

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

**INVESTIGACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL DE UNA
FUENTE TERMAL EN EL CAUCA - RESGUARDO INDÍGENA DE GUACHICONO –
FASE PRE FACTIBILIDAD**



Andrea Margarita Arteaga Gudiño

Michelle Natalia Pabón Chavez

Trabajo de investigación para optar por el título de INGENIERAS CIVILES

Director:

Prof. Lucio Cruz

Doctor en Ingeniería Civil

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Civil

Programa de Ingeniería Civil

Popayán

2019

Nota de aceptación

El Director y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autores y lo encontraron satisfecho.

Prof. Lucio Cruz
Doctor en Ingeniería Civil
Director

Ingeniero Henry Mauricio Muñoz T.
Docente Departamento de Geotecnia
Jurado

Ingeniero Fernando Garcés
Docente Departamento Geotecnia
Jurado

Popayán, Abril de 2019

*Dedicado a la comunidad de Guachicono y
al municipio de La Vega Cauca, corazón del Macizo Colombiano,
por confiar en nosotros para hacer el deseo de muchas generaciones una REALIDAD.*

“Pak’ arrykaypipa amachai”

(Nacimos aquí para proteger)

Agradecimientos

Hoy tengo el privilegio de agradecer a todas aquellas personas que han estado conmigo durante este proceso, las palabras no son suficientes para expresar este significativo reconocimiento.

Primeramente, agradezco a Dios porque me ha dado la constante fortaleza para nunca decaer. A mis padres Liliana y Leonardo quienes son los seres más importantes de mi vida, son mi motivación y el motor que me impulsa a seguir adelante, ellos conocen mis triunfos y fracasos y su incondicionalidad me ha llenado el corazón y me ha dado el vigor para siempre avanzar. Éste esfuerzo y los logros alcanzados reflejan la entrega y el amor que nos han dedicado mis padres a sus hijas.

Del mismo modo agradezco a mi hermana Stefanía quien es mi confidente y protectora, te quiero profundamente.

También quiero expresar mi enorme gratitud al ingeniero Lucio Cruz quien me motivó a realizar investigación y a desarrollar éste proyecto, gracias por su apoyo y confianza. A todos mis profesores que durante la carrera me dieron grandes bases para ejercer ésta profesión y han sido mi inspiración para amar cada día más esta bella disciplina.

A la Alcaldía de la Vega y al Secretario de planeación municipal Jerson Campo quienes confiaron en nuestro equipo de trabajo para materializar este importante proyecto. Al Gobernador Indígena Ancizar Chicangana y al concejal Santiago Jiménez, quienes nos abrieron las puertas de su hermosa comunidad y han estado presentes en cada etapa brindando todas las facilidades dentro del resguardo.

Quiero hacer un reconocimiento especial a mi abuelito Manuel quien hace pocos meses partió y dejó un gran vacío en mi corazón, sé lo orgulloso que estaría de este objetivo cumplido. A mi abuelita Olga quien es un ejemplo de fortaleza y siempre ha estado pendiente de mis logros y metas. Así mismo agradezco a mis tíos y primos, en especial a mis tíos Aura y Adelmo quienes me acompañaron fundamentalmente en esta última etapa de mis estudios universitarios.

A Javier Andrés quien con su compañía y apoyo siempre ha tenido las palabras precisas para alentarme y motivarme. Es un honor ser grato con esa persona que día a día se ha preocupado por mí y perenemente ha deseado lo mejor para mi porvenir.

Finalmente agradezco a mis amigos que han estado conmigo desde temprana edad y no solo han sido testigos de la historia de mi vida, sino que sin importar el tiempo o la distancia han permanecido incondicionales. De igual manera agradezco a mis nuevas amistades que cultivé a lo largo de mis estudios en la universidad, los que se convirtieron en mi familia durante mi estancia en Popayán, y con quienes compartí momentos inolvidables, los quiero con todo mi corazón.

Andrea Margarita Arteaga Gudiño

Hoy como cada día de mi vida agradezco a Dios por enseñarme su infinito amor por medio de la presencia de mi familia. No existe mayor muestra de su existencia que el poder cruzar esta meta de la mano de mis padres y hermanita.

A mi madre, quien con su entrega, sacrificios, mimos y alegría es el motor de nuestro hogar, quien cada día me enseña cosas y en quien cada día me fijo para lograr ser una excelente persona. Gracias por ser la constructora de mis sueños, ahora espero ser la constructora de los tuyos.

A mi padre, un hombre brillante e inteligente, quien con una historia es capaz de saca risas en cualquier lugar, quien ha llenado mi vida de música y números y quien siempre me ha apoyado en cada meta trazada. Gracias a ti, que desde el inicio de esta investigación te cautivo el tema tanto como a mí.

A mi hermanita, quien ha sido el mejor regalo que Dios me ha dado y a quien siempre apoyaré y ayudare a llegar tan lejos como su gran mente lo desee. A ti mi Sofi, gracias por darme el amor más sincero del mundo.

A quien cada día de mi vida siento en mi corazón, a quien con su solo recuerdo me da fuerzas e infinitas razones para luchar, a quien fue fundamental en mi formación y quien fue el mejor ejemplo de hija, hermana, tia, madre y abuela. A ti Mamita Luz, va dedicado cada triunfo que alcance.

A mi tía María, con quien supere los primeros retos de mi vida, quien primero me hizo sentir lo que significa la hermandad y quien me ha confiado el tesoro más hermoso de su existencia. A mis ahijadas, Luciana y Dafne Valeria, que con su sola presencia logran alegrar mis días, quienes despiertan en mí el deseo de ser su ejemplo a seguir.

A quien he elegido como compañero de vida, y que por medio de su amor me ha brindado su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida. A ti Juan Felipe Gracias por trazarme sueños y aún más importante, desear cumplirlos a mi lado

A Aura Nila María, Rosalba Muñoz y cada uno de mis tíos y tías, primos y primas, quienes me han inculcado el amor por mi Vega, quienes me han brindado la oportunidad de estudiar y a quienes siempre estaré dispuesta a servir, honrar y ayudar. Porque con la realización de esta investigación se da el primer paso a un sueño que inicio hace cerca de 93 años.

.Quienes fueron mi compañía constante dentro de la meta de formarnos como ingenieros civiles, y con quienes comparto el amor por esta profesión y por su aplicación ética dentro de la sociedad, A Camila Inampues, Jimmy Barrionuevo y cada persona que me brindo su amistad.

A el director de esta investigación, el Doctor Lucio Cruz, por compartir conmigo el amor a la geotermia, por sacrificar tiempo con su familia y por estar siempre dispuesto a ser esa guía constante dentro de mi formación profesional.

Al ingeniero Jerson Adrián Campo, a la alcaldía municipal de la Vega cauca, al señor Ancizar Tintinago y al concejal Santiago Jimenez por su constante presencia en éste proyecto y por estar al frente del progreso de nuestro municipio.

A todas y a cada una de las personas que han aportado de una u otra manera al desarrollo de esta investigación, que por ser muchos, no los nombro, pero a quienes les hare llegar mis más profundos agradecimientos.

Michelle Natalia Pabón Chavez

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1 ANTECEDENTES..... | 4 |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.2.1 Objetivo general | 4 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 4 |
| 1.3 ALCANCES..... | 5 |
| 1.4 HIPÓTESIS..... | 5 |
| 1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 6 |
| 2 MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1 HISTORIA EN COLOMBIA Y EL MUNDO..... | 7 |
| 2.2 TERMALES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA | 10 |
| 2.2.1 Caracterización Manantiales termales cercanos al Volcán Nevado El Huila según los datos brindados por el S.G.C para el departamento del Cauca. | 17 |
| 2.2.2 Caracterización Manantiales termales cercanos al Volcán Puracé según los datos brindados por el S.G.C para el departamento del Cauca..... | 17 |
| 2.2.3 Caracterización manantiales termales cercanos al Volcán Sotará según los datos brindados por el S.G.C para el departamento del Cauca..... | 19 |
| 2.3 CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES EN FUENTES TERMALES DE USO RECREATIVO | 22 |
| 3 METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES..... | 25 |
| 4 ESTUDIOS GEOLÓGICOS, TOPOGRÁFICOS Y GEOESTRATIGRÁFICOS DE LA ZONA..... | 33 |
| 4.1 ESTUDIOS GEOLÓGICOS..... | 33 |
| 4.1.1 Importancia del estudio Geológico | 33 |
| 4.1.2 Especificaciones del estudio..... | 34 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.3 | Resultados del estudio | 37 |
| 4.2 | ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS..... | 48 |
| 4.2.1 | Importancia del estudio Topográfico | 48 |
| 4.2.2 | Especificaciones del estudio Topográfico..... | 49 |
| 4.2.3 | Resultados del estudio Topográfico | 53 |
| 4.3 | ESTUDIOS GEOESTRATIGRÁFICOS..... | 54 |
| 4.3.1 | Importancia del estudio Geoestratigráfico | 54 |
| 4.3.2 | Especificaciones del estudio Geoestratigráfico | 59 |
| 4.3.3 | Resultados del estudio Geoestratigráfico | 62 |
| 5 | ESTUDIOS HIDROLÓGICOS..... | 69 |
| 5.1 | IMPORTANCIA DEL ESTUDIO..... | 69 |
| 5.2 | CAUDAL DEL NACIMIENTO TERMAL | 69 |
| 5.2.1 | Especificaciones del estudio | 70 |
| 5.2.2 | Desarrollo de la obra de Aforo | 75 |
| 5.2.3 | Resultados del estudio | 81 |
| 5.3 | EVAPOTRANSPIRACIÓN..... | 82 |
| 5.3.1 | Calculo de la evapotranspiración por método indirecto (formula de Thornthwaite)..... | 82 |
| 5.3.2 | Evapotranspiración mensual Critica y Evapotranspiración anual. | 84 |
| 5.4 | COMPONENTES BACTERIOLÓGICOS, FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL NACIMIENTO TERMAL Y RIO ALEDAÑO | 84 |
| 5.4.1 | Análisis Físico | 86 |
| 5.4.2 | Análisis Químico | 91 |
| 5.4.3 | Análisis Bacteriológicos | 93 |
| 6 | ANÁLISIS DE DATOS Y DISEÑO DEL PROYECTO FUENTE TERMAL RECREATIVA..... | 95 |
| 6.1 | DISTANCIA APROXIMADA DESDE EL VOLCÁN SOTARÁ HASTA EL NACIMIENTO LAS CHIZAS..... | 95 |
| 6.2 | ORIGEN DEL NACIMIENTO TERMAL..... | 96 |
| 6.3 | CARACTERIZACIÓN DEL AFLORAMIENTO PARA USO RECREATIVO | 98 |
| 6.4 | BENEFICIOS MEDICINALES | 98 |

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

| | | |
|-----|--|-----|
| 6.5 | PRE-DIMENSIONAMIENTO..... | 99 |
| 6.6 | TERRENO DISPONIBLE..... | 100 |
| 6.7 | ALTERNATIVAS A NIVEL MACRO PARA LA EXPANSIÓN DEL PROYECTO | 101 |
| 7 | TRABAJO CON LA COMUNIDAD, SOCIALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS | 102 |
| 7.1 | NOMBRE Y LOGO DEL PROYECTO | 102 |
| 7.2 | PAGINA WEB PARA EL CABILDO | 104 |
| 7.3 | VIDEO INÉDITO..... | 107 |
| 7.4 | SOCIALIZACIÓN CON LA COMUNIDAD..... | 108 |
| 7.5 | SOCIALIZACIÓN EN EL ÁMBITO CIENTÍFICO DEL PAÍS..... | 110 |
| 7.6 | SOCIALIZACIÓN EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN | 112 |
| 8 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 113 |
| 8.1 | CONCLUSIONES..... | 113 |
| 8.2 | RECOMENDACIONES..... | 115 |
| 9 | Referencias..... | 117 |
| 10 | ANEXOS..... | a |

Lista de tablas

| | Pág. |
|-----------------|-------------|
| Tabla 2-1..... | 11 |
| Tabla 2-2..... | 15 |
| Tabla 2-3..... | 15 |
| Tabla 2-4..... | 16 |
| Tabla 2-5..... | 16 |
| Tabla 3-1..... | 25 |
| Tabla 3-2..... | 32 |
| Tabla 4-1..... | 35 |
| Tabla 4-2..... | 36 |
| Tabla 4-3..... | 51 |
| Tabla 4-4..... | 53 |
| Tabla 4-5..... | 58 |
| Tabla 4-6..... | 64 |
| Tabla 4-7..... | 67 |
| Tabla 5-1..... | 70 |
| Tabla 5-2..... | 71 |
| Tabla 5-3..... | 81 |
| Tabla 5-4..... | 83 |
| Tabla 5-5..... | 83 |
| Tabla 5-6..... | 84 |
| Tabla 5-7..... | 86 |
| Tabla 5-8..... | 89 |
| Tabla 5-9..... | 90 |
| Tabla 5-10..... | 90 |
| Tabla 5-11..... | 91 |
| Tabla 5-12..... | 91 |
| Tabla 5-13..... | 92 |
| Tabla 5-14..... | 93 |

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

Tabla 5-15..... 93
Tabla 5-16..... 94
Tabla 6-1..... 98
Tabla 10-1..... d
Tabla 10-2..... h
Tabla 10-3..... i
Tabla 10-4..... n

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| <i>Figura 2-1.</i> Cinturón de Fuego del Pacífico..... | 8 |
| <i>Figura 2-2.</i> Volcanes monitoreados por el SGC. | 9 |
| <i>Figura 2-3.</i> Manantiales termales registrados en Colombia- Sub división departamental. Datos tomados del SGC. Fuente propia..... | 10 |
| <i>Figura 2-4.</i> Porcentaje de Manantiales estudiados por el S.G.C según el Volcán más cercano. | 14 |
| <i>Figura 2-5.</i> Clasificación de reservorios termales cercanos al Volcán Puracé según la temperatura registrada por el SGC. Fuente Propia. | 17 |
| <i>Figura 2-6.</i> Clasificación de reservorios termales cercanos al volcán Puracé con relación a la sensación térmica ofrecida. Fuente Propia. | 18 |
| <i>Figura 2-7.</i> Clasificación de reservorios termales cercanos al volcán Puracé según sus componentes químicos. Fuente Propia. | 18 |
| <i>Figura 2-8.</i> Clasificación de reservorios termales cercanos al volcán Puracé según su pH. Fuente Propia..... | 19 |
| <i>Figura 2-9.</i> Caracterización fuente termal Aguas Calientes. Zona aledaña al Volcán Sotará. 20 | |
| <i>Figura 2-10.</i> Caracterización fuente termal Aguas Amarillas. Zona aledaña al Volcán Sotará. | 21 |
| <i>Figura 2-11.</i> Distancias aproximadas desde el volcán Puracé a Aguas tibias Coconuco. | 23 |
| <i>Figura 4-1.</i> Geología de la zona de interés y sus alrededores..... | 37 |
| <i>Figura 4-2.</i> Mapa Geológico con fuentes hidrológicas: Plancha 387-Bolivar..... | 38 |
| <i>Figura 4-3.</i> Especificación de la localización de estudio..... | 39 |
| <i>Figura 4-4.</i> Columna estratigráfica de la plancha 387- Bolívar..... | 42 |
| <i>Figura 4-5.</i> Mapa geológico con fuentes hidrológicas: Plancha 364 – Timbio. | 44 |
| <i>Figura 4-6.</i> Corte A-A' plancha 364..... | 46 |
| <i>Figura 4-7.</i> Localización general del proyecto. | 50 |
| <i>Figura 4-8.</i> Arreglo básico para le medición de la resistividad 54 | |
| <i>Figura 4-9.</i> Relación Resistividad Vs Humedad..... | 56 |
| <i>Figura 4-10.</i> Influencia de la estratificación en la resistividad de los suelos..... | 57 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 4-11. Relación Resistividad vs Compactación</i> | 57 |
| <i>Figura 4-12. Equipo ensayo Geoeléctrico</i> | 60 |
| <i>Figura 4-13. Grafico Método Schlumberger</i> | 61 |
| <i>Figura 4-14. Localización línea de refracción geoeléctricas.</i> | 63 |
| <i>Figura 4-15. Curva de resistividad vs Distancia - SEV 1</i> | 65 |
| <i>Figura 4-16. Ubicación SEV 1</i> | 66 |
| <i>Figura 4-17. Ubicación SEV -2</i> | 67 |
| <i>Figura 4-18, . Interpretación Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2</i> | 68 |
| <i>Figura 5-1, Ubicación estación Guachicono. Fuente Google Earth</i> | 71 |
| <i>Figura 5-2, . Climograma estación Guachicono 52020190. Datos obtenidos por el IDEAM</i> . | 72 |
| <i>Figura 5-3, Velocidad promedio anual del viento a 10 m de altura (m/s).</i> | 73 |
| <i>Figura 5-4. Aforo Volumétrico</i> | 74 |
| <i>Figura 5-5. Prisma de presiones sobre pantalla plana y vertical</i> | 75 |
| <i>Figura 5-6, Nacimiento las Chizas invadido por el agua del Rio Guachicono</i> | 76 |
| <i>Figura 5-7,Nacimiento las Chizas en crecida del Rio Guachicono.</i> | 77 |
| <i>Figura 5-8, Construcción encausamiento y pantalla protectora de crecidas</i> | 77 |
| <i>Figura 5-9. presiones hidrostáticas ocasionadas por el taponamiento del conducto</i> | 78 |
| <i>Figura 5-10, Impermeabilización y sellado de pantallas protectoras</i> | 79 |
| <i>Figura 5-11. Fraguado del Concreto y secado del mortero</i> | 79 |
| <i>Figura 5-12, Encauzamiento sin afectar el nacimiento</i> | 80 |
| <i>Figura 5-13. Aforo</i> | 80 |
| <i>Figura 5-14. Muestras de agua para laboratorio</i> | 85 |
| <i>Figura 5-15, Dispersión estadística de los valores diarios de temperatura</i> | 88 |
| <i>Figura 6-1, Distancia entre el volcán Sotará y el nacimiento termal Las Chizas</i> | 95 |
| <i>Figura 6-2, Geoestratigrafía de la zona</i> | 97 |
| <i>Figura 6-3. Área útil</i> | 101 |
| <i>Figura 7-1, Logo del proyecto</i> | 102 |
| <i>Figura 7-2, Entrega de camiseta del Proyecto al Gobernador Ancisar Tintinago</i> | 104 |
| <i>Figura 7-3, Registro de Caudal y Temperatura por parte de la comunidad</i> | 105 |
| <i>Figura 7-4, Presentación de la página web</i> | 105 |
| <i>Figura 7-5, Enlace Pilares del resguardo</i> | 106 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 7-6, Enlace Proyecto las Chizas.</i> | 107 |
| <i>Figura 7-7, Socialización de resultados con la comunidad.....</i> | 110 |
| <i>Figura 7-8, Tres instituciones del Cauca seleccionadas como ejemplo de investigación social.</i> | 110 |
| <i>Figura 7-9, Ponencia en Reunión Nacional de Geotermia 2018.....</i> | 111 |
| <i>Figura 10-1, Curva de resistividad aparente sin ajustar.....</i> | e |
| <i>Figura 10-2, Inserción de datos.....</i> | e |
| <i>Figura 10-3, Ejemplos de Curvas patrón posibles</i> | f |
| <i>Figura 10-4, Curva de resistividad elegida S.E.V 1.....</i> | g |

