.upm.es/apuntes/ICCP/6\\_sexto/Cimentaciones/EL%20agua.pdf](http://www.delegacion.camino.upm.es/apuntes/ICCP/6_sexto/Cimentaciones/EL%20agua.pdf)
- Oyarzun, R., & Doblas, M. (s.f.). *Universidad de Catilla-La Mancha*. Obtenido de <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/fallas/FallasPrimeraParte.htm>

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

---

- Perlman, H. (7 de Agosto de 2015). *U.S. Geological Survey*. Obtenido de <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- Ramírez, L. (2011). *Determinación de los patrones de fracturamiento de la formación mirador en el anticlinal del guavio, mediante el análisis de imágenes de pozos. Implicaciones en la permeabilidad y productividad del reservorio*. Bogotá: Maestría en Ciencias-Geología.
- Rod Nave, C. (Enero de 2006). *HyperPhysics*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/geophys/ignecon.html>
- Ruta Geológica - Explorando y Conociendo Nuestra Tierra*. (s.f.). Obtenido de [http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=389&Itemid=90&limitstart=4](http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=389&Itemid=90&limitstart=4)
- Sánchez San Román , F. J. (2011). *Isopiezas*. Recuperado el 1 de Octubre de 2015, de [hidrologia.usal.es](http://hidrologia.usal.es): [http://hidrologia.usal.es/practicas/redes\\_flujo/isopiezas2-indicaciones.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/redes_flujo/isopiezas2-indicaciones.pdf)
- Sánchez, F. J. (2005). *Hidrogeología*. (R. N. Instituto de Agricultura, Ed.) Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de Infoiarna: [http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/9\\_Hidrogeologia.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/9_Hidrogeologia.pdf)
- SGm. (2 de Diciembre de 2013). *SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO*. Obtenido de [http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=85&Itemid=86#Inicio](http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=85&Itemid=86#Inicio)
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Miguel Martín-Romo.
- ViaNica.com*. (s.f.). Obtenido de [www.vianica.com](http://www.vianica.com): <https://vianica.com/sp/nicaragua/esteli/condega/5.1>

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

### 6.4. Anexos

Anexo 1. Tabla de Indicadores cinemáticos.

Puntos	Coordenadas E	Coordenadas N	msnm	Indicadores Cinemáticos										
				Vetas	Sigmoideas	Fracturas Conjugado	Fracturas Perpendiculares	Fracturas Paralelo	Planos de Fallas	Terminación en cola de caballo	Desplazamiento	Zona de relevo	Estructuras R	Échelon
Pt1	560706	1474628	637	x	x	x			x					
Pt2	560493	1474382	700	x		x					x	x		
Pt3	559104	1474852	825											
Pt4	559382	1474968	805	x										
Pt5	560692	1474518	635	x					x			x		
Pt6	560030	1473834	693	x		x			x					
Pt7	560056	1473722	694	x				x						
Pt8	560056	1473722	694	x	x	x			x	x				
Pt9	560265	1473364	648	x										
Pt10	560912	1471793	645	x		x								
Pt11	559513	1468988	743											
Pt12	558374	1469729	858	x										
Pt13	557741	1470461	1000											
Pt14	558181	1470337	1009											
Pt15	558191	1470346	1009	x										
Pt16	558294	1470567	1010											
Pt17	558361	1470872	1041											
Pt18	558182	1470214	954	x										
Pt19	558193	1469839	896											
Pt20	557697	1468621	894											
Pt21	559271	1468667	721		x					x				
Pt22	559164	1468383	748	x	x			x						
Pt23	558949	1468016	804											
Pt24	559376	1467534	818											
Pt25	559201	1466850	879			x		x			x			
Pt26	559124	1466657	912					x						
Pt27	559579	1466980	824			x								
Pt28	559755	1467497	756		x	x		x	x					
Pt29	559964	1467218	763		x	x			x					
Pt30	559484	1467765	784											
Pt31	559703	1468013	731					x						
Pt32	559524	1467824	767		x				x				x	
Pt33	560702	1468282	755											
Pt34	560702	1468282	755	x			x		x					
Pt35	562681	1467892	796											

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Pt36	560621	1468810	698	x		x		x			x			
Pt37	560697	1469982	712	x			x							
Pt38	556480	1465437	1280											
Pt39	556675	1466009	1218											
Pt40	556806	1465865	1205			x		x					x	
Pt41	553931	1464188	979		x	x				x				
Pt42	553852	1466800	1284					x	x				x	
Pt43	554108	1467034	1318			x		x						
Pt44	554957	1468318	1221									x		
Pt45	554954	1471271	943		x	x			x					x
Pt46	563757	1476409	579	x	x	x		x	x	x				
Pt47	563522	1476200	579	x	x	x								
Pt48	562178	1473135	743											
Pt49	563355	1473679	655		x	x				x				
Pt50	563990	1472568	802											
Pt51	564922	1476853	589	x	x				x	x				x