Lista de Anexos

| | Pág. |
|---|-------------|
| Anexo A, Plancha Geológica..... | a |
| Anexo B, Planos Topográficos..... | c |
| Anexo C, Manejo y procesamiento de datos en el programa IPI2WIN S.E.V 1 | d |
| Anexo D, Procesamientos datos IDEAM | h |
| Anexo E, Medición de Caudal en campo | o |
| Anexo F. Resultados estudios químicos | q |
| Anexo G. Registro de Temperatura..... | u |
| Anexo H. Video Inédito..... | ee |
| Anexo I, Evidencia difusión de resultados | ff |

RESUMEN

La comunidad del Resguardo indígena de Guachicono, como muchas comunidades en el Cauca se prepara para los retos que se avecinan en el futuro, entre ellos el crecimiento de su población y por ende su sostenibilidad financiera.

Particularmente, esta comunidad tiene un punto dentro de su resguardo donde existe una fuente termal; la comunidad persiste en el probable potencial que tuviera como proyecto recreativo (Proyecto recreativo las Chizas), pero la inexistencia de cualquier dato histórico acerca de algún estudio realizado a nacimientos termales en esta zona impide el progreso del proyecto.

Se decide efectuar una investigación para determinar la factibilidad del sitio para aprovechamiento termal balneológico y determinar la posibilidad de crear el primer centro recreativo termal alimentado por el Volcán Sotará.

Dentro de la metodología para el estudio, se incluyen mediciones de temperatura, calidad del agua, caudal y caracterización geológica-geotécnica.

Las condiciones del sitio y la falta de datos históricos representan un gran desafío para configurar el proyecto, pero la comunidad ha enfocado sus esfuerzos en continuar con la investigación.

Una de las conclusiones más importantes que se pueden inferir durante el desarrollo del proyecto es que mientras exista voluntad y determinación por parte de las comunidades involucradas, cualquier proyecto podrá llevarse a cabo.

Palabras claves: Volcán, termales, geotermia, comunidad, factibilidad.

ABSTRACT

The community of the Guachicono Indigenous Reserve, like many communities in Cauca, is preparing for the challenges that lie ahead in the future, including the growth of its population and therefore its financial sustainability.

In particular, this community has a point inside its shelter where there is a thermal source; the community persists in the probable potential that it had as a recreational project (Las Chizas recreational project), but the lack of any historical data about thermal births in this area reverts the progress of the project.

In particular, this community has a point inside its shelter where there is a thermal source; the community persists in the probable potential that it had as a recreational project (Las Chizas recreational project), but the lack of historical data on any study carried out on thermal births in this area reveals the progress of the project.

It is here when it is decided to carry out an investigation to determine the feasibility of the site for balneology and to determine the possibility of creating the first thermal recreational center fed by the Sotará Volcano.

Within the methodology for the study, it includes measurements of temperature, water quality, flow, and geological-geotechnical characterization.

The conditions of the site and the lack of historical data represent a great challenge to configure the project, but the community has focused its efforts on continuing with the research.

One of the most important conclusions that can be inferred during the development of the project is that as long as there is will and determination on the part of the communities involved, any project can be carried out.

Keywords: Volcano, balneology, geothermic, indigenous communities.

INTRODUCCIÓN

“En un principio, Yana era la noche, la oscuridad y ella cubría el universo completo porque no existía nada sobre la tierra. El Dios era Wayra, el viento, y sostenía la tierra con los soplidos y el Dios Inti, el sol, conciliaba el sueño al terminar el día. Wayra se encontraba muy preocupado por Yana entonces decidió soplar muy fuerte sobre los cabellos de Inti, para que ella se levantara y fijara su cuerpo sobre la tierra. Así, ella se iluminó y comenzó a calentarse. Con el calor, desde el fondo de la tierra surgieron los Tapukus, seres de vapor hembras y machos.” (Cabildo Indígena Yanaconas, 2005) Es la historia que cuenta un cabildante Yanaconas para dar explicación al origen del imponente volcán Sotará.

La comunidad Yanaconas se refugia en la grandeza del Macizo Colombiano. El municipio de La Vega Cauca cuenta con el 24.24% de su población perteneciente a esta etnia. El corregimiento que más aporta a este porcentaje es el Resguardo indígena de Guachicono. Está localizado al sur-oriente del Departamento del Cauca; a 39 kilómetros al sur-oriente de la cabecera municipal La Vega y a 104 kilómetros de Popayán, capital del Departamento. Sus vías de comunicación y transporte son carretables, caminos de herradura y telefonía satelital.

Este resguardo se estableció en la falda del volcán Sotará, se encuentra a 2670m.s.n.m y cuenta con una topografía accidentada, una geología inexplorada, fuentes hídricas impresionantes y una cultura arraigada.

Aunque el volcán Sotará esta categorizado como Activo no hay ningún registro de erupción histórica, su actividad actual se manifiesta por actividad sísmica y la presencia de campos fumarólicos.

La siguiente investigación fundamentada en el compromiso vital y permanente de la Universidad del Cauca con el desarrollo social, une el campo investigativo científico, con los intereses y sueños de la comunidad indígena de Guachicono.

Dentro del marco investigativo de la geotermia, éste proyecto analiza la posibilidad de iniciar en el resguardo indígena de Guachicono el aprovechamiento termal turístico de una fuente nunca antes estudiada.

CAPÍTULO 1

1 ANTECEDENTES

1.1 JUSTIFICACIÓN

La ingeniería civil es aquella ciencia que utiliza los conocimientos técnicos para ayudar a resolver las necesidades de la sociedad. Es por ello que al estudiar cada una de las ramas que comprende esta disciplina no se debe olvidar que su principal objetivo es brindar servicio y beneficio a sus comunidades para así lograr su bienestar y confort.

En esta ocasión se ha tomado gran cantidad de sus áreas para desarrollar un proyecto encaminado al avance de una de las comunidades indígenas más importantes de nuestro país y ponerla a la vanguardia en utilización de recursos naturales.

Se propone entonces, investigar una zona en el municipio de La Vega Cauca que no ha sido estudiada en ninguna ocasión, enfocar los estudios en caracterizar sus recursos termales y ponerlos al servicio de la comunidad.

Este proyecto brinda la oportunidad de potenciar conocimientos en varias sub disciplinas de la ingeniería civil tales como la geología, hidráulica, construcción, costos, materiales, entre otras, y así, siguiendo los motivos que desde un inicio impulsaron a seguir esta profesión, empezar a dejar un legado para construir una sociedad desarrollada y en armonía con el medio ambiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Estudiar el potencial geotérmico recreacional (pre-factibilidad) de una fuente termal en el Cauca - cabildo indígena de Guachicono perteneciente al municipio de La Vega Cauca.

1.2.2 Objetivos específicos

- Recopilar información existente sobre el lugar de investigación y sus zonas aledañas (volcán Sotará)

- Combinar conocimientos culturales y científicos trabajando en conjunto con el cabildo indígena de Guachicono.
- Realizar estudios turísticos preliminares, topográficos, geológicos, hidráulicos, hidroquímicos e hidrogeológicos en el área donde se desea realizar el proyecto.
- Analizar, estudiar y concluir basándonos en los estudios realizados si la fuente termal es apta o no para la explotación turística.
- Socializar y entregar en forma escrita y clara los resultados obtenidos a los entes directamente implicados.
- Proporcionar una página web a la comunidad para que sea autónoma de hacer el seguimiento a la fuente termal.

1.3 ALCANCES

El siguiente proyecto comprende la fase de prefactibilidad para la construcción de un centro balneario termal recreacional en el municipio de la Vega Cauca, Resguardo indígena de Guachicono.

Contempla los estudios necesarios para determinar si es posible o no, avanzar en la realización del proyecto y tiene como objetivo final presentar un informe oral y escrito que ayude a instruir a la comunidad en la toma de decisiones de los pasos a seguir.

Adicionalmente se busca la correcta difusión de los resultados dentro del ámbito científico del país.

1.4 HIPÓTESIS

El nacimiento de agua termal en el resguardo indígena de Guachicono, municipio de la vega Cauca, es suficiente para conducir, mantener y abastecer con agua a temperatura deseada el proyecto del centro balneario termal que desea realizar el cabildo indígena de Guachicono con apoyo de la alcaldía municipal de la Vega Cauca.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las áreas aledañas a los volcanes son muy susceptibles a grandes cambios topográficos y presencia de algunas fallas geológicas. Cada zona tiene sus características específicas, haciendo de ésta un lugar único que se debe tratar según sus peculiaridades.

En esta oportunidad la alcaldía Municipal de la Vega Cauca junto con el resguardo indígena de Guachicono, desean ser los primeros en el sur occidente del departamento del Cauca en construir un centro balneario termal que, combinado con la naturaleza, su ancestral cultura y la ingeniería civil, pueda brindar a sus visitantes un acercamiento a la Pachamama, un respiro de lo cotidiano y un paso obligado para los turistas.

Frente a la realización de esta obra se encuentran diferentes retos para profesionales de diferentes disciplinas, ya que se desea que este centro termal solo dependa del nacimiento situado en su territorio, del cual no se sabe con certeza su origen, puesto que brota cerca del río Guachicono y se combina con sus aguas. Debido a lo anterior es de vital importancia realizar los estudios de prefactibilidad del proyecto para garantizarle a su comunidad la viabilidad del mismo.

Desafíos como caracterizar la zona de estudio, encontrar la cabeza de presión necesaria para el traslado del agua, mantener una temperatura idónea, contar con la cantidad de fluido requerido, brindar seguridad a los posibles visitantes, sin poner en riesgo la riqueza natural de la zona, son retos que se deben superar para poder concluir la prefactibilidad del proyecto y responder ¿Es viable la explotación turística termal en el resguardo de Guachicono-Cauca?

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA EN COLOMBIA Y EL MUNDO

Se define como manantial termal o fuente termal, a una descarga natural de agua con temperatura por encima de 4°C la temperatura media ambiental. En ocasiones la descarga de agua está acompañada de descargas de gases, principalmente, gas carbónico (CO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). (Servicio Geológico Colombiano, 2015)

La atribución de bondades terapéuticas a estas aguas que brotan del subsuelo es un fenómeno que comienza en la Prehistoria, periodo en el que se atribuye un origen divino o sobrenatural. Ejemplo de ello son los monumentos megalíticos, como dólmenes y petroglifos, que hoy en día se conservan en lugares próximos a determinados manantiales termales.

En la Edad Antigua se produce una época de esplendor bajo la dominación romana, origen de gran cantidad de balnearios, muchos de los cuales se encuentran activos. Durante esta época debido al primer balneario construido por el emperador Agripa nace cierto interés por incluir en sus planes sociales de gobierno la construcción de casas de baño públicas. Unos ejemplos de manantiales termales de esta época son “Las Burgas de Ourense”: conjunto de 3 fuentes públicas cuyas aguas de más de 60° C hizo que en la época cristiana se las relacionara con el infierno. Antes de la dominación romana el entorno era considerado lugar sagrado y el origen de sus aguas se asociaba a “Revve Anabaraego”, deidad acuática prerromana.

Al comienzo de la Edad Media el uso de estas aguas experimenta cierto retroceso, aunque su utilidad se mantiene en algunas órdenes religioso-militares como la de los Caballeros de Santiago y la de San Juan, que las utilizaron para la cura de sus heridas. En el territorio de dominación árabe, al sur de España, se edifican nuevos balnearios. (Instituto Geológico y Minero de España, 2010)

En los siguientes siglos su desarrollo ha sido, en su gran mayoría, con un enfoque turístico y sanativo, obedeciendo a lo que alguna vez dijo Hipócrates: “El médico cura, solo la naturaleza sana”. (Instituto Geológico y Minero de España, 2010)

Mejorar la presión sanguínea y la oxigenación o tratar enfermedades reumáticas, respiratorias y de la piel son apenas algunos de los usos terapéuticos de estas aguas que brotan del suelo con temperaturas entre los 5 y los 150 °C, y que, por sus características geológicas de origen, magmáticas o telúricas, pueden ser halladas en cualquier territorio alrededor del mundo. (Alfaro, Velandia , & Cepeda , 2005).

En cuanto a recurso geotérmico, Colombia cuenta con una posición geográfica privilegiada y una geología favorable, dado que parte del territorio se encuentra ubicado en el cinturón de Fuego del Pacífico (*Figura 2-1*), zona donde el gradiente de temperatura natural del subsuelo, cerca de la superficie, es anómalamente alto y se manifiesta con la actividad volcánica actual. Éste potencial se puede evidenciar en zonas adyacentes a los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima donde la historia eruptiva reciente y la presencia de fuentes de aguas termales, fumarolas y zonas de alteración hidrotermal superficial indican características adecuadas para su uso energético, recreativo y medicinal (Marzolf, 2015).



Figura 2-1. Cinturón de Fuego del Pacífico.
Tomada de CNN, 2018

El Servicio Geológico Colombiano (SGC), es la entidad encargada del monitoreo constante de los volcanes presentes en el país y de la caracterización de materiales geológicos



Figura 2-2. Volcanes monitoreados por el SGC.

Tomada de Servicio Geológico Colombiano, 2018.

en los componentes físico, químico, mecánico, petrográfico, mineralógico y metalúrgico (*Figura 2-2*).

Es por lo anterior que Colombia se considera una de las fuentes de aguas termales más importantes del planeta, cuenta con un aproximado de 296 manifestaciones hidrotermales registradas (*Figura 2-3*). Entre las más conocidas de uso recreativo están Santa Rosa de Cabal, en Risaralda; Paipa, en Boyacá; Rivera, en Huila; Paratebueno, Machetá o Chocontá, en Cundinamarca, y Puracé, en el Cauca, donde las pequeñas cascadas, piscinas naturales y cámaras de vapor volcánico forman parte del paisaje y prometen una estancia muy lejos del estrés de la vida cotidiana. (Pedraza & Mariño Martínez, 2016).

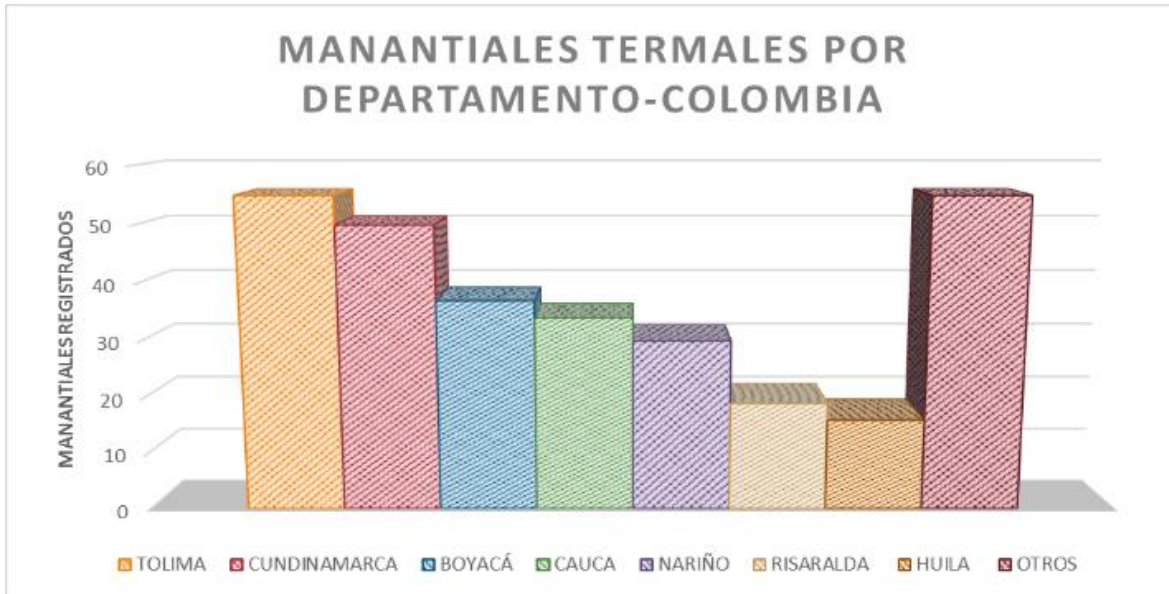


Figura 2-3. Manantiales termales registrados en Colombia- Sub división departamental. Datos tomados del SGC. Fuente propia.

2.2 TERMALES EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El departamento del Cauca, ubicado al sur occidente de Colombia, cuenta con la presencia de aproximadamente 14 volcanes (activos e inactivos) dentro de su territorio, de los cuales tan solo los Volcanes Puracé, Sotará y Nevado el Huila, cuentan con monitoreo constante por parte del Servicio Geológico Colombiano.

Esta ubicación hace que el departamento posea una gran cantidad de fumarolas y manantiales termales, logrando categorizarlo en la cuarta posición nacional en cuanto a riqueza geotérmica se refiere (*Figura 2-3*).

El aplicativo web *Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales* del S.G.C hace seguimiento a 34 manantiales termales y 2 fumarolas dentro del departamento. En la Tabla 2-1 se presenta un resumen del seguimiento a los manantiales termales, en la cual se puede apreciar con facilidad las principales características de éstos.

Tabla 2-1

Caracterización de Manantiales termales en el Departamento del Cauca. Seguimiento por el S.G.C.

| No | Nombre | Municipio | Volcán cercano | Temperatura (°C) | PH In situ | Conductividad eléctrica (uS/cm) | Clasificación química |
|-----------|-------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|--|------------------------------|
| 1 | Agua Caliente | PÁEZ | V.N. El Huila | 38.5 | 7.24 | 1347 | Clorurada |
| 2 | Agua Caliente II | PÁEZ | V.N. El Huila | 37.4 | 6.73 | 1140 | Clorurada |
| 3 | Agua Caliente IV | PÁEZ | V.N. El Huila | 42.2 | 6.66 | 1272 | Clorurada |
| 4 | Agua Caliente Piscina antigua | PÁEZ | V.N. El Huila | 32.4 | 7.31 | 724 | Clorurada |
| 5 | Aguas Amarillas | SOTARÁ | V. Sotará | 33.8 | 5.84 | 908 | Bicarbonatada |
| 6 | Agua hirviendo | PURACÉ | V. Puracé | 74.1 | 6.52 | 10740 | Sulfatada |
| 7 | Agua Tibia el salado colorado | PURACÉ | V. Puracé | 54 | 6.42 | 8500 | Clorurada |
| 8 | Balneario agua Tibia 1 | PURACÉ | V. Puracé | 23.8 | 6.81 | 339 | Bicarbonatada |
| 9 | Balneario agua Tibia 2 | PURACÉ | V. Puracé | 38 | 6.82 | 964 | Bicarbonatada |
| 10 | Balneario agua Tibia 3 | PURACÉ | V. Puracé | 37.2 | 6.86 | 1001 | Bicarbonatada |
| 11 | Balneario agua Tibia 4 | PURACÉ | V. Puracé | 30.9 | 7.1 | 7690 | Clorurada-Bicarbonatada |
| 12 | Balneario agua Tibia 5 | PURACÉ | V. Puracé | 30.3 | 6.93 | 606 | Bicarbonatada |
| 13 | Balneario agua Tibia 6 | PURACÉ | V. Puracé | 33 | 6.63 | 1316 | Bicarbonatada |
| 14 | Chuscales I | TOTORÓ | V. Puracé | 48.7 | 6.3 | 510 | Bicarbonatada |

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

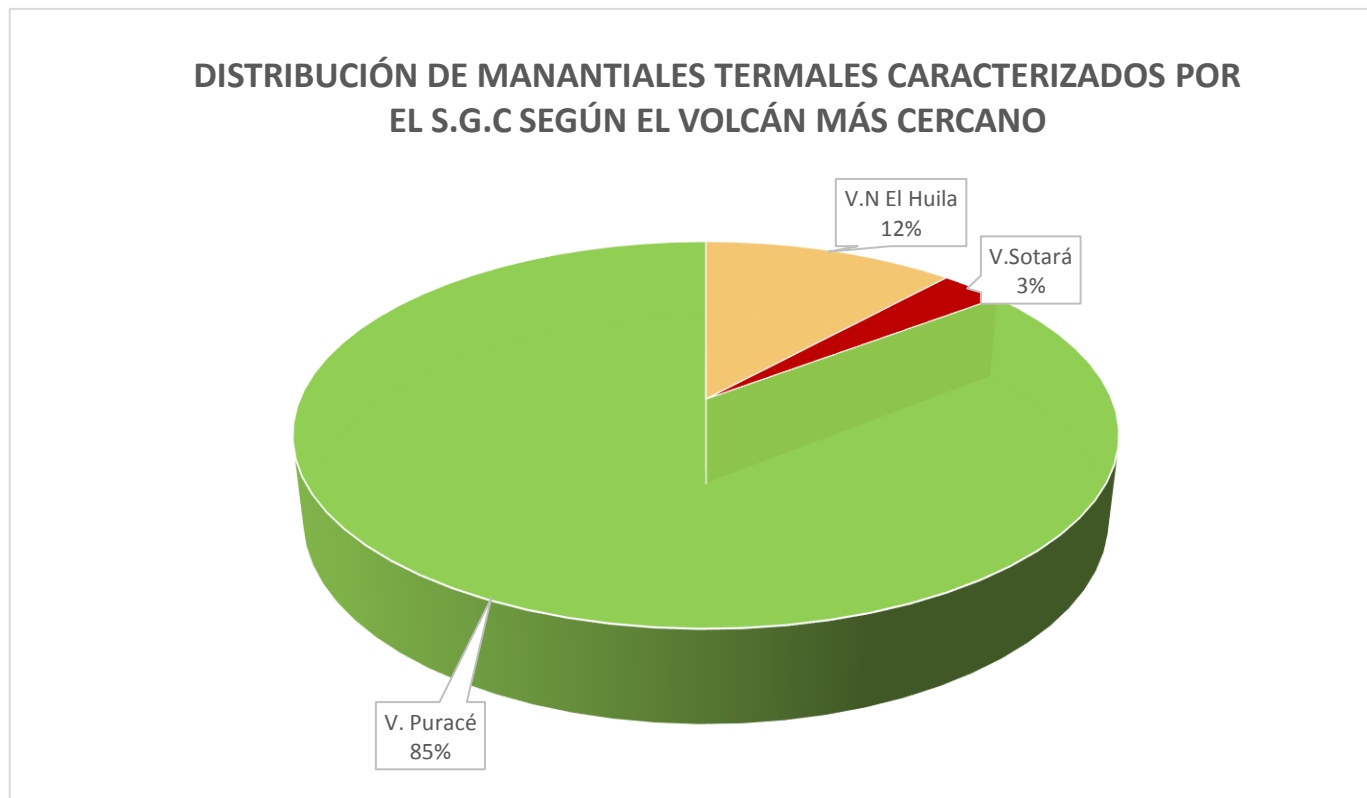
| No | Nombre | Municipio | Volcán cercano | Temperatura (°C) | PH In situ | Conductividad eléctrica (uS/cm) | Clasificación química |
|-----------|---------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|--|------------------------------|
| 15 | Chuscales II | TOTORÓ | V. Puracé | 48.1 | 6.36 | 514 | Bicarbonatada |
| 16 | El Salado | TOTORÓ | V. Puracé | 24.1 | 6.53 | 11860 | Clorurada |
| 17 | Finca La Trampa | TOTORÓ | V. Puracé | 15.2 | 7.12 | 174 | Bicarbonatada |
| 18 | Guarquelló | PURACÉ | V. Puracé | 23.2 | 2.54 | 2902 | Sulfatada |
| 19 | La Bajada | PURACÉ | V. Puracé | 23.2 | 2.46 | 2498 | Sulfatada |
| 20 | La Mina 1 | PURACÉ | V. Puracé | 44.6 | 1.71 | 8080 | Sulfatada |
| 21 | La Mina 2 | PURACÉ | V. Puracé | 47 | 1.73 | 8860 | Sulfatada |
| 22 | Laguna Esmeralda | PURACÉ | V. Puracé | 33.5 | 4.35 | 1654 | Sulfatada |
| 23 | Las Mangas 1 | TOTORÓ | V. Puracé | 46.3 | 6.43 | 6870 | Clorurada-Bicarbonatada |
| 24 | Las Mangas 2 | TOTORÓ | V. Puracé | 47.5 | 6.43 | 7190 | Clorurada-Bicarbonatada |
| 25 | Las Mangas 3 | TOTORÓ | V. Puracé | 53.7 | 6.55 | 7220 | Bicarbonatada-Clorurada |
| 26 | Las Mangas 4 | TOTORÓ | V. Puracé | 52.9 | 6.56 | 7140 | Bicarbonatada-Clorurada |
| 27 | Los Hornos 1 | PURACÉ | V. Puracé | 69.5 | 3.36 | 2799 | Sulfatada |
| 28 | Los Hornos 2 | PURACÉ | V. Puracé | 67.5 | 3.38 | 2875 | Sulfatada |
| 29 | Manantiales de San Juan 1 | PURACÉ | V. Puracé | 32.9 | 4.57 | 1635 | Sulfatada |

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

| No | Nombre | Municipio | Volcán cercano | Temperatura (°C) | PH In situ | Conductividad eléctrica (uS/cm) | Clasificación química |
|-----------|---------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|--|------------------------------|
| 30 | Manantiales de San Juan 2 | PURACÉ | V. Puracé | 34.3 | 4.7 | 1791 | Sulfatada |
| 31 | Pozo Azul | PURACÉ | V. Puracé | 90.1 | 3.76 | 5030 | Clorurada |
| 32 | Pozo Azul Zona Alterada | PURACÉ | V. Puracé | 88.3 | 2.54 | 1260 | Sulfatada |
| 33 | Tabio | PURACÉ | V. Puracé | 25.4 | 2.24 | 3760 | Sulfatada |
| 34 | Termales Versalles | PURACÉ | V. Puracé | 34.8 | 6.61 | 2028 | Bicarbonatada |

Nota: Datos tomados del Servicio Geológico Colombiano. Creación propia.

Vale destacar que el Servicio Geológico Colombiano presenta un enfoque dirigido hacia los manantiales adyacentes al Volcán Puracé; por ende, brinda información muy escasa sobre los manantiales termales cercanos al Volcán Sotará (*Figura 2-4*).



***Figura 2-4.* Porcentaje de Manantiales estudiados por el S.G.C según el Volcán más cercano.
Fuente Propia**

Con el fin de brindar una mejor caracterización de las fuentes estudiadas por el Servicio Geológico Colombiano, se presenta una categorización de dicha información teniendo en cuenta los siguientes ejes de clasificación del agua mineralógica¹.

¹ Debido a que existen numerosos ejes de clasificación del agua mineralógica, los aquí estipulados se contemplan durante la realización de toda la investigación.

Tabla 2-2

Clasificación del agua mineralogía según su Temperatura.

| CLASIFICACIÓN | TEMPERATURA (°C) |
|----------------------|-------------------------|
| Frías | < 20 |
| Hipotermales | Entre 20 y 35 |
| Mesotermales | Entre 35 y 45 |
| Hipertermales | >45 |

Nota: Tomada de Reyes Secades, 2015.

Tabla 2-3

Clasificación del agua mineralógica según la sensación que produce -Aplicaciones hidroterápicas.

| CLASIFICACIÓN | TEMPERATURA (°C) | SENSACIÓN |
|----------------------------|-------------------------|---|
| Muy frías o heladas | < 12 | Produce Dolor |
| Frías | 12-18 | Sensación de frio molesto pero tolerable |
| Frescas | 18-27 | Sensación agradable en aplicaciones cortas |
| Tibias | 27-32 | Sensación agradable |
| Neutras² | 32-36.5 | Sensación confortable |
| Calientes | 37-40 | Sensación de calor y enrojecimiento de piel |
| Muy calientes | 40-43 | Tolerable en aplicaciones cortas |

Nota: Tomada de Guerra, 2007.

² La temperatura indiferente es aquella temperatura del medio ambiente próximo, a la que el organismo, en reposo, mantiene su estabilidad térmica sin poner en marcha los mecanismos fisiológicos de termorregulación. Es decir, en el punto indiferente el cuerpo humano no siente ni frío ni caliente el estímulo térmico que se le aplique, por lo que su acción térmica será nula.

Esta acción térmica nula (punto indiferente) corresponde a una temperatura del agua de 34-35°C. Este valor no debe ser considerado absoluto, ya que depende de múltiples variables

Tabla 2-4

Clasificación de las aguas mineralógicas según sus componentes químicos

| CLASIFICACIÓN | CARACTERÍSTICA |
|-----------------------|---|
| Sulfatadas | Aguas con más de 1g/l de sustancias mineralizantes, donde predomina el anión sulfato y están influidas fuertemente en sus propiedades terapéuticas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro. |
| Cloruradas | Aguas con más de 1g/l de sustancias mineralizantes, donde el ion cloruro suele estar acompañado de sodio. |
| Bicarbonatadas | Aguas con más de 1g/l de sustancias mineralizantes, donde el ion bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros. |

Nota: Tomada de Reyes Secades, 2015.

Tabla 2-5

Clasificación de aguas mineralógicas según su pH

| CLASIFICACIÓN | pH |
|----------------------|-----------------|
| Ácidas | < 6.8 |
| Neutras | Entre 6.8 y 7.2 |
| Alcalinas | >7.2 |

Nota: Tomada de Reyes Secades, 2015.

2.2.1 Caracterización Manantiales termales cercanos al Volcán Nevado El Huila según los datos brindados por el S.G.C para el departamento del Cauca.

El Servicio Geológico Colombiano hace un seguimiento a 4 manantiales cercanos al Volcán Nevado El Huila, los cuales se encuentran en Belalcázar – Municipio de Páez cauca.

El 100% de estos nacimientos presentan características químicas similares donde predomina la presencia del ion Cloro, categorizando los nacimientos como aguas mineralógicas Cloruradas.

La temperatura de estos varía entre los 32.4 °C a 42.2°C donde el 75% pertenece a aguas Mesotermiales con una sensación térmica entre Neutra y muy caliente.

En cuanto al pH de los nacimientos, se encuentran cercanos a los limites superiores e inferiores del rango Neutro, dando como resultado 50% de aguas acidas y 50% de aguas básicas.

2.2.2 Caracterización Manantiales termales cercanos al Volcán Puracé según los datos brindados por el S.G.C para el departamento del Cauca.

Como ya se mencionó, el S.G.C concentra sus esfuerzos en el estudio de los nacimientos aledaños al volcán Puracé. Es por ello que se presenta una gran variedad de datos que, para efectos prácticos, se clasifican según los ejes establecidos para el desarrollo de este trabajo.