Anexo 2. Tabla de Inventario de fuentes de agua

Ubicación	Propietario	Tipo de pozo	Coordenadas N	Coordenadas E	Altura (msnm)	NEA Aparente (m)	Altura brocal (m)	NEA (msnm)
Raúl Gonzales	Pozo comunal	PE	1476417	563810	572	9.48	0.28	562.80
Raúl Gonzales	Luis Gutiérrez	PE	1476400	563844	569	3.41	0.63	566.22
Raúl Gonzales	Marco Obregón	PE	1476502	563525	588	14.06	0.42	574.36
Raúl Gonzales	Piosfilo Calderón	PE	1476443	563516	582	7.2	0.49	575.29
Raúl Gonzales	Pozo comunal	PE	1476266	563610	572	7.06	0.42	565.36
Santa Lucia	Pozo comunal	PE	1475928	563384	575	8.68	0.56	566.88
Santa Lucia	Pozo comunal	PE	1475904	563344	578	12.29	0.12	565.83
Santa Lucia	Pozo comunal	PE	1475550	562198	607	9.18	0.48	598.30
Guanacaste	Rodrigo Olivar	PE	1475138	561866	599	3.78	0.62	595.84
Guanacaste	Pozo comunal	PE	1475223	561846	608	19.02	0.48	589.46
Guanacaste	Pozo comunal	PE	1475117	561666	595	3.52	0.17	591.65
Los Cerritos	Víctor González	PE	1474783	561050	601	6.04	0.32	595.28
Los Cerritos	Pozo comunal	PE	1474782	560781	626	11.73	0.62	614.89
Santa Teresa	Pozo comunal	PE	1472805	560563	639	4.23	0.39	635.16
Santa Teresa	Pozo comunal	PE	1472397	560601	643	5.07	0.43	638.36
Santa Teresa	Pozo comunal	PE	1471990	560776	650	5.68	0.38	644.70
Santa Teresa	Felipe Calderón	PE	1471778	560812	657	8.1	0.65	649.55

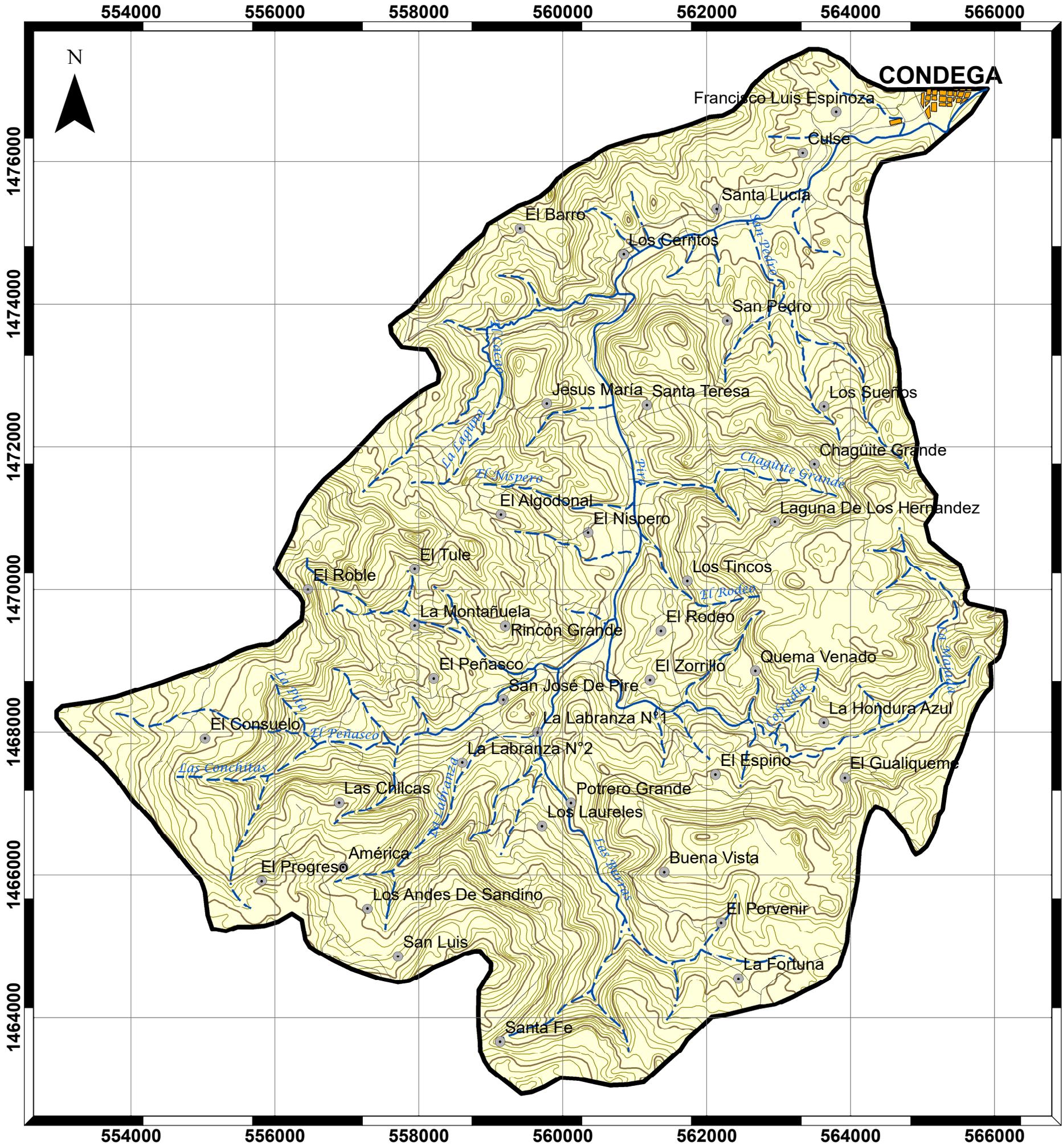
## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Santa Teresa	Porfirio Peralta	PE	1471730	560839	655	6.61	0.43	648.82
Santa Teresa	Juan Carlos	PE	1471110	560829	671	2.2	0.4	669.20
Santa Teresa	Pozo comunal	PE	1471121	560865	668	3.86	0.41	664.55
Santa Teresa	Lorenzo	PE	1470448	560844	678	10.94	0.44	667.50
San José de Pire	Pozo comunal	PE	1469631	560410	723	9.05	0.3	714.25
San Pedro de Arenal	María Flores	PE	1473318	569168	571	11.06	0.51	560.45
El Rodeo	Comunal	PE	1468754	560777	708	7.93	0.57	700.64
El Rodeo	Tiburcio Calderón	PE	1468674	560902	722	13.82	0.55	708.73
El Rodeo		Manantial	1469547	561160	756			756.00
El Rodeo		Manantial	1470010	561547	756			756.00
El Espino	Comunal	PP	1467529	561928	875	16	0.51	859.51
El Espino	Comunal	PP	1467603	562068	869	15	0.5	854.50
El Espino		Manantial	1467469	561950	891			891.00
El Espino (Las Ranas)		Manantial	1467381	561661	874			874.00
El Espino	Comunal	PE	1467474	561776	877	24.32	0	852.68
Río Abajo - Pueblo Nuevo	Juan Zamora	PE	1478744	557730	588	3.44	0.4	584.96
Quebrada Arriba		PE	1480751	555907	661	11.13	0.54	650.41
Los Zanjones		PE	1481954	561912	574	14.82	0.69	559.87
Ducualí		PE	1483366	565111	523	7.72	0.46	515.74
Pueblo Nuevo		PE	1479022	557157	598	8.68	0.38	589.70
Camino Condega-Pueblo Nuevo		PE	1478509	558063	592	3.02	0.72	589.70
Camino Condega-Pueblo Nuevo		PE	1478343	558736	580	4.21	0.58	576.37
Santa Teresa		PE	1478441	559744	581	9.32	0.22	571.90
Los Mapachines		PE	1477884	560829	596	5.12	0.57	591.45
Condega		PE	1473046	557828	853	11.32	0.4	842.08
El Progreso-Potrillo		PE	1472611	557073	914	6.46	0.7	908.24
Tierras Blancas		PE	1473124	556185	953	3.89	0.49	949.60
Santa Pancha		PE	1464974	554434	1167	6.44	0.4	1160.96
San Luis		PE	1464592	555246	1142	1.99	1.04	1141.05
San Luis		PE	1462687	559154	1333	4.56	0.62	1329.06

## Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo

Anexo 3. Tabla de Clasificación de la magnitud de la transmisividad (Krásný 1993)

Coeficiente de transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	Clase de la magnitud de la transmisividad	Denominación de transmisividad del acuífero (medio hidrogeológico)	Parámetros comparativos regionales aproximadamente correspondientes al coeficiente de transmisividad			Estimación de posibilidades de aprovechamiento del agua subterránea; la demanda de agua puede cubrirse por:	Caudal aproximado en l/s con el descenso del pozo de 5m
			Logarítmico		No logarítmico		
			Caudal específico q				
			m <sup>3</sup> /hm	l/sm			
1000	I	Muy alta	36	10	7.0	Extracción de gran importancia regional	> 50
100	II	alta	3.6	1	6.0	Extracción de menor importancia regional	5 - 50.
10	III	moderada	0.36	0.1	5.0	Extracciones para abastecimiento local (sitios pequeños, plantas, etc.)	0.5 - 5.
1	IV	baja	0.036	0.01	4.0	Extracciones menores para abastecimiento local (grupos de casas, fincas pequeñas)	0.05 - 0.5.
0.1	V	muy baja	0.0036	0.001	3.0	Extracción para abastecimiento local de demanda reducida	0.005 - 0.05.
	VI	imperceptible				Recursos hasta para abastecimiento local reducido es muy difícil de asegurar	< 0.005



## Microcuenca del Río Pire Mapa Topográfico

<b>Leyenda</b>	<b>Simbología</b>
<b>Curvas de nivel</b>	Vías de acceso
Categoría	Comunidades
100	Ciudad
20	Cuenca
<b>Río</b>	
	Principal
	Secundario



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA**  
UNAN - MANAGUA

**Recinto Universitario Rubén Darío  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Departamento de Tecnología**

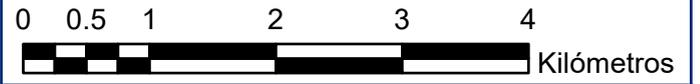
*"Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo"*