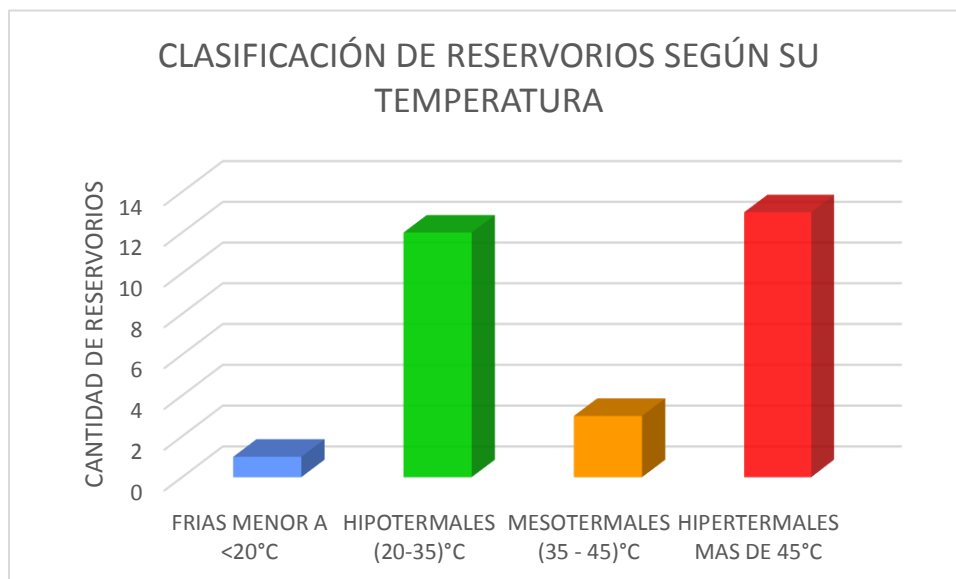


Figura 2-5. Clasificación de reservorios termales cercanos al Volcán Puracé según la temperatura registrada por el SGC. Fuente Propia.

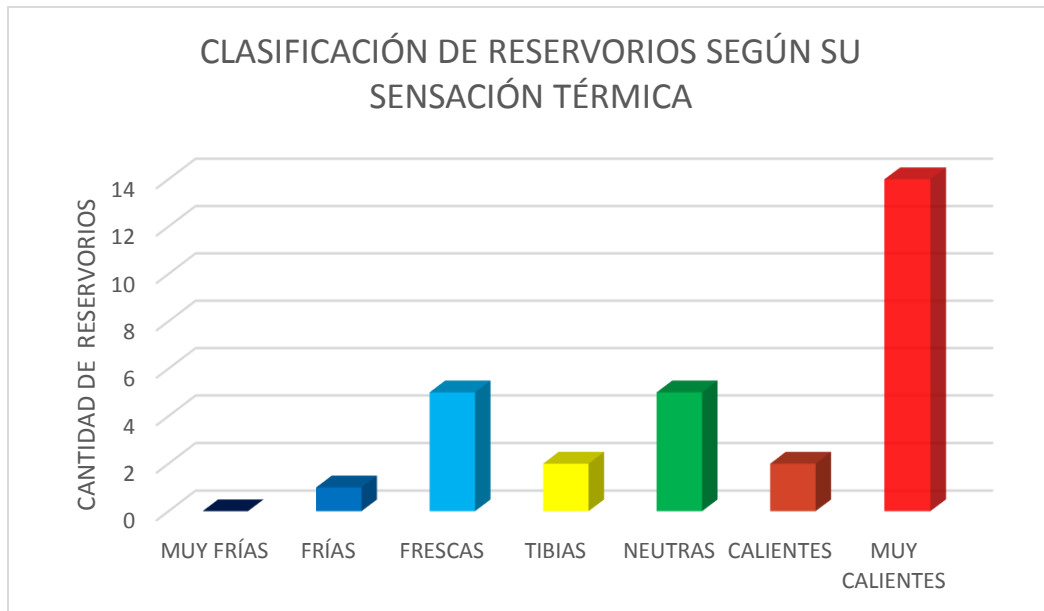


Figura 2-6, Clasificación de reservorios termales cercanos al volcán Puracé con relación a la sensación térmica ofrecida. Fuente Propia.

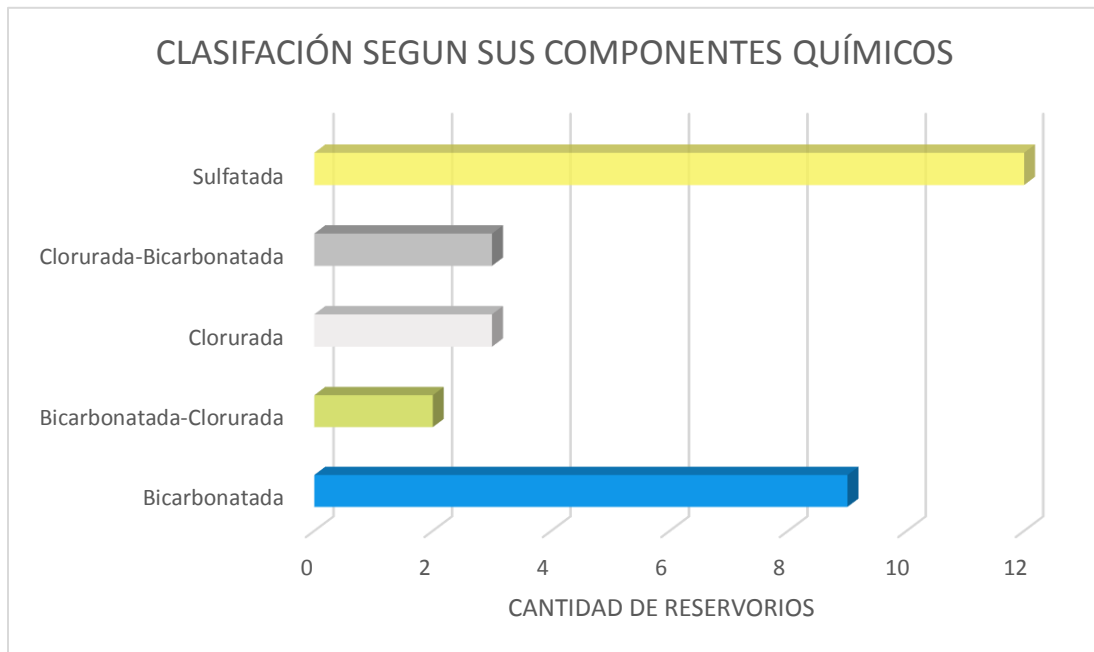


Figura 2-7, Clasificación de reservorios termales cercanos al volcán Puracé según sus componentes químicos. Fuente Propia.

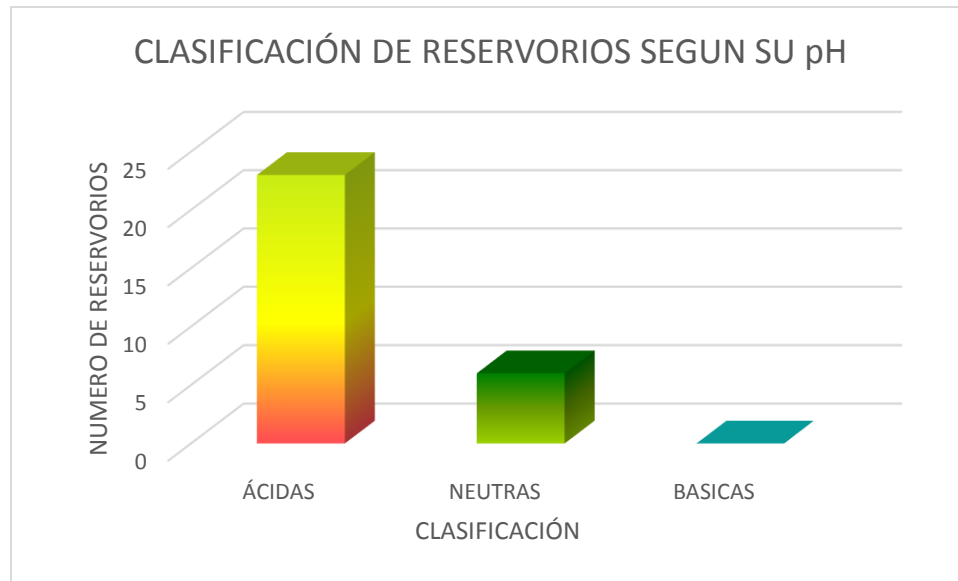


Figura 2-8, Clasificación de reservorios termales cercanos al volcán Puracé según su pH. Fuente Propia.

2.2.3 Caracterización manantiales termales cercanos al Volcán Sotará según los datos brindados por el S.G.C para el departamento del Cauca.

De los 34 manantiales termales registrados en el Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales para el departamento del Cauca, solo uno (1) de ellos pertenece a la zona de influencia del Volcán Sotará. Sin embargo, el seguimiento a este nacimiento, llamado Aguas Amarillas, no es constante, ya que la última medición de temperatura registrada se realizó en el año 2012.

Debido a lo anterior se recurre al *Catálogo de fuentes Termales del Sur Occidente Colombiano* realizado por INGEOMINAS que, aunque data de hace más de 20 años, es el único recurso bibliográfico que presenta una caracterización detallada de 2 fuentes termales cercanas al Volcán Sotará.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

NOMBRE: Aguas Calientes

CODIGO: SOAC

CARACTERISTICA: Alta influencia magmática

POSICION: 02° 07.30' Latitud Norte;

76° 36.63' Longitud Occidental

ALTITUD: 3670 msnm

VIA DE ACCESO: Desde la ciudad de Popayán se viaja hasta el municipio de Timbio, recorriendo 17.0 Km; luego se sigue la vía Timbio - Paispamba 21.4 Km; y Paispamba - cruce a la Chapa 12.8 Km. En el cruce se sigue la vía hacia la izquierda y se recorren 1.4 Km, donde se deja el carro. Después se debe caminar por senderos de herradura y páramo durante cinco horas, pasando por la parte baja de la punta de los Osos del Volcán Sotará, donde se halla la fuente termal.

TEMPERATURA: 33°C

POTENCIAL DE HIDROGENO, pH: 5.6

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA: 0.87 mS/cm (33°C)

CAUDAL: 3.7 L/s

DOSIS DE RADIACION GAMMA: 1.5 µR/h

CACIONES MAYORES, (ppm): Si⁴⁺(57); Na⁺(51); Ca²⁺(51)

ANIONES MAYORES, (ppm): SO₄²⁻(328); Cl⁻(200)

SOLIDOS TOTALES DISUELTOS, STD: 741 mg/Kg

MINERALES NO ALTERADOS: Plagioclasa (Oligoclasa, Andesina, Labradorita), Cuarzo, Si amorfa, Moscovita

MINERALES DE ALTERACION: Halloysita

CLASIFICACION Cl⁻ - SO₄²⁻ - HCO₃⁻: Aguas Sulfato-Cloruradas

CLASIFICACION Na⁺ - K⁺ - Mg²⁺: Aguas Inmaduras

CLASIFICACION STD: Aguas Diluidas

CLASIFICACION GENERAL: Mezcla de Aguas Cloruradas y Sulfatadas

(Datos de Septiembre 06 de 1997)

RELACION DE CONTENIDOS ANIONICOS (1997).
FUENTE TERMAL AGUAS CALIENTES.

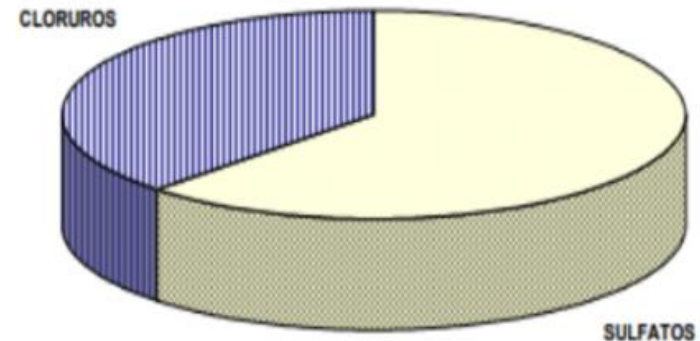


Figura 2-9. Caracterización fuente termal Aguas Calientes. Zona aledaña al Volcán Sotará.
Fuente Garzón Valencia, 1997.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

NOMBRE: Las Amarillas
CODIGO: SOLA
CARACTERISTICA: Alta influencia magmática
POSICION: 02° 07.30' Latitud Norte;
76° 36.63' Longitud Occidental
ALTITUD: 3590 msnm
VIA DE ACCESO: Desde la ciudad de Popayán se viaja hasta el municipio de Timbio, recorriendo 17.0 Km; luego se sigue la vía Timbio - Paispamba 21.4 Km; y Paispamba - crucero a la Chapa 12.8 Km. En el crucero se sigue la vía hacia la izquierda y se recorren 1.4 Km, donde se deja el carro. Después se debe caminar por senderos de herradura y páramo durante cinco horas, pasando por la parte baja del Volcán Sotará, donde se halla la fuente termal, 0.5 Km más abajo de la fuente termal Aguas Calientes.

TEMPERATURA: 36°C
POTENCIAL DE HIDROGENO, pH: 5.7
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA: 1.01 mS/cm (36°C)
CAUDAL: 0.6 L/s
DOSIS DE RADIACION GAMMA: 1.5 µR/h

CACIONES MAYORES, (ppm): Na⁺(56); Si⁴⁺(51); Ca²⁺(42)
ANIONES MAYORES, (ppm): Cl⁻(285); SO₄²⁻(206)
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS, STD: 685 mg/Kg

MINERALES NO ALTERADOS: Plagioclasa (Oligoclasa, Andesina, Labradorita), Tremolita, Mg-hiperstena, Microlina, Cuarzo, Si amorfa, Moscovita
MINERALES DE ALTERACION: Halloysita

CLASIFICACION Cl⁻ - SO₄²⁻ - HCO₃⁻: Aguas Sulfato-Cloruradas
CLASIFICACION Na⁺ - K⁺ - Mg²⁺: Aguas Inmaduras
CLASIFICACION STD: Aguas Diluidas
CLASIFICACION GENERAL: Mezcla de Aguas Cloruradas y Sulfatadas
(Datos de Septiembre 06 de 1997)

RELACION DE CONTENIDOS ANIONICOS (1997).
FUENTE TERMAL LAS AMARILLAS.

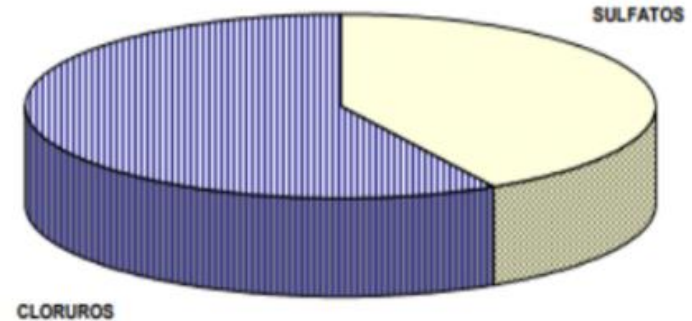


Figura 2-10, Caracterización fuente termal Aguas Amarillas. Zona aleadaña al Volcán Sotará.
Fuente Garzón Valencia, 1997.

Enfocando el análisis de las fuentes Aguas Calientes y Aguas amarillas a los ejes de caracterización establecidos para este trabajo, se categorizan como aguas Hipertermales y Mesotermales, respectivamente, con una sensación de temperatura Neutra para ambos casos.

En cuanto a su composición química se aprecia un alto contenido de cloruros; caso contrario al de las fuentes termales del volcán Puracé que se caracterizan por poseer aguas con altos contenidos de Sulfatos y relativamente bajos contenidos de Cloruros (Figura 2-7). Sin embargo, se presenta cierta similitud en cuanto a valores de pH, ya que el registro de las fuentes cercanas al volcán Sotará indican que son aguas Ácidas, caso que también predomina en las zonas aledañas al volcán Puracé (Figura 2-8).

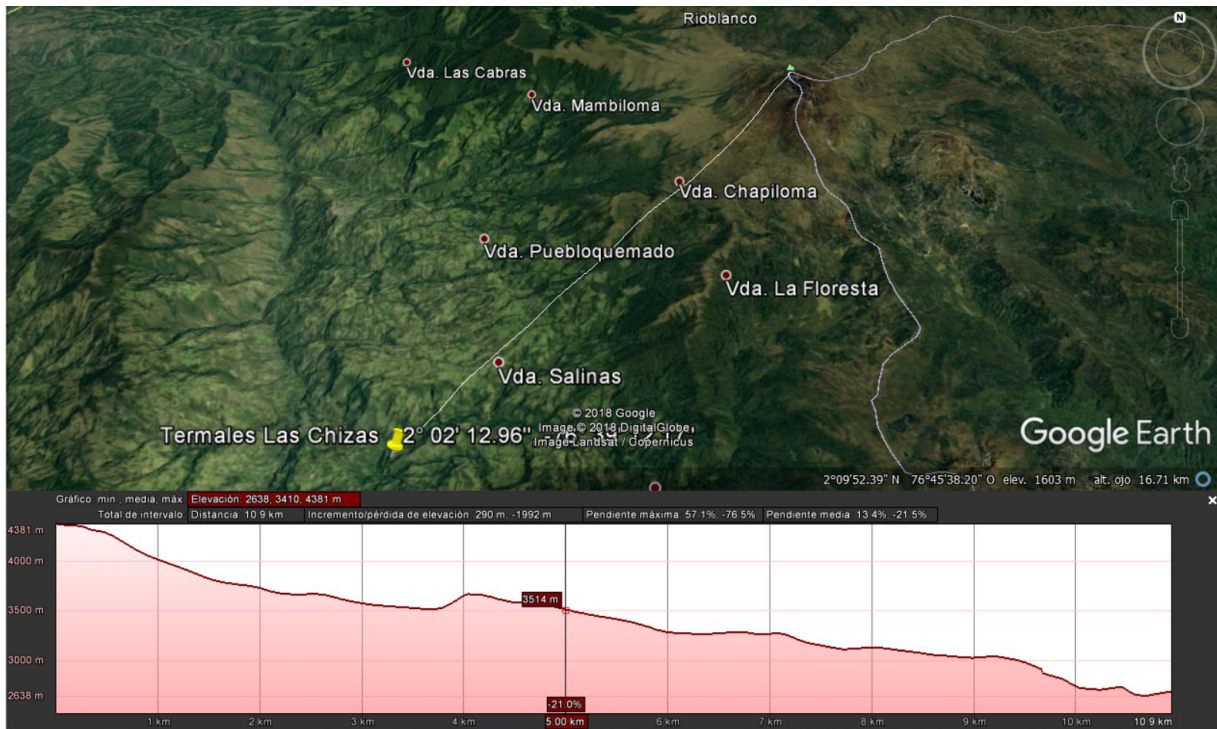
2.3 CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES EN FUENTES TERMALES DE USO RECREATIVO

La construcción de centros balnearios termales se caracteriza por combinar un ambiente natural con obras civiles funcionales y seguras para sus visitantes. El mayor atractivo de estos lugares es la conexión entre sus beneficios a la salud y el confort de un agua natural y cálida.

A diferencia de una piscina convencional no es necesario mantener un caudal de recirculación, puesto que el agua fluye constantemente desde el nacimiento. Sin embargo, el caudal de cada manantial termal brinda una idea para el dimensionamiento de los pozos que sea capaz de abastecer por sí solo³.

En el municipio de Coconuco, Departamento del Cauca se encuentran 2 centros balnearios reconocidos a nivel nacional, Aguas tibias y Aguas hirviendo, que con registros de caudales de 8.8 L/s y 0.9L/s respectivamente han funcionado constantemente durante más de 20 años. (Garzón Valencia, 1997). El centro termal Aguas tibias es el más concurrido dentro del departamento, ya que cuenta con características idóneas para la zona, agua cristalina, temperaturas entre los 25 y 40 °C, y la más llamativa no presenta olor. Este nacimiento se encuentra a una distancia de 12 km (aproximadamente) desde el volcán purace y cuenta con una diferencia de cotas de 2150m (Figura 2-11).

³ Vale aclarar que no se puede dejar a un lado consideraciones de pérdidas por traslado del agua.



**Figura 2-11, Distancias aproximadas desde el volcán Puracé a Aguas tibias Coconuco.
Fuente google Earth**

El rango de temperatura ideal para el funcionamiento de estas piscinas es muy amplio, la creación o no de éstas depende de la temperatura ambiente de la zona, donde el único requisito es que el agua que emerge a la superficie sea 4°C mayor que dicha temperatura ambiente.

En el país hay gran diversidad de piscinas termales, y las bajas temperaturas ambiente de las zonas no han sido impedimento alguno para la construcción de estas estructuras, un ejemplo de ello son las aguas termales de Chiles en el departamento de Nariño, donde la temperatura ambiente es de apenas 6°C y la temperatura de las piscinas es de 12°C. Aunque inicialmente ésta temperatura parece muy baja, las piscinas son un centro de recreación importante en la zona y son catalogadas sin lugar a dudas como piscinas termales. (Hernández P. & Alexander E., 2011)

Cabe señalar que el caso anterior solo es una particularidad dentro del conjunto de termales que existen en Colombia, puesto que en promedio las temperaturas de las piscinas

termales son de aproximadamente 32°C e incluso pueden llegar hasta los 42°C como es el caso de las piscinas termales Aguas Calientes del Llano.

Por otra parte, es de gran importancia la ubicación de la zona de construcción del balneario, el transporte que se dará al agua y muchos otros factores dentro del proceso de construcción que se deben considerar para preservar las condiciones y la temperatura de las termales. Por ejemplo, existen casos como el de las termales de Choachi en Cundinamarca, donde el afloramiento del agua se da a una ardiente temperatura de 80°C; sin embargo, cuando llega a las diferentes piscinas termales que la fuente alimenta, se ha enfriado a temperaturas de entre 30 °C y 38°C. Ésta temperatura, aunque continúa siendo considerablemente alta, no supera los 40°C que podría alcanzar considerando la elevada temperatura a la cual emerge, es por eso que se deben estudiar cuidadosamente los factores que pueden influir en la afectación de la naturaleza misma del agua. (Hernández P. & Alexander E., 2011)

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES

Tabla 3-1
Metodología y actividades

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIE MPO |
|---|--|---|--|--------------|
| 1. Revisión de datos geológicos/geotécnicos existentes | Obtener toda la información geológica existente de la zona de interés | Hacer uso de la información recolectada por el Servicio geológico Colombiano. En primera instancia utilizando la información virtual, y si es necesario, solicitar las plantillas específicas a la sede regional- Popayán. | Crear nuestro propio banco de datos con información perteneciente y relacionada al volcán Sotará y sus zonas aledañas. | 3 semanas |
| 2. Ubicación y reconocimiento previo del terreno | Concebir una idea general y previa del terreno en el que se va a trabajar. | Se solicitarán coordenadas del lugar de la obra, tomadas con un equipo de baja precisión, por medio de alguna aplicación móvil. Utilizando el banco de datos creado sobre el volcán Sotará se identificará, | Tener identificado fallas geológicas, tipos de suelos (época), afluentes cercanos, distancias en línea recta a zonas importantes (Volcán Sotará, | 2 semanas |

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIE MPO |
|--|---|---|---|--------------------|
| | | en cuanto sea posible, la zona a trabajar. | Cabeceras municipales, entre otras), altitud, limites | |
| 3. Estudio de fuentes termales recreacionales | Identificar parámetros característicos de balnearios termales existentes. | Consultar temperaturas, caudales, ubicaciones, dimensiones de piscinas y atractivos de termales existentes. | Conocer casos exitosos en zonas cercanas al proyecto y poder tomarlas como referencia durante el desarrollo de la investigación.. | 1 seman as |
| 4. Visita de Campo | Conocer la zona disponible para realizar el proyecto y el área de investigación para la caracterización de la fuente termal. Realizar un control constante del avance y los estudios y actividades realizadas. | Visitar el Resguardo indígena de Guachicono, la zona donde hay brotes de aguas termales y el área donde se desea construir el balneario, en compañía de personas que conocen el territorio. | Conectar los conocimientos adquiridos previamente con la realidad de la zona de trabajo. Explorar sus territorios y tener una idea clara del lugar donde se va a trabajar. Asegurar el efectivo desarrollo de los estudios a realizar | 5 seman as |
| 5. Estudio topográfico | Entender y conectar las características geológicas, hidráulicas y topográficas. | Levantamiento topográfico convencional con estación total Laica Ref 1100 y con Drone Phantom 4. | Levantamiento topográfico de la zona. | 2 seman as |

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIEMPO |
|---|---|--|--|------------------|
| 6. Análisis químicos | Calificar la calidad del agua del sitio. | Realizar a las muestras de agua tomada de la fuente termal en estudio los análisis de laboratorio respectivos para usos recreacionales de fuentes termales. Entre ellas se encuentra: Turbiedad UNT, PH, Sulfatos mg/L SO ₄ ²⁻ , Cloruros mg/L Cl ⁻ , aluminio mg/L Al (III), nitratos mg/L NO ₂ , nitritos mg/L NO ₂ ⁻ alcalinidad mg/lcaco ₃ , Dureza total mg/lcaco ₃ , conductividad us/cm, Solidos disueltos totales mg/L, hierro total, coliformes totales, E-coli, mesofilos, temperatura, oxígeno disuelto, DQO. | Turbiedad UNT, PH, Sulfatos mg/L SO ₄ ²⁻ , Cloruros mg/L Cl ⁻ , aluminio mg/L Al (III), nitratos mg/L NO ₂ , nitritos mg/L NO ₂ ⁻ alcalinidad mg/lcaco ₃ , Dureza total mg/lcaco ₃ , conductividad us/cm, Solidos disueltos totales mg/L, hierro total, coliformes totales, E-coli, mesofilos, temperatura, oxígeno disuelto, DQO. | 1 seman as |
| 7. Estudio Hidráulico e Hidrogeológico | Entender hidroeológicamente la fuente termal objeto de estudio. | Toma de temperatura, caudales y la entendimiento del subsuelo con información disponible del SGC. | Modelo hidrogeológico del sitio. Separación del agua termal respecto al agua del río debido a | 5 seman as |

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIE MPO |
|---|--|---|--|--------------------|
| | | Construcción de un encausamiento que permita la adecuada medición del caudal saliente. Toma de 2 líneas de refracción geoelectrica. | la construcción del encausamiento. Resultados del caudal promedio saliente del punto de afloramiento. | |
| 8. Caracterización de la fuente termal – Análisis de datos | Obtener un modelo de la fuente termal con los aspectos hidrológicos, hidrogeológicos, topográficos y químicos del sitio. | Análisis y cotejamiento de datos de los estudios previos ejecutados: topografía del sitio, análisis químico de la fuente y estudios hidrológicos e hidrogeológicos. | Modelo hidrogeológico refinado del sitio de estudio. | 3 seman as |
| 9. Realización de informe conclusiones y recomendaciones | Escribir y conformar el producto previo de la investigación | Análisis y cotejamiento de datos de los estudios previos ejecutados: topografía del sitio, análisis químico de la fuente y estudios hidrológicos e hidrogeológicos. | Informe previo de la investigación. Video introductorio del punto de afloramiento termal y de su comunidad. | 2 seman as |

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIE MPO |
|--|--|---|---|--------------------|
| 10. Socialización con la comunidad | Exponer en una reunión conjunta con el Resguardo Indígena de Guachicono y la Alcaldía de la Vega Cauca las actividades realizadas y los resultados obtenidos | Por medio de diapositivas y realizando una exposición detallada, utilizando herramientas gráficas y ejemplos para lograr la mayor comprensión del proceso que se llevó a cabo para ejecutar el proyecto junto con sus conclusiones y recomendaciones. Se muestra el registro fotográfico de cada actividad realizada y un video que expone el potencial turístico. | Aprobación por parte del resguardo y la Alcaldía para la continuidad de la ejecución del proyecto a realizarse por medio del proceso de licitación correspondiente. | 1 Sema nas |
| 11. Reunión nacional de Geotermia (Bogotá 2018) | Exposición del procedimiento mediante el cual se empezó a desarrollar el proyecto en un ámbito social de difícil acceso y aprobación. Despliegue de las actividades realizadas y los resultados obtenidos. | Creación de un breve documento que muestre el trabajo en desarrollo para que a manera de competencia sea juzgado por el ente correspondiente para optar por un cupo como ponentes en el Congreso Nacional de Geotermia. | Socialización nacional del proyecto realizado. Fortalecer conocimientos acerca del tema específico de estudio para complementar el Informe correspondiente. | 1 Sema nas |

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIE MPO |
|--|--|---|---|--------------------|
| | Participación en diversos cursos específicos en temas de geotermia que permitan ampliar los conocimientos propios. | Exposición en un contexto nacional e internacional por la participación de diversos expertos de Colombia, Mexico, Filipinas, Chile y Nueva Zelanda. | | |
| 12. Complementación del trabajo escrito | Con la socialización realizada y la exposición en un congreso nacional, complementar y fortalecer conceptos técnicos planteados teóricamente. Contar las experiencias vividas en cada espacio, junto con sus particularidades y derivaciones. | Recopilación de la información recolectada y despliegue del registro fotográfico obtenido. Creación de un capítulo adicional en el trabajo escrito que describa la experiencia en cada espacio de socialización | Finalización de la redacción del informe de trabajo de grado. | 3 Sema nas |

| ACTIVIDAD | OBJETIVO | METODOLOGÍA | RESULTADO ESPERADO | TIE MPO |
|--|--|--|--|--------------------|
| 13. Traducción del trabajo escrito | Traducir al inglés el informe escrito final. | Por medio de los conocimientos del equipo de trabajo en el idioma inglés, realizar la traducción completa del trabajo escrito. | Cumplir con todos los objetivos y retos planteados en el desarrollo del proyecto. Lograr mayor difusión del trabajo realizado y los resultados obtenidos. | 3 Sema nas |

Tabla 3-2.
Cronograma detallado

| No | ACTIVIDAD | Duración | Mes 1 | | | | Mes 2 | | | | Mes 3 | | | | Mes 4 | | | | Mes 5 | | | |
|----|--|----------|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
| | | Semanas | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Revisión de datos geológicos existentes | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Ubicación y reconocimiento previo del terreno | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Estudio de fuentes termales recreacionales | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Visita de campo | | ■ | | | ■ | | | | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 5 | Estudio topográfico | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Análisis Químicos | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Estudio hidrológico | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 8 | Caracterización de la fuente termal- Análisis de datos | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 9 | Conclusiones y recomendaciones | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 10 | Socialización a la comunidad | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| 11 | Reunion Nacional de geotermia | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 12 | Complementación trabajo escrito | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 13 | Taducción del trabajo escrito | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |

CAPÍTULO 4

4 ESTUDIOS GEOLÓGICOS, TOPOGRÁFICOS Y GEOESTRATIGRÁFICOS DE LA ZONA

4.1 ESTUDIOS GEOLÓGICOS

4.1.1 Importancia del estudio Geológico

La plataforma del SGC proporciona información geológica general de las regiones de la superficie del país. Dentro del sitio Web se encuentran los diferentes productos publicados y oficializados que después de su análisis y selección serán explicados y desglosados en el siguiente informe enfocados claramente en la zona de interés donde se están realizando los estudios. Esto con el fin de permitir tener una idea del tipo de suelo o su influencia

4.1.1.1 Mapa Geológico de Colombia

La escala propuesta en la plataforma es 1:100 000, generados y controlados por imágenes de Satélite y radar, así como las imágenes de relieve sombreado generados con MDE de 30 m de resolución de la NASA SRTM. Las Coordenadas que manejan dentro del mapa son coordenadas MAGNA, incluyendo en estos mapas una clasificación determinada por colores y edades de la tabla cronoestratigrafica internacional.

El Mapa Geológico presentado es un documento que se muestra sobre un mapa topográfico la distribución de las rocas, los materiales superficiales no consolidados y las estructuras que lo deforman; en el mapa se utilizan colores y tramados para indicar la edad y la composición de los materiales, y se adicionan símbolos para mostrar la distribución espacial de las estructuras (ej. Pliegues y fallas), además del conocimiento del terreno en un punto preciso, el mapa permite deducir la distribución de los materiales a profundidad a partir de la información superficial.

Además de lo anterior, dicho Mapa proporciona una idea general de la situación geológica en la zona de interés y sus alrededores, lo cual permitirá generar una conexión dentro del análisis fundamental de la geología existente.

4.1.2 Especificaciones del estudio

Como puntos de referencia para la localización de la zona del proyecto y debido a que la escala del mapa es muy amplia, serán el municipio de La Vega y el Volcán Sotará cuya notación es el número veinticinco (25), como también las Fallas principales que rodean la zona, las cuales son; la Falla de Guabas y Falla de las Estrellas, La geología existente en la zona del afloramiento de la fuente termal y sus alrededores será explicada a continuación según su Cronología y la especificación geológica.