Elaborado por:  
Br. Maria Alejandra Amaya López

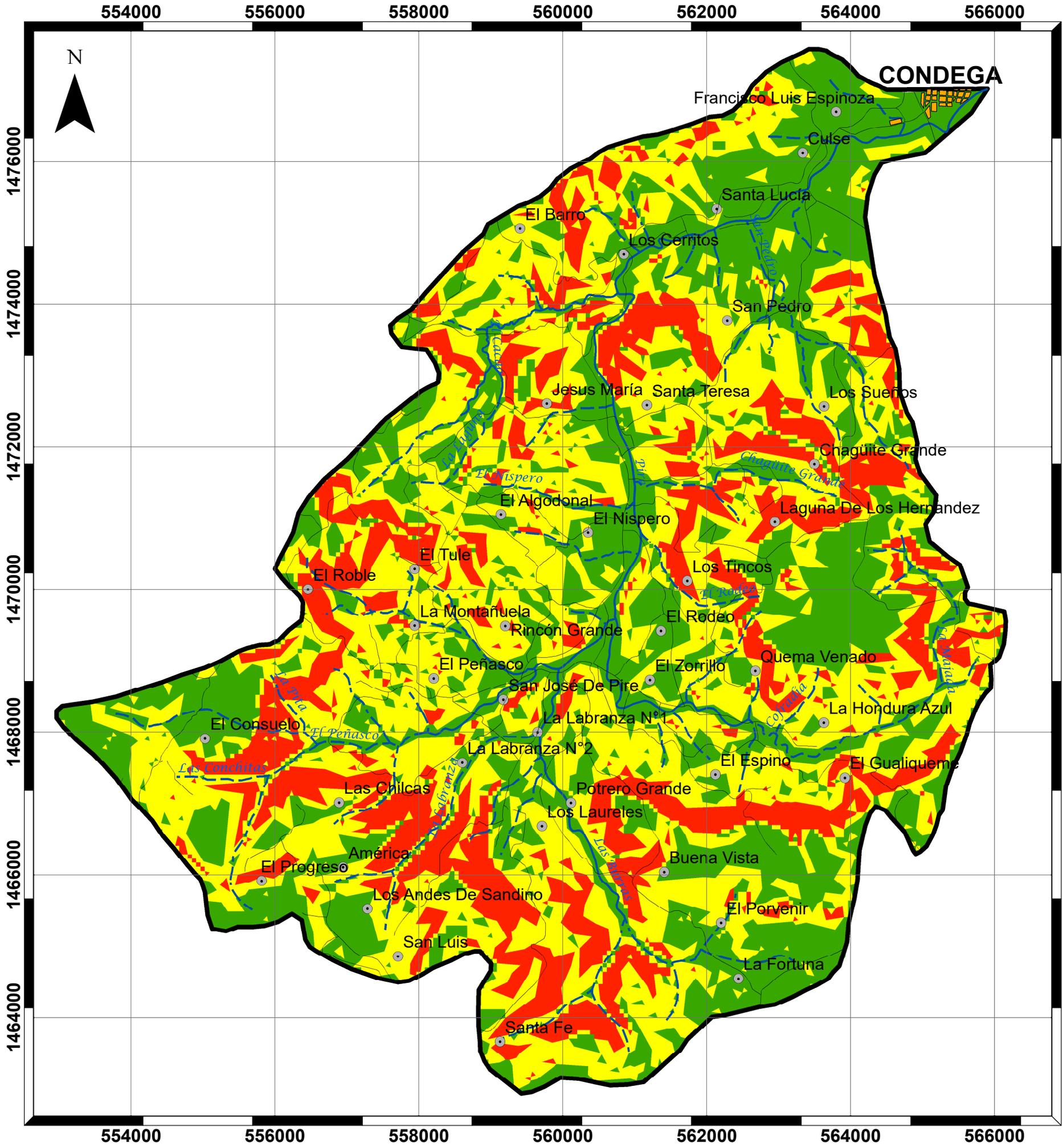
Tutor:  
MSc. Francisco Espinoza Martínez

Asesora:  
MSc. Yelba Flores Meza

**Escala: 1:60,000**







## Microcuenca del Río Pire Mapa de Pendientes

<b>Leyenda</b>	<b>Simbología</b>
<b>Pendiente (°)</b>	Vías de acceso
0 - 10	Comunidades
10 - 20	Ciudad
20 - 42	Cuenca
	<b>Río</b>
	Principal
	Secundario



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA**  
UNAN - MANAGUA

**Recinto Universitario Rubén Darío  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Departamento de Tecnología**

*"Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo"*

Elaborado por:  
Br. Maria Alejandra Amaya López

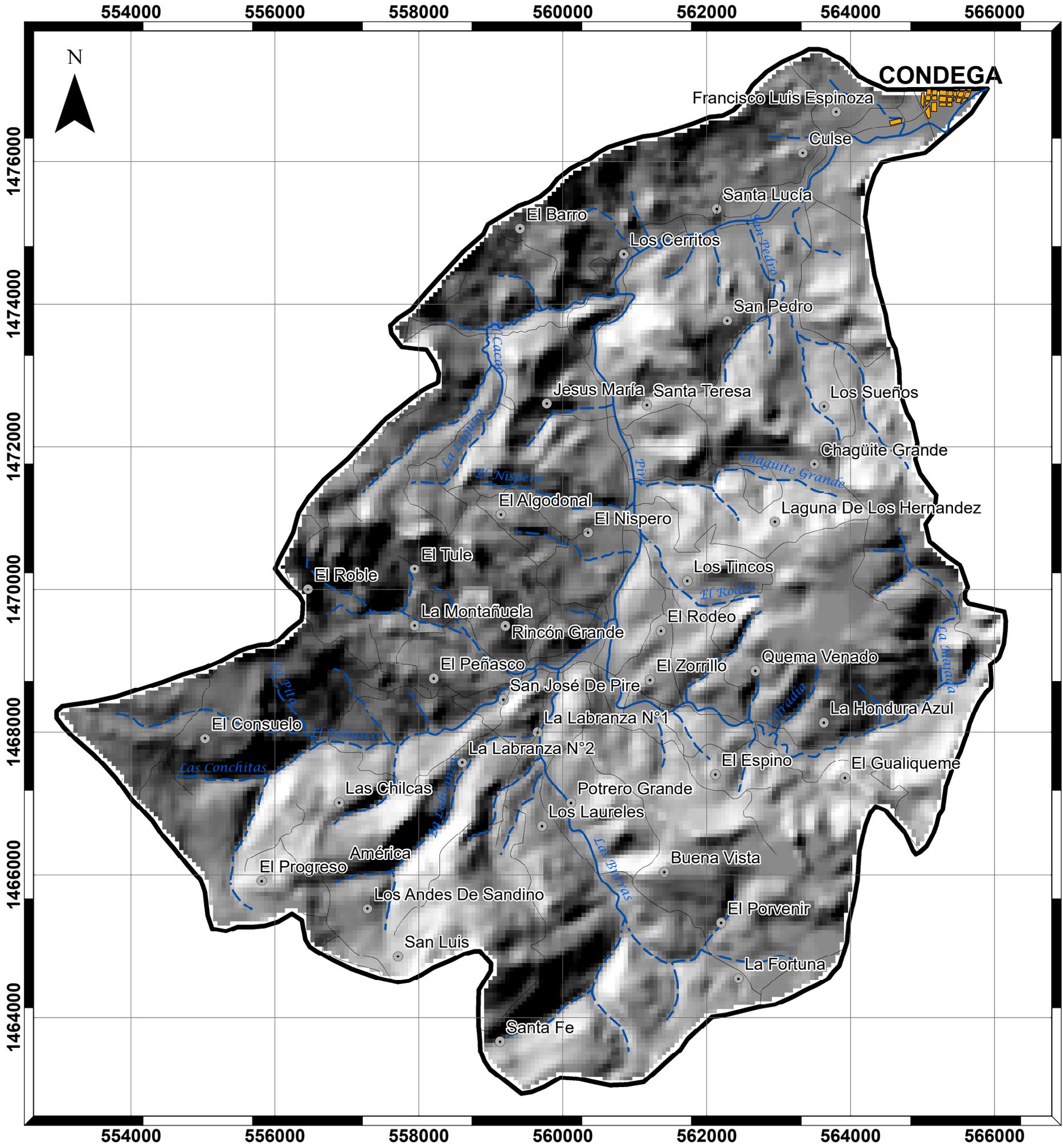
Tutor:  
MSc. Francisco Espinoza Martínez

Asesora:  
MSc. Yelba Flores Meza

**Escala: 1:60,000**



**Anexo 6**



## Microcuenca del Río Pire Mapa de Modelo Sombreado

### Simbología

-  Vías de acceso
-  Comunidades
-  Ciudad
-  Cuenca
- Río**
-  Principal
-  Secundario



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA**  
UNAN - MANAGUA

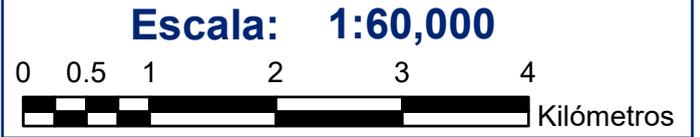
**Recinto Universitario Rubén Darío  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Departamento de Tecnología**

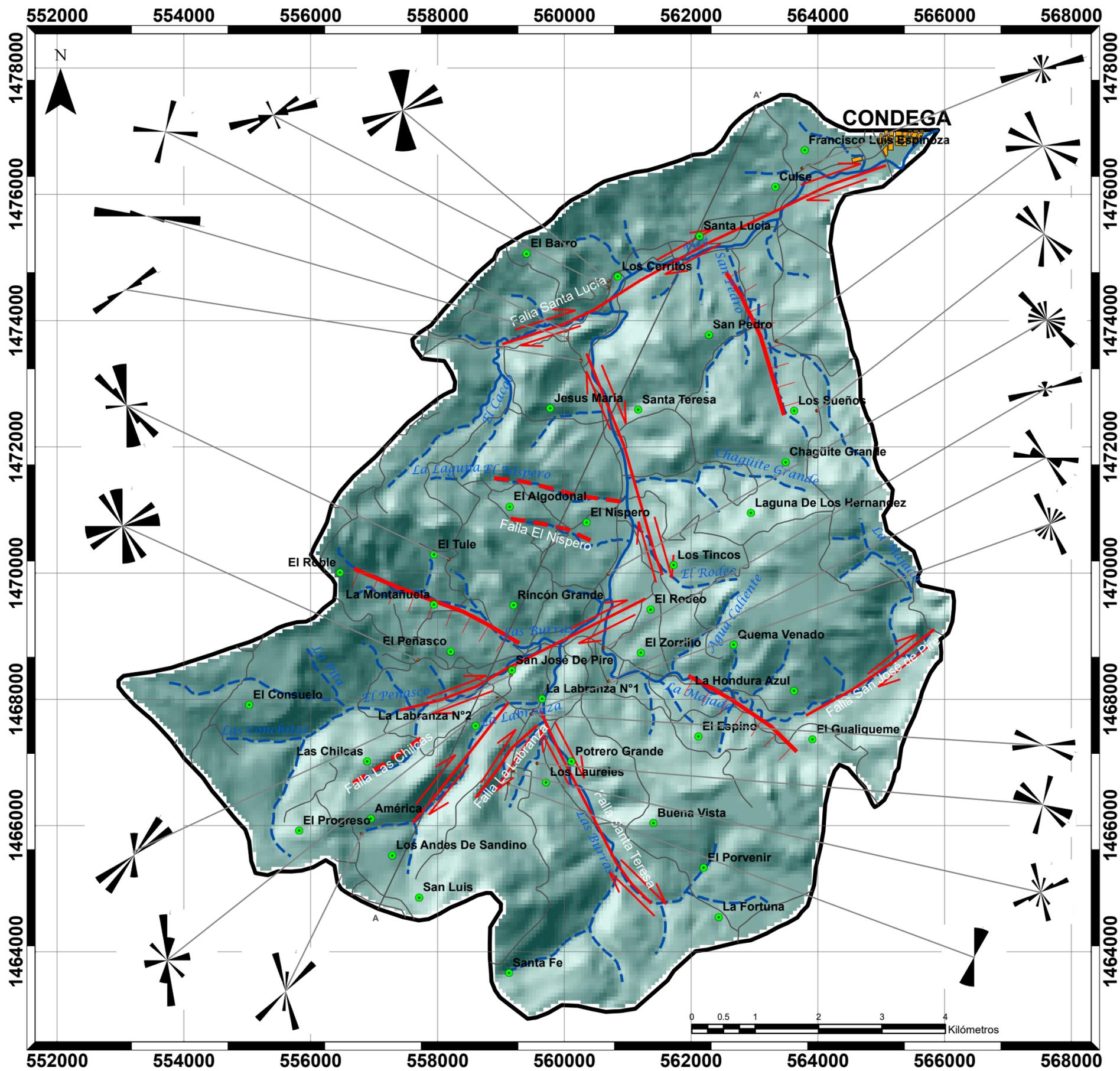
*"Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo"*

Elaborado por:  
Br. Maria Alejandra Amaya López

Tutor:  
MSc. Francisco Espinoza Martínez

Asesora:  
MSc. Yelba Flores Meza





**Microcuenca del Río Pire  
Mapa Estructural**

**Leyenda**

**Fallas**

- Falla Inferida
- ⇌ Falla Lateral derecha
- Falla Normal

**Simbología**

- Vías de acceso
- Comunidades
- Ciudad
- Cuenca
- Río**
- Principal
- Secundario