Las unidades representadas en el mapa se definieron siguiendo un esquema clasificatorio mixto cronoestratigráfico– litoestratigráfico para el cual se han utilizado 3 criterios: edad, litología y terreno geológico. En este esquema de clasificación se separaron las rocas de los depósitos no consolidados como diferentes tipos de materiales. Estos últimos se dividieron de acuerdo al tipo de depósito en: aluvión, de terraza, de abanico, paludal, morrénico, de caída de cenizas, de dunas, de costas y volcanoclástico. Por su parte, las rocas fueron representadas según la clasificación principal en: ígneas, metamórficas y sedimentarias, y se consideraron las rocas volcanoclásticas como un tipo adicional. (Servicio Geológico Colombiano, 2018)

Hay una distribución específica en el mapa geológico, donde se muestran según las zonas que componen el país planchas donde se puede apreciar los ríos y diversos afluentes principales existentes, conjuntamente con la clasificación del tipo de suelo que caracteriza cada parte del mapa geológico. (Anexo A)

En cuanto a la nomenclatura presentada, para ayudar a identificar las unidades cronoestratigráficas (UC), se les asignó un código que se forma por la notación: edad geocronológica separada por un guión de un acrónimo que indica el tipo de roca y su ambiente de formación. El tipo de roca principal se indica con una letra mayúscula (V: volcánica, H: hipoabisal, P: plutónica, VC: volcanoclástica, S: sedimentaria y M: metamórfica) seguido de una letra minúscula que representa su composición, grado de metamorfismo o ambiente de acumulación según se trate de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias respectivamente (p. ej. u: ultramáfica, bg: bajo grado de metamorfismo, ct: continental–transicional).

4.1.2.1 Edades

La Tabla 4-1 se creó con el fin de organizar de manera ascendente la edad geológica del suelo, la fuente de información corresponde a la plataforma virtual del SGC.

Tabla 4-1
Clasificación del tipo de suelos según su Cronología- Información Obtenida en el Servicio Geológico Colombiano.

| Notación | Edad | Época | Periodo | Era | Eón | Ma (millones de Años) |
|-----------------|--------------|-----------------------|----------------|------------|-------------|--------------------------------------|
| Q | N/A | N/A | Cuaternario | Cenozoico | Fanerozoico | (0-2,59) |
| N2 | N/A | Plioceno | Neógeno | Cenozoico | Fanerozoico | (15,97- 20,44) |
| n6 | Mesiniano | Mioceno | Neógeno | Cenozoico | Fanerozoico | (5,33-7,25) |
| n2 | Burdigaliano | Mioceno | Neógeno | Cenozoico | Fanerozoico | (15,97- 20,44) |
| K1 | N/A | Inferior/ Temprano | Cretácico | Mesozoico | Fanerozoico | (100,5-145) |
| T | N/A | N/A | Triásico | Mesozoico | Fanerozoico | (201,3- 252,2) |

Nota: Fuente propia.

4.1.2.2 Especificación geológica

Tabla 4-2
Especificación del tipo de suelo existente - Información Obtenida en el Servicio Geológico Colombiano.

| Nomenclatura | Leyenda |
|---------------------|--|
| K1-Mbg6 | Esquistos anfibólicos, cuarzosericiticos, cloríticos y talcosos y cuarcitas |
| T-Pf | Ortogneises graníticas |
| Q-p | Depósitos de Ceniza y Lapilli de composición andesítica |
| K1-VCm5 | Basaltos y Andesitas intercaladas con arenitas lodosas líticas, lodolitas carbonosas, arenitas feldespáticas, calizas y limolitas silíceas |
| N2-p | Tobas de cenizas y Lapilli intercalados con lavas de composición andesítica |
| Q-Vi | Andesitas porfíricas |
| n4, n6-H1 | Porfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos |

Nota: Fuente propia

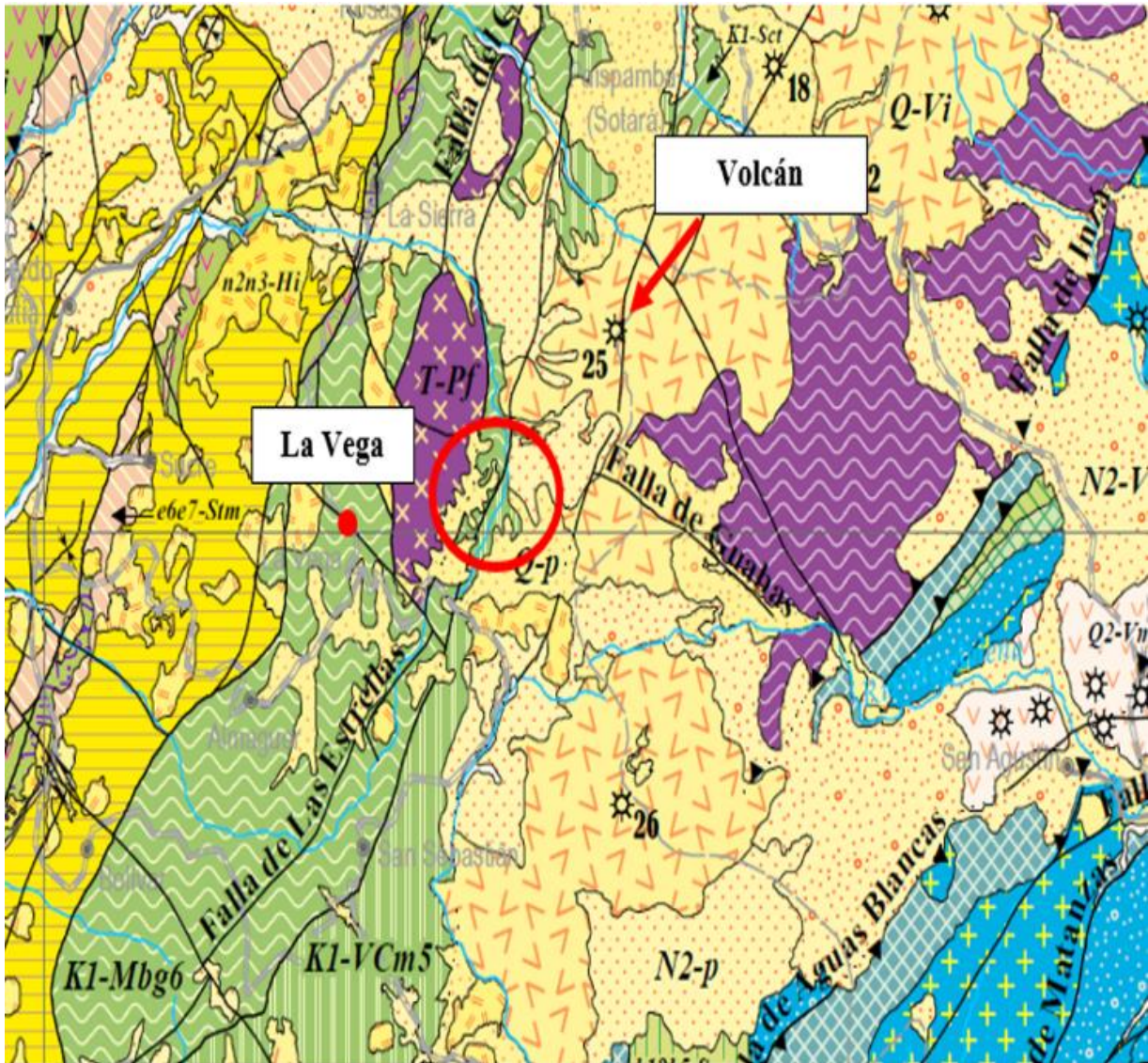


Figura 4-1. Geología de la zona de interés y sus alrededores.
Tomada de la fuente de datos del Servicio Geológico Colombiano.

4.1.3 Resultados del estudio

4.1.3.1 Mapas geológicos explicativos: plancha 387-Bolivar

La plancha que caracteriza la zona de análisis es la 387 del Servicio Geológico Colombiano, la Ubicación de la zona es la parte superior izquierda y aunque en esa plancha no se

encuentra el Volcán Sotará, están otras zonas de referencia como lo son el Río Guachicono, el cual es el Rio que contiene el afloramiento de la fuente termal en cuestión.

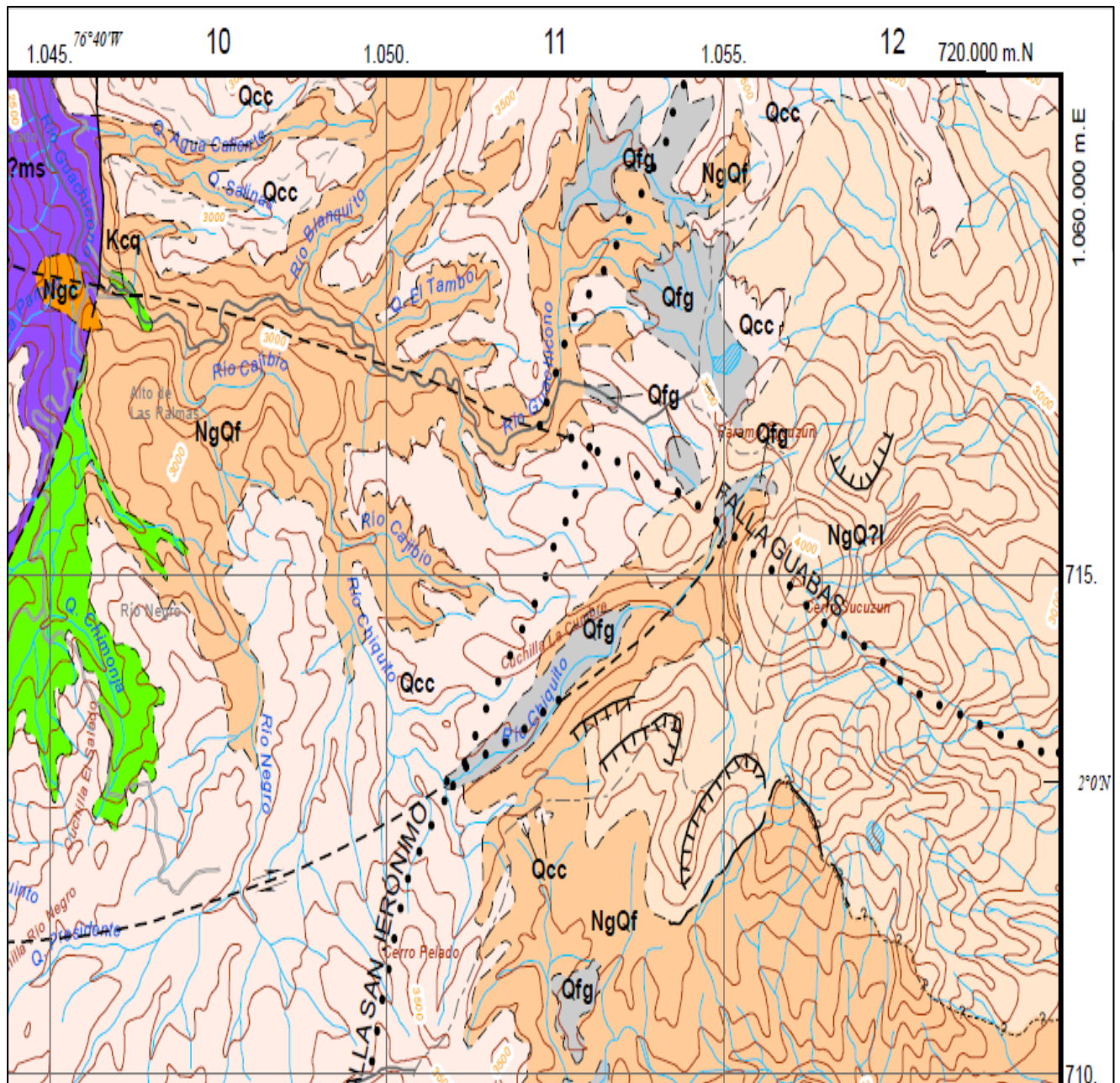


Figura 4-2. Mapa Geológico con fuentes hidrológicas: Plancha 387-Bolivar.
Tomada del Servicio Geologico Colombiano, 2015.

1045

10

1050

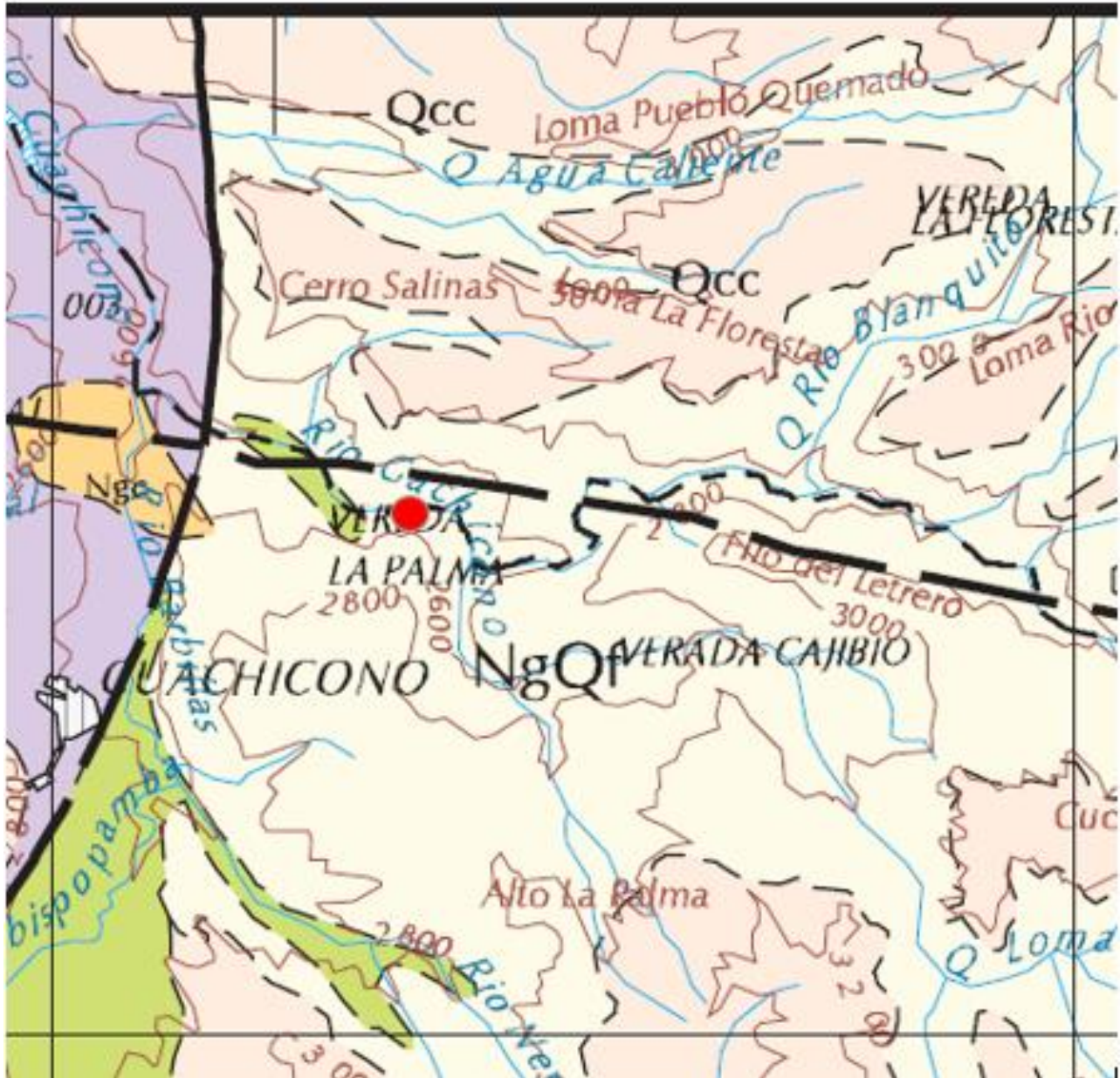


Figura 4-3. Especificación de la localización de estudio.
Tomada del Servicio Geológico Colombiano, 2015.

Existen conjuntos rocosos, en general, que se encuentran meteorizados y rocas no alteradas que solo afloran en los cauces de ríos y quebradas y en algunos cortes de carreteras y caminos. La intensidad de la meteorización depende de factores como: Estructuras, composición, topografía, clima, vegetación y humedad. El resultado inicial de la meteorización es una capa de saprolito, con características que ayudan a reconocer la roca original. Los depósitos de Lapilli y cenizas de caída de colores amarillo y gris-blanco, ocupan zonas de pendientes suaves y planas y a veces alcanzan espesores hasta de 18m. Estas capas son paralelas a la topografía actual y los mayores espesores se encuentran en zonas planas.

Estratigrafía plancha 387-Bolivar

Como se puede observar en el acercamiento al mapa (*Figura 4-2*), El tipo de Estratigrafía que predomina es Qcc, NgQf, Qfg y Kcq, Explicado Visualmente en la *Figura 4-4*.