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

*Recinto Universitario Rubén Darío  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Departamento de Tecnología  
"Geología estructural en la Microcuenca  
del Río Pire – Condega, y su influencia  
en la dirección del flujo subterráneo"*

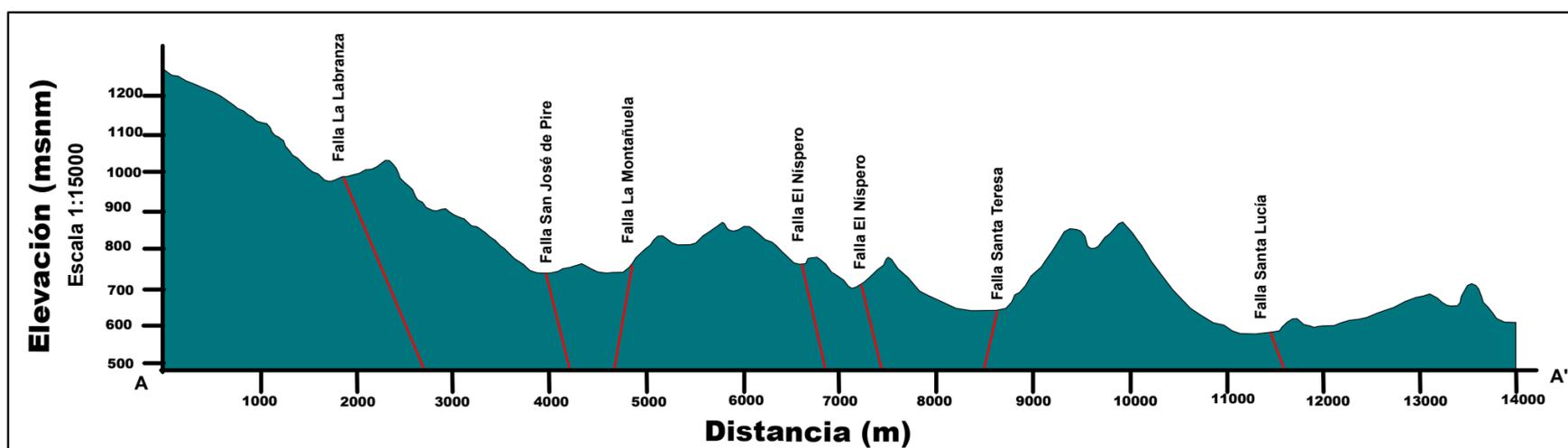
Elaborado por:  
Br. Maria Alejandra Amaya López