- Depósitos piroclásticos de caída (Qcc): Éstos depósitos están conformados por material volcánico de caída en varias capas con piroclastos de tamaños lipilli y ceniza. En algunos sitios el espesor llega hasta 18 m, y la composición es principalmente pumpitica con bajo porcentaje de detritos de feldespatos. Material de caída se encuentra esparcido por toda el área, pero en el mapa geológico sólo se indica en aquellas zonas donde el espesor es más o menos potente. Buenos afloramientos de la unidad aparecen en zonas como la cabecera del río Guachicono, entre otros. En cuanto al Origen y edad, el depósito mencionado anteriormente es de origen fluvial o glaciar y se asigna al Cuaternario. Algunos depósitos de epiclastitas, con base en sus rasgos geomorfológicos y erosionales, se les han asignado una edad Terciario – Cuaternario.
- Depósitos de flujos piroclásticos, de lodo y epiclastitas (Ngtl, NgQf, NgQp) : Los depósitos de flujos (NgQf), están conformados principalmente por flujos de cenizas y bloques con intercalaciones de flujos de ceniza, tobas soldadas y flujos de lodo. Las rocas en afloramiento son de color gris y meteorizan a un color amarillo pardo. Los flujos de ceniza y bloques se componen de una matriz tobácea lítico-cristalina y los bloques son andesíticos, angulosos, de diámetro promedio hasta 60 o 70 cm. Las tobas soldadas, de color gris claro, con abundante vidrio en la matriz con pómez, aplanada con textura fuidal, se componen de líticos, cristales de plagioclasa, micas y vidrio. Las capas de flujos de lodo presentan una distribución de cantos de tamaño hasta 1 o 1.5 m de diámetro, en forma caótica, heterogéneos en composición y una matriz limosa o lodosa. Acerca del Origen y edad de

éste tipo de estratigrafía se considera que Las Vulcanitas del Galeón y depósitos volcanoclasticos relacionados tienen origen mixto: Se encuentran depósitos volcánicos continentales y flujos de lodo o de escombros cuyo origen podría conectarse con erupciones volcánicas. Los criterios para asignarle una edad a esta unidad son muy pobres, en general Orrego y Acevedo (1984) asignaron una edad del Terciario – Cuaternario, desde el plioceno hasta el Holoceno.

- Complejo Quebradagrande (Kcq). La unidad se compone de una secuencia Volcano – sedimentaria de metabasaltos, metatobas básicas, diques de metadibasa y un conjunto de sedimentitas conformada por grauvacas, areniscas, limolitas, acrilolitas y chert. Las rocas volcánicas básicas predominan en zonas que incluyen al caserío Guachicono. La roca predominante en afloramiento es de color verde, gris verdoso y verde oscuro, y está constituida por plagioclasa y máficos con algunas amígdalas y corresponden a metabasaltos, metadibasas y metatobas. Los minerales de alteración y metamórficos son: Clorita, cuarzo, sercita, albita, prehnita, pumpellyita, sercita, ceolitas, cuarzo, óxidos de hierro, calcita, epiota y minerales arcillosos. Las rocas sedimentarias presentan colores grises verdoso, gris verdoso oscuro, textura clástica y los planos de estratificación son planos paralelos. En relación al Origen y edad, el complejo Quebradagrande los estudios químicos disponibles son generales y no permiten determinar un ambiente geotécnico único. La naturaleza litológica de la secuencia, la composición de las rocas sedimentarias de cuarzo, feldespato, material carbonaceo, sercita y clorita y la presencia de niveles de conglomerado rojizo intercalado con grauvacas, limolitas, niveles basálticos y calizas lo cual indicaría una fuente continental. Las evidencias anteriores sugieren que el complejo se formó posiblemente en una cuenca de retroarco. La edad del complejo se considera Cretáceo siguiendo a González (1976,1980).

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

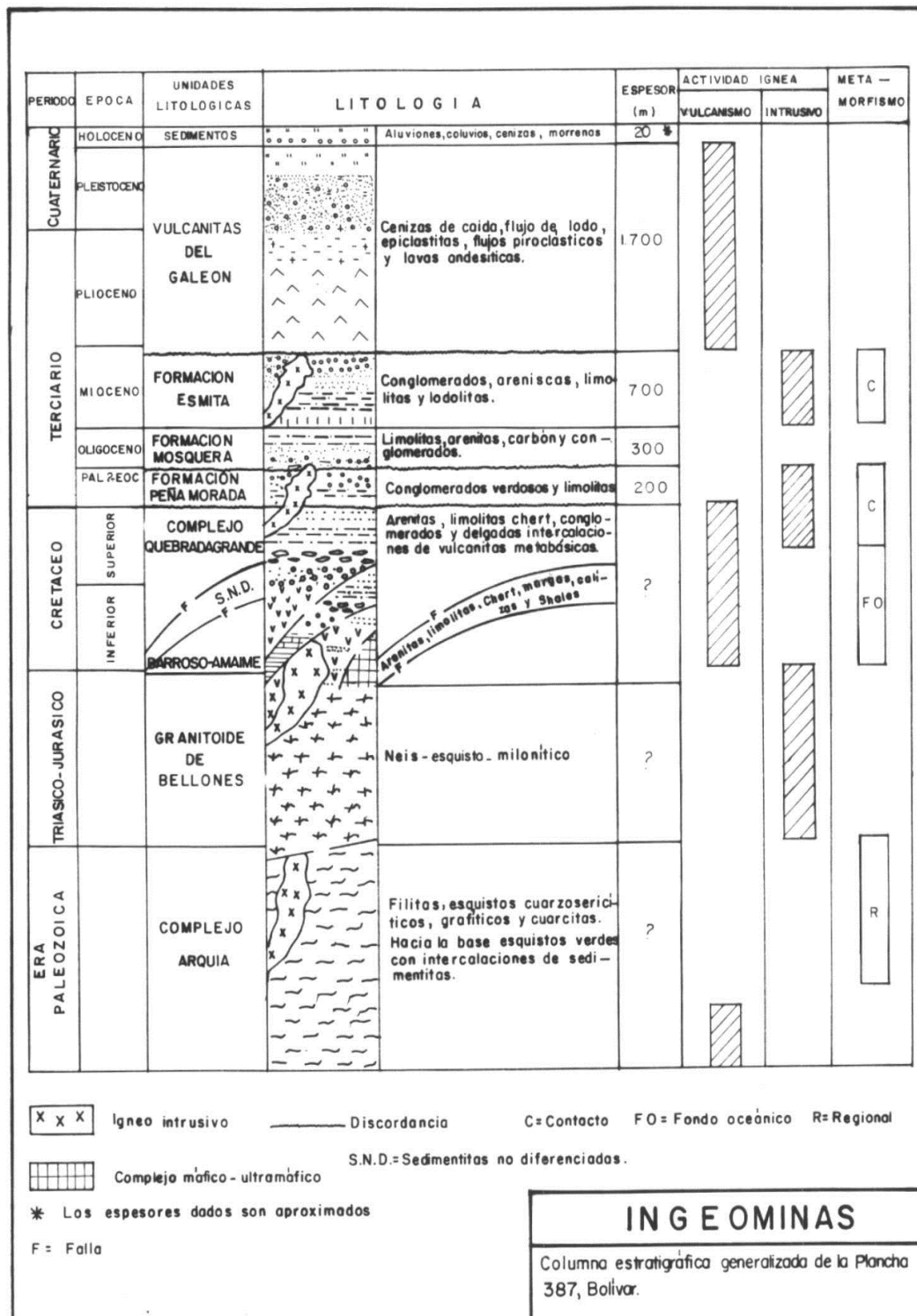


Figura 4-4. Columna estratigráfica de la plancha 387- Bolívar.
 Tomada de S.G.C, 2015

Geología Estructural plancha 387-Bolivar

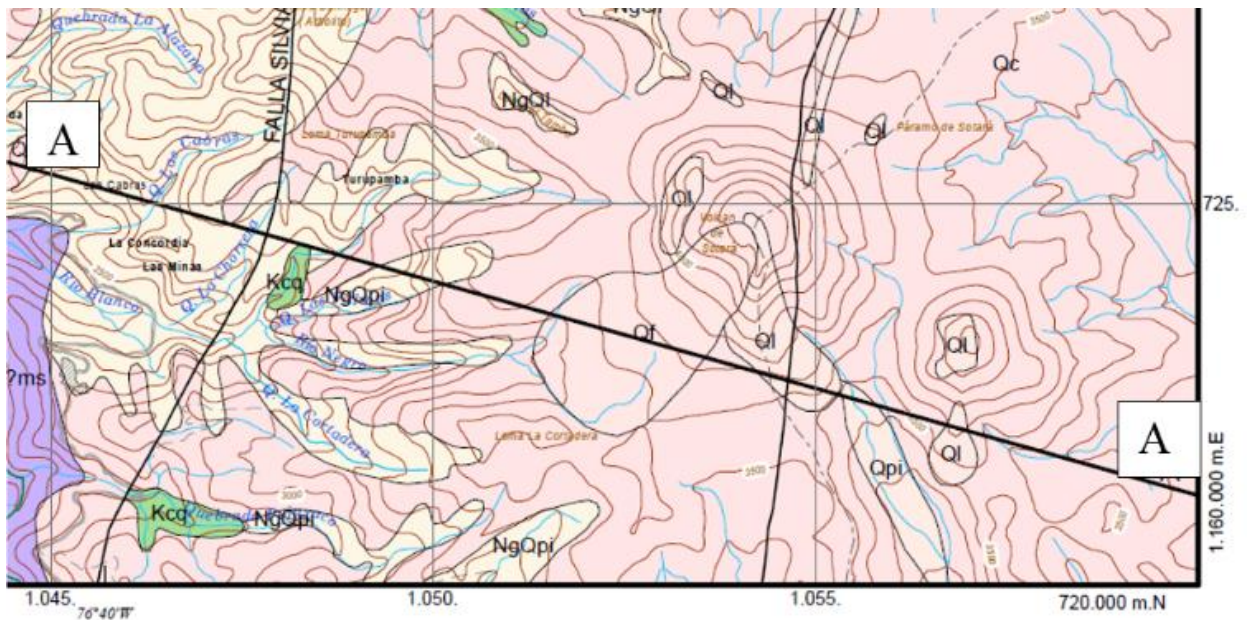
Fallas

- Falla de San Jerónimo: Ésta falla define regionalmente el límite entre los complejos Quebradagrande y Cajamarca. En la zona, afecta algunos depósitos del Cenozoico que cubren las rocas de los complejos nombrados antes, y al sur sirve de límite entre el complejo Quebradagrande, al occidente, y la secuencia sedimentaria no diferenciada del Cretáceo, al oriente. La falla se considera como inversa con inclinación al este con movimientos de rumbo dextral, afectando rocas del Cenozoico tardío en el Valle de Las Papas. Este valle por su forma alargada podría ser de origen tectónico atribuible a movimientos laterales deslizantes a lo largo de la falla de San Jerónimo. (Orrego & Acevedo, 1984)
- Falla El Crucero y Las Estrellas: Estas estructuras sirven de límite tectónico a la unidad denominada Granitoide de Bellones, cuerpo de forma alargada emplazado tectónicamente dentro de las rocas del Complejo Arquía. Las fallas muestran características de estructuras con movimientos laterales deslizantes. La de las Estrellas es el límite oriental del granitoide y la del Crucero es su límite occidental. (Orrego & Acevedo, 1984)
- Falla de Guabas: De acuerdo con (León, Padilla, & Marulanda, 1973), ésta falla es de alto ángulo, y el bloque sur subió con respecto al bloque norte. En el área controla los recursos Río Putis y en parte del Guachicono y afecta rocas de las Unidades Arquía, Granito de Bellones y algunos depósitos de Cenozoico tardío.

Amenazas Geológicas plancha 387-Bolivar

- Amenaza Sísmica: Las zonas sismogénicas activas que podrían influir dentro del área de trabajo serían la zona de subducción de la Placa Nazca y algunas fallas activas del Sistema Romeral y del Sistema de Fallas del Río Magdalena. Por acción de sismos o terremotos estarían amenazados los pueblos o caseríos que incluyen el caserío de Guachicono.
- Amenazas volcánicas: Las posibles amenazas que afectan a la zona es de los productos piroclásticos de caída que podrían provenir del Sotará.

4.1.3.2 Mapas geológicos explicativos: plancha 364-Timbío



**Figura 4-5. Mapa geológico con fuentes hidrológicas: Plancha 364 – Timbio.
Tomada del Servicio Geológico Colombiano, 2015.**

En ésta plancha, la diferencia máxima de nivel es de 3700m, desde 600 m cerca al Río Patía hasta 4300 m en la cima del volcán Sotará. La mayor parte de la región es drenada por afluentes del Río Patía, entre ellos se encuentra el río Guachicono que nace en la Cordillera Central. La mayor parte de las rocas se encuentran meteorizadas y solo es posible encontrar rocas frescas en los cauces de los ríos y quebradas y en algunos cortes de las carreteras. La meteorización está controlada por los siguientes factores: a) Estructuras de las rocas, b) composición, c) topografía, d) Clima y e) Vegetación. En el primer factor se incluyen los planos de diaclasas, estratificación, foliación y fallas. En las rocas estratificadas la descomposición opera a lo largo de los planos estratificación y foliación observándose que algunas rocas con mayor homogeneidad en su composición meteorizan con mayor facilidad que otras cuyos minerales son más resistentes a las acciones químicas y físicas de los procesos de descomposición, como por ejemplo cuarcitas.

Adicionalmente en la plancha se presenta la cordillera central, el núcleo de esta provincia está conformado por un complejo migmatítico del precámbrico que aparece hacia el sur del departamento de Nariño, en contacto tectónico, con rocas metamórficas correlacionales con el

complejo Cajamarca del Paleozoico. Al oriente de esta cordillera se encuentra la secuencia Volcánica – Sedimentaria e intrusivos de edad Triásico – Jurásico.

Estratigrafía plancha 364-Timbío

- Conjunto de Lavas (Ngl, NgQl, Ql): Son lavas andesíticas que afloran hacia la Cordillera Central al occidente del cerro los Sombreros, posiblemente un antiguo volcán y cerca a los volcanes Cerro Negro y Sotará. En las lavas andesíticas del Volcán Sotará predominan fenocristales de anfíbol; el anfíbol presenta características de oxihornoblenda, posiblemente kaersutita tanto en fenocristales como asociada a la matriz, piroxenos, tanto clino como ortopiroxeno, se encuentran como fenocristales y asociados a la matriz.
- Depósitos Lahares (NgQf, Qf): Estos depósitos aparecen hacia el este de la plancha, cerca al volcán Sotará y a los ríos Cauca y Molino, aunque estos últimos podrían corresponder a un flujo piroclástico removido, debido a la presencia de pumita y de madera carbonizada del Río Cauca mientras que el del Molino presenta una matriz con pocos cantos de pumita. Los depósitos presentan una matriz tobácea friable que envuelve cantos de rocas volcánicas.
- Conjunto de Ignimbritas o Flujos Piroclásticos y Lahares (NgQpi, Qpi): Este conjunto aparece en las cuencas de ríos como Guachicono. Es posible que los flujos del Río Guachicono y del sureste de Rosas, hayan trasmontado las áreas de la Depresión y Rosas y sean las mismas rocas que se encuentran intercaladas con sedimentitas fluviales en los Cerros Galeón, Broncazo y alrededores. Los flujos del Guachicono es probablemente que provengan del sur de Sotará, de un complejo volcánico llamado Sucubum y los del Quilcacé y sureste de Rosas del complejo volcánico del Sotará. En cuanto a la Edad y correlación de la estratigrafía mencionada anteriormente, no existen dataciones radiométricas ni buenos criterios para asignar una edad a las rocas que constituyen esta unidad litológica, y las edades generales que se han asignado lo han sido con base a rasgos geomorfológicos. Es posible que algunas lavas, flujos piroclásticos y Lahares sean más antiguos que las epiclastitas, puesto que, muchos cantos de estas últimas rocas son de la misma naturaleza de los conjuntos volcánicos descritos. Sin embargo, algunas rocas volcánicas podrían ser del Mioceno Inferior a Mioceno Medio. (Gonzales)

- Complejo Quebradagrande (kcq): Rocas de este complejo aforan hacia la cima de la cordillera Central al occidente de la línea de los volcanes Sotará. Azafatado y Cerro La Peña y tienen como límite oriental la Falla de San Jerónimo y occidental la Falla Silvia – Pijao; está constituido por sedimentitas y flujos basálticos. Las sedimentitas son de colores verdosos y oscuros y corresponden a limolitas, arcillolitas, grauvacas conglomeraticas y conglomerados grauváquicos. La Secuencia presenta estratificación rítmica y gradada con fragmentos de rocas verdes, piroxenos, plagioclasa y cuarzo, la matriz en las rocas de grano grueso es tamaño arcilla o limo. Cerca de fallas son comunes venas de cuarzo. Los basaltos se encuentran como capas de flujos interestratificados con capas sedimentarias, y son de textura afanítica. Algunas capas presentan textura clástica y corresponden a tobas básicas. Los basaltos presentan piroxenos y plagioclasa alterados a epidota, clorita y sericita. Con respecto a la edad y correlaciones, la edad del complejo se asigna al Cretáceo (Gonzales), y corresponde a la secuencia de sedimentitas y flujos basálticos que aparece a lo largo y en la cima de la Cordillera Central, desde Antioquia hasta Nariño.