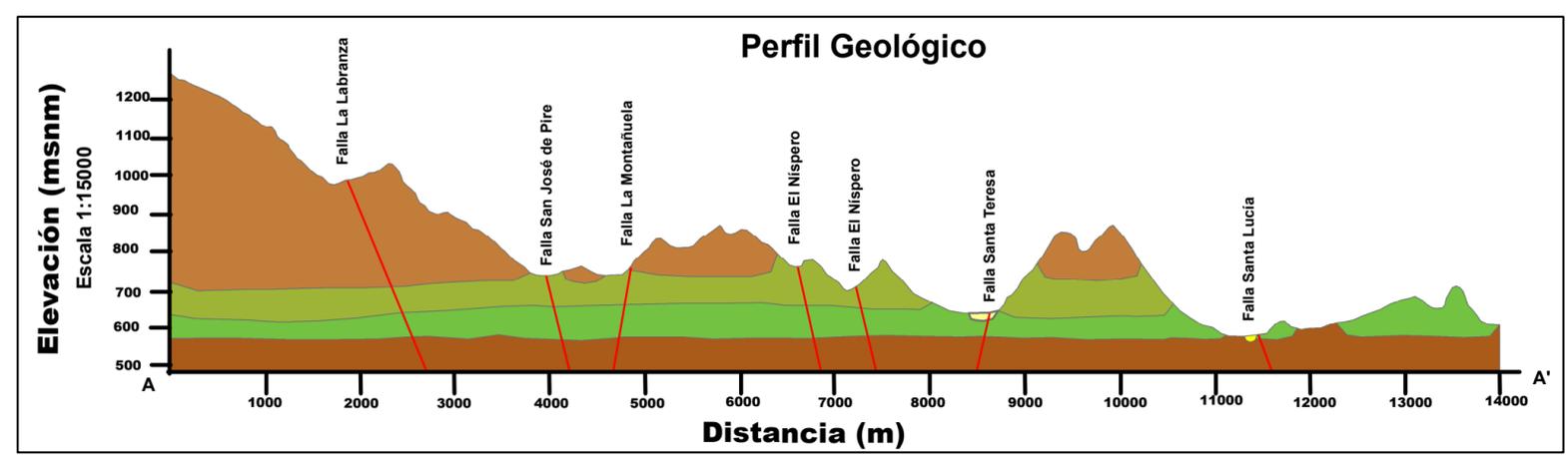
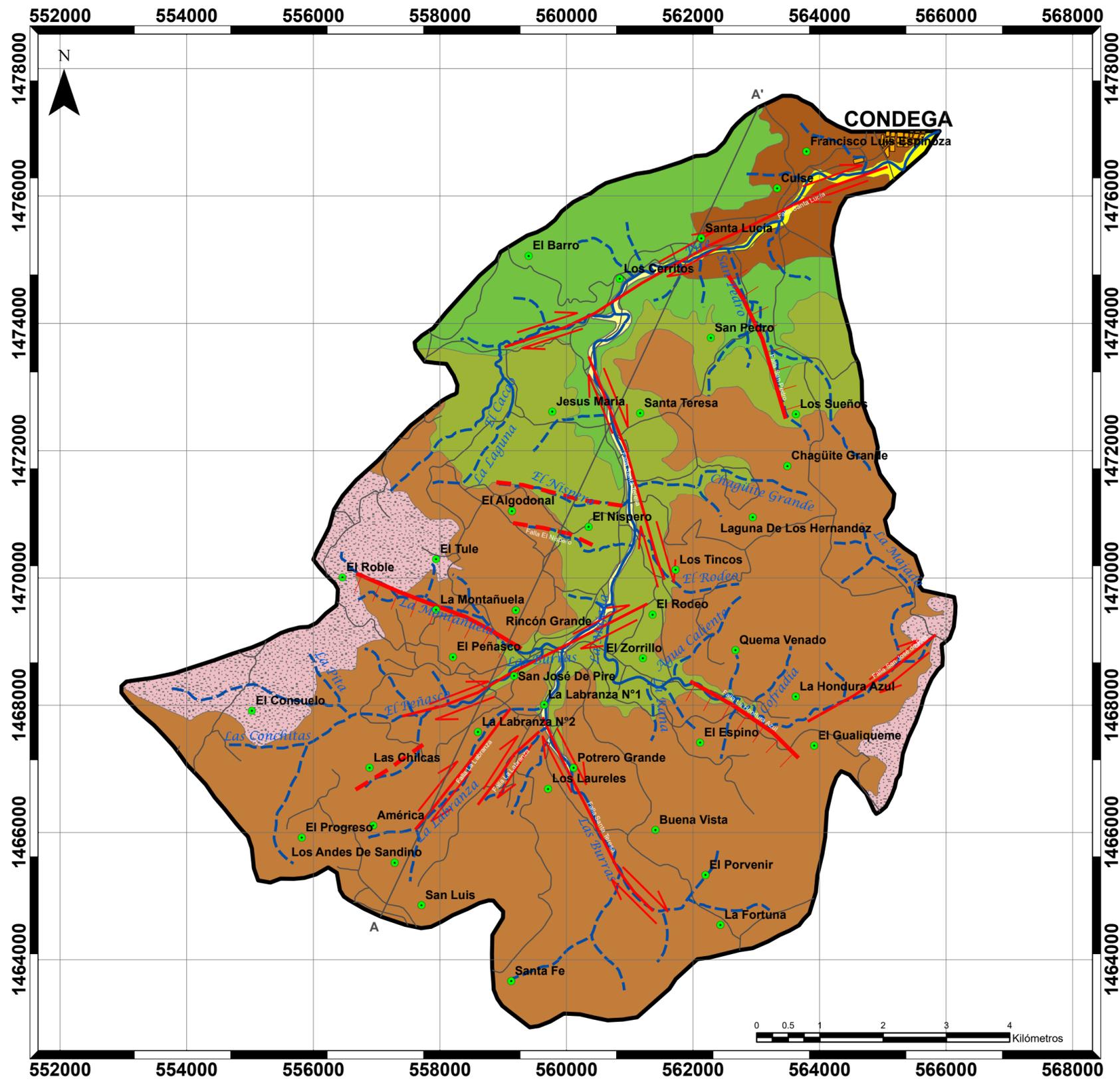
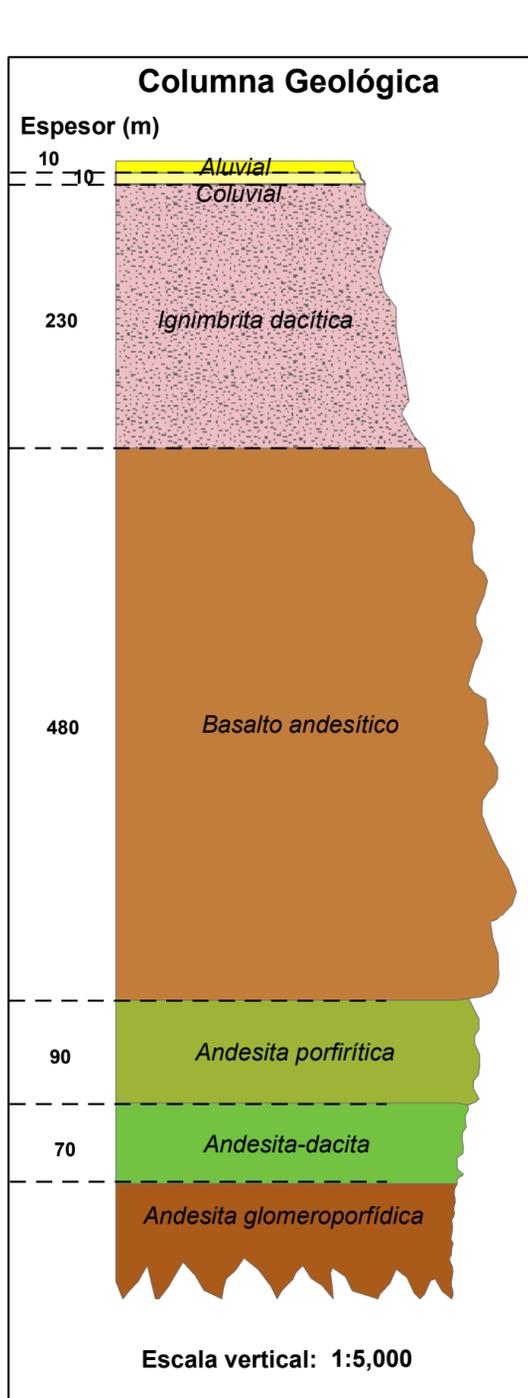
Tutor:  
MSc. Francisco Espinoza Martínez

Asesora:  
MSc. Yelba Flores Meza

**Escala: 1:60,000**

**Anexo 8**





## Microcuenca del Río Pire Mapa Geológico

### Leyenda

#### Geología

- Aluvial
- Coluvial
- Andesita glomeroporfídica
- Andesita-dacita
- Andesita porfirítica
- Basalto andesítico
- Ignimbrita dacítica

#### Fallas

- Falla Inferida
- Falla Lateral derecha
- Falla Normal

#### Simbología

- Vías de acceso
- Comunidades
- Ciudad
- Cuenca

#### Río

- Principal
- Secundario

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**Recinto Universitario Rubén Darío**  
**Facultad de Ciencias e Ingeniería**  
**Departamento de Tecnología**

*"Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo"*

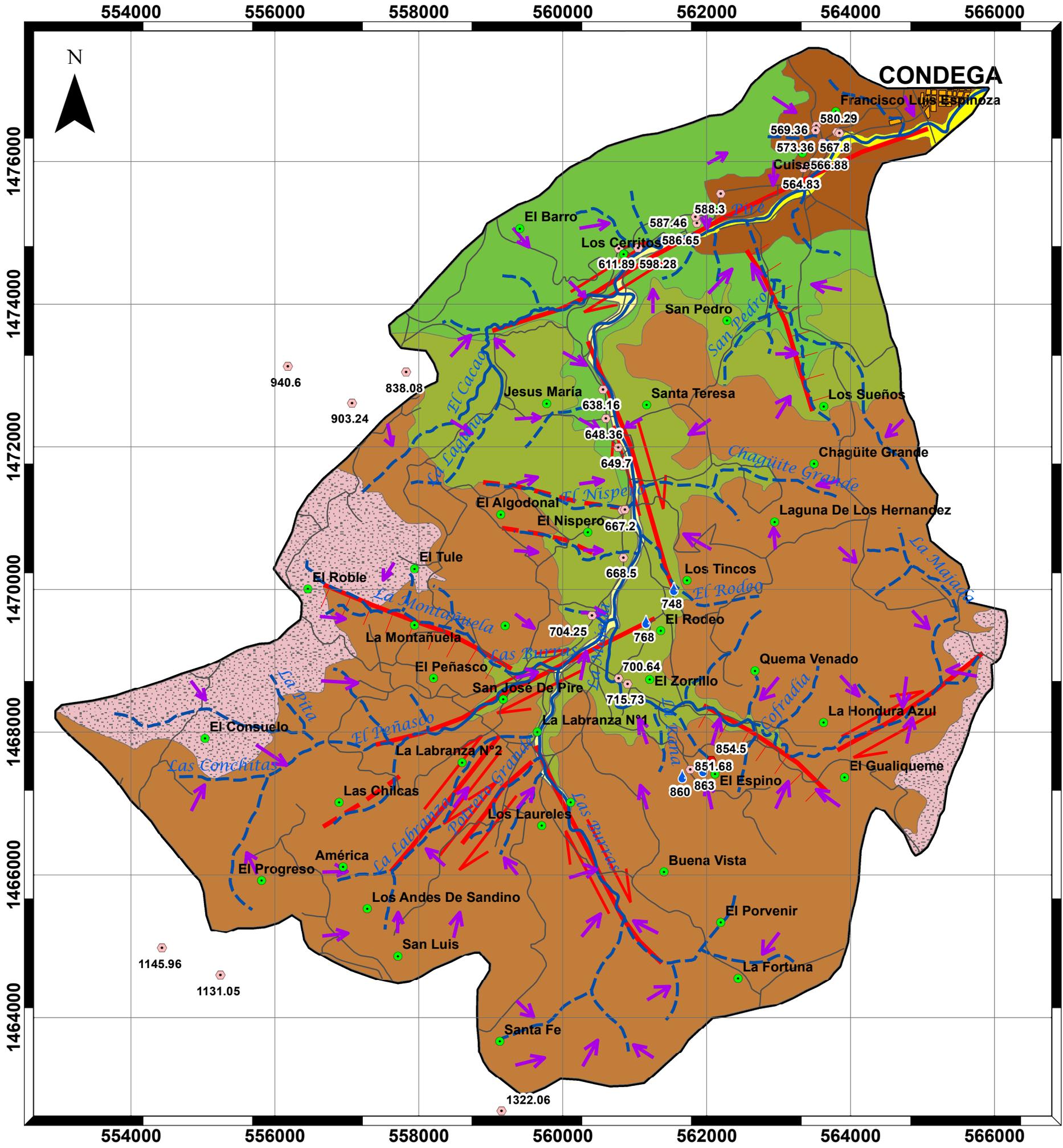
Elaborado por:  
Br. Maria Alejandra Amaya López

Tutor:  
MSc. Francisco Espinoza Martínez

Asesora:  
MSc. Yelba Flores Meza

**Escala: 1:60,000**

**Anexo 9**



# Microcuenca del Río Pire Mapa Hidrogeológico

## Leyenda

<b>Hidrogeología</b>	<b>Geología</b>
Manantial	Aluvial
Pozo Excavado	Coluvial
Pozo Perforado	Andesita glomeroporfídica
Flujo de las aguas subterráneas	Andesita-dacita
Falla Inferida	Andesita porfírica
Falla Lateral derecha	Basalto andesítico
Falla Normal	Ignimbrita dacítica

## Simbología

Río Principal	Vías de acceso
Río Secundario	Comunidades
	Ciudad
	Cuenca



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA**  
UNAN - MANAGUA

**Recinto Universitario Rubén Darío**  
**Facultad de Ciencias e Ingeniería**  
**Departamento de Tecnología**  
*"Geología estructural en la Microcuenca del Río Pire – Condega, y su influencia en la dirección del flujo subterráneo"*

Elaborado por:  
Br. Maria Alejandra Amaya López

Tutor:  
MSc. Francisco Espinoza Martínez

Asesora:  
MSc. Yelba Flores Meza

**Escala: 1:60,000**



0 0.5 1 2 3 4 Kilómetros