En la *Figura 4-6* se muestra el corte A-A' con la estratigrafía que detalla la zona de interés descrita en la *Figura 4-5*.

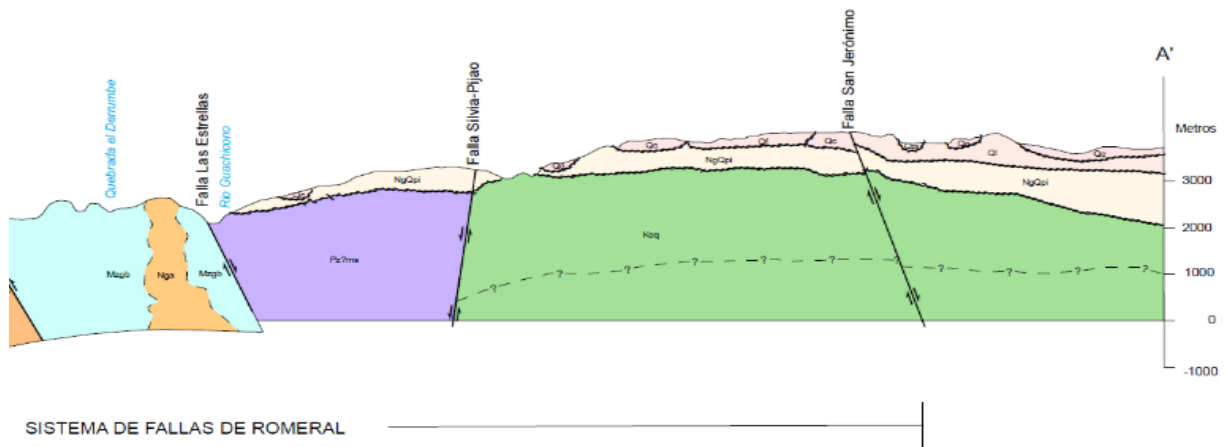


Figura 4-6. Corte A-A' plancha 364.
Tomada del Servicio Geologico Colombiano, 2015.

Geología Estructural plancha 364-Timbío

Fallas

- **Falla de San Jerónimo:** Atraviesa el Volcán Sotará y continua al norte, pasando cerca al pueblo de Totoró. Unos 12 Km al noreste del Volcán Sotará, en el Río Rionegro, pone en contacto el complejo Quebradagrande, del lado occidental, con una secuencia de sedimentitas de color rojizo posiblemente jurásicas, del lado oriental. Hacia el norte, afecta rocas volcánicas recientes y en Jambaló sirve de límite oriental a la secuencia de esquistos azules.
- **Falla El Crucero y Las Estrellas:** El nombre del Crucero proviene de un caserío localizado a unos 7.5 Km al sur de Popayán y el de Las estrellas viene de un cerro localizado en la carretera Popayán Paispamba, unos 15 Km al sur de Popayán. Estas fallas sirven de límite al granitoide de Bellones, cuerpo de forma alargada emplazado en conjuntos metamórficos. La falla El Crucero es el límite occidental y la de Las Estrellas el límite oriental; al este de Popayán únicamente afectan rocas con metamorfismo regional y se truncan o son interceptadas por un ramal de la Falla Silvia – Pijao. Estas fallas continúan al noreste del área, al occidente de Silvia, Cauca.

4.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

4.2.1 Importancia del estudio Topográfico

La topografía es la ciencia, arte y tecnología cuyo fin es la descripción y representación detallada de cualquier sector de la superficie terrestre (sobre o bajo ella), mediante la medición de distancias horizontales y verticales, ángulos entre rectas terrestres y/o coordenadas tridimensionales, la representación gráfica o numérica de esta información y la localización de puntos por medio de distancias y ángulos previamente determinados o coordenadas preestablecidas (Orozco Dueñas, 2014).

Con el levantamiento topográfico se determinan las coordenadas y los niveles para los diferentes puntos que definen la configuración del proyecto, tales como cuerpos de agua, accidentes topográficos, puntos de referenciación, etc, de tal manera que a través del software TOPO3 se realiza la interpretación y elaboración de planos topográficos usados por otras especialidades en el desarrollo del proyecto.

El objetivo primordial de la aplicación de éste estudio es realizar la topografía general de todo el sector donde se ejecutará el proyecto, la cual se obtiene mediante levantamiento altoplanimétrico con estación total, utilizando como vértices principales el punto de amarre localizado con GPS y creando vértices adicionales que son necesarios para poder obtener todos los detalles del terreno; de igual manera se emplea la topografía complementaria tomada con Drone donde se extraen puntos de topografía para generar un mejor detalle en el levantamiento topográfico.

Realizando una descripción general del conjunto de operaciones que tienen por objetivo determinar la posición relativa de ciertos puntos sobre la superficie terrestre, para posteriormente representarlos en un plano, se tiene:

Trabajo de campo: consiste en la medición de ángulos, distancias y/o coordenadas por medio de observación, medición y capturando con especial cuidado en el campo las mediciones, ángulos y/o coordenadas de los detalles requeridos para el plano, mapa o investigación a realizar con el respectivo levantamiento

En esta etapa, se requiere del equipo técnico especializado que garantice los conocimientos necesarios para la eficiente ejecución del estudio. El trabajo fue ejecutado por un Topógrafo profesional debidamente registrado ante el Consejo Profesional Nacional de Topografía, quien

cuenta con los equipos debidamente calibrados para garantizar el óptimo trabajo de campo. Adicionalmente se consideraron parámetros que se describen a continuación,

Trabajo de Oficina: Hace referencia al conjunto de procesos de cálculo de distancias, ángulos, coordenadas, radios, elevaciones, áreas y volúmenes, así como también la respectiva elaboración de planos y memorias o informe que plasma el estudio realizado.

Aplicación: Esta es finalmente la parte más importante del levantamiento topográfico, es por eso que se debe averiguar la finalidad del estudio con el fin de planear tanto el trabajo de campo como el de oficina con anticipación y así entregar el mejor resultado posible según los requerimientos o especificaciones acordadas.

4.2.1.1 Alcances del estudio topográfico

- Ubicar puntos de control para el desarrollo de actividades topográficas, utilizando GPS de alta precisión.
- Traslado y transformación de coordenadas utilizando la aplicación MAGNA 3 PRO.
- Realizar levantamiento del terreno con equipo de alta precisión y crear digitalmente la superficie del terreno con la radiación que se realiza en campo.
- Modelar con ortofotogrametría la topografía para mejor verificación de lo existente en campo.
- Amarrar la topografía con estación total a la nube de puntos generada por la toma de topografía con Drone a partir de puntos de control en el terreno, generando una topografía complementaria para materializar taludes con mejor precisión.

4.2.2 Especificaciones del estudio Topográfico

4.2.2.1 Localización general del proyecto

El área de estudio se encuentra localizada en la Vereda Alto de Las Palmas, Resguardo Indígena de Guachicono con coordenadas Magna – Sirgas, origen Oeste aproximadas del corregimiento N=717.561 y E=1.046.663, Municipio de La Vega, Departamento del Cauca.



Figura 4-7. Localización general del proyecto.

Tomada de Google Earth

Altura

El resguardo de Guachicono en su mayoría se encuentra a una altura de 2.760 msnm y existen sitios con alturas que oscilan desde los 3.500 msnm como es el caso del Páramo de Barbillas, Cerro de Sucubún, Cerro pelao, hasta los 1.700 msnm como es el caso del cañon del Río Guachicono.

Extensión

El resguardo de Guachicono tiene una extensión aproximada de 13.200 hectáreas. actualmente cuenta con 6.137 habitantes repartidos en 1.050 familias ubicadas en 14 veredas: Bellones, Monte Redondo, Nueva Providencia, Barbillas, Rionegro, Cajibío, Alto de las palmas, Guachicono Centro, Juanchito, La Unión, La esperanza, El Arado, Alto de la Playa y Buenavista, cada una de estas representada por una Junta de acción comunal.

Límites del resguardo

Norte: Resguardo de Río Blanco – Municipio de Sotará y corregimiento de Arbela y San Miguel – Municipio de La Vega. Sur: Municipio de San Sebastián. Oriente: Municipio de San Sebastián y Departamento del Huila. Occidente: Resguardo de Pancitará y corregimiento de San Miguel y Arbela – Municipio de La Vega.

4.2.2.2 Personal y equipos utilizados⁴

El equipo de trabajo, se conforma por:

- 1 Ingeniero Civil con experiencia en topografía
- Grupo Investigador

El material, los equipos de trabajo y la logística que se utiliza dentro del estudio topográfico se presenta en la tabla Tabla 4-3.

Tabla 4-3
Equipo de trabajo topográfico

| UNIDAD | DESCRIPCION |
|---------------|--|
| 1 | Automóvil para transporte de la comisión de topografía |
| 1 | Estación Total Laica Ref. 1100, con sus accesorios |
| 1 | GPS ESTACIONARIO HIPPER II DOBE FRECUENCIA |
| 1 | Dron phantom 4 |
| 1 | Equipo de oficina (portátil, cámara y papelería) |
| 1 | Kit de Herramienta menor |

Nota: Fuente Propia

4.2.2.3 Toma de topografía

Los Equipos Topográficos para ejecutar el objetivo propuesto son MARCA LEICA – Equipos que son reconocidos en el mercado por su precisión y versatilidad en el momento de realizar trabajos topográficos. La información que se recopila en campo se trasladarán directamente desde la PCMCIA de datos de la estación total al computador, evitando errores de transcripción y agilizando este proceso.

En la realización del levantamiento topografico de todos los elementos propios del terreno de la zona de analisis, se tuvo en cuenta los siguientes parametros:

⁴ La comisión topográfica, con el personal y equipos aquí descritos, estuvo en cabeza del Ingeniero Civil Andrés Fernando Benavides Ruiz, con apoyo en campo y oficina del grupo investigador.

- a. Todos los deltas, mojones, puntos auxiliares de la poligonal se materializaron con estacas en terreno y con puntillas en zonas duras garantizando la fácil identificación en el terreno. Las referencias de los deltas se marcaron en sitios aledaños y estables, como postes, cercas, muros, etc.
- b. la toma de datos se realizó con un equipo de medición electrónico de ultima generación (estación tota) marca Leika.
- c. En el levantamiento no se realizaron cambios bruscos en las distancias de las poligonales, para evitar errores geométricos en el cierre de la misma.
- d. Las carteras de campo se diligenciaron con todos los datos relevantes al trabajo topográfico que se está desempeñando, haciendo uso de la codificación establecida por la comisión topográfica para este tipo de trabajos.
- e. Se ubican los puntos de control en piso antes de realizar el vuelo con el dron y se marcan con pintura para ayuda en el post proceso de la información y el amarre de la topografía con estación y la toma con dron.
- f. Se realiza el vuelo con dron a una altura de 60 metros para obtener un GSD de 2.3 cm/pixel. En cuanto al trabajo de oficina que se desempeñó posterior al trabajo de campo, se siguió el proceso descrito a continuación:
 - a. Descarga de la información en crudo a los computadores de la estación total.
 - b. Post proceso de la información (depuración de datos crudos y cálculo de coordenadas).
 - c. Post procesos de la información de los datos con el dron en el programa Pix 4D y la georectificación del modelo arrojado con el dron y la topografía con estación.
 - d. Rectificación y extracción de la topografía arrojada con el dron.
 - e. Elaboración de planos en planta y perfil a partir de las coordenadas obtenidas en campo.
 - f. Elaboración de informe técnico.

4.2.2.4 Grado de precisión

Los levantamientos topográficos se efectuaron a través de métodos convencionales (Estación Total) cuya precisión real mínima fue de cinco segundos (5").

De igual manera se complementa la topografía tradicional con la nube de puntos obtenida con el Drone donde podemos tener una precisión milimétrica con respecto a la nueve de puntos obtenida

con la estación, con esta nube se complementa una franja mucha más grande que ayuda a revisar mejor el modelo de topografía.

4.2.3 Resultados del estudio Topográfico

Para generar las coordenadas expuestas en la Tabla 4-4, se crearon puntos de amarre y control topográfico, las cuales se materializaron con incrustación de placas de bronce con su respectiva inscripción permitiendo la identificación del punto en campo. Los cálculos necesarios se realizaron siguiendo la metodología de doble determinación y el “Manual de procedimiento de da información GPS” de procesamiento GPS doble frecuencia, teniendo en cuenta la “Metodología de cálculo de alturas GPS” del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Las coordenadas elipsoidales descritas a continuación son planas *Gauss – Kruger*, Datum Magna – Sirgas, origen Oeste.

Tabla 4-4
Georreferenciación exacta del lugar de estudio.

| PLANAS CARTESIANAS ORIGEN ECO POPAYÁN | | | |
|--|--------------|-------------|---------------|
| Name | NORTE | ESTE | ALTURA |
| GPS-01 | 717560.118 | 1046673.071 | 2523.837 |
| GPS-02 | 717561.96 | 1046692.99 | 2525.59 |

Nota: Fuente Propia

Adicionalmente, se presenta como Anexo B los planos topográficos de la zona en estudio.

4.3 ESTUDIOS GEOESTRATIGRÁFICOS

4.3.1 Importancia del estudio Geoestratigráfico

Para realizar un estudio especializado a nivel geotécnico que brinde una idea general de las características del subsuelo, sin recurrir a métodos invasivos como una perforación, se opta por realizar un ensayo geoelectrico. Este método permite estudiar la composición y ubicación de los sedimentos, rocas y agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad.

4.3.1.1 Resistividad Eléctrica en los suelos

La resistividad eléctrica por su parte es una propiedad que consiste en la capacidad de conducir electricidad, es también conocida como la resistencia especifica del terreno. Ésta por su parte, se puede describir con la *Figura 4-8*.

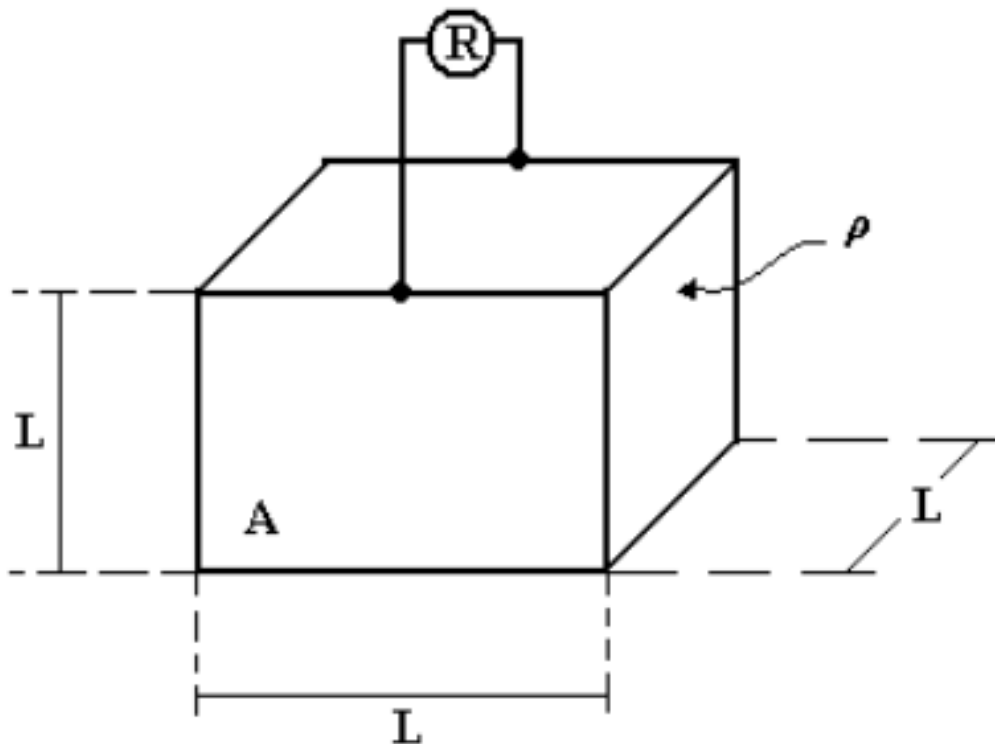


Figura 4-8. Arreglo básico para le medición de la resistividad
Tomada de Galván Diego,2018

A partir de la *Figura 4-8* se genera la siguiente ecuación que describe la resistividad:

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

Donde,

R= Resistencia [Ω]

ρ = Resistividad [Ω -m]

L= Longitud [m]

A = Area de la sección [m^2]

Suponiendo un cubo de 1m de lado, se tiene:

$$R[\Omega] = \rho \times \frac{L[m]}{A[m^2]} = \rho \times \frac{1[m]}{(1 \times 1)[m^2]} = \frac{\rho}{1m}$$

Despejando,

$$\rho = R[\Omega m]$$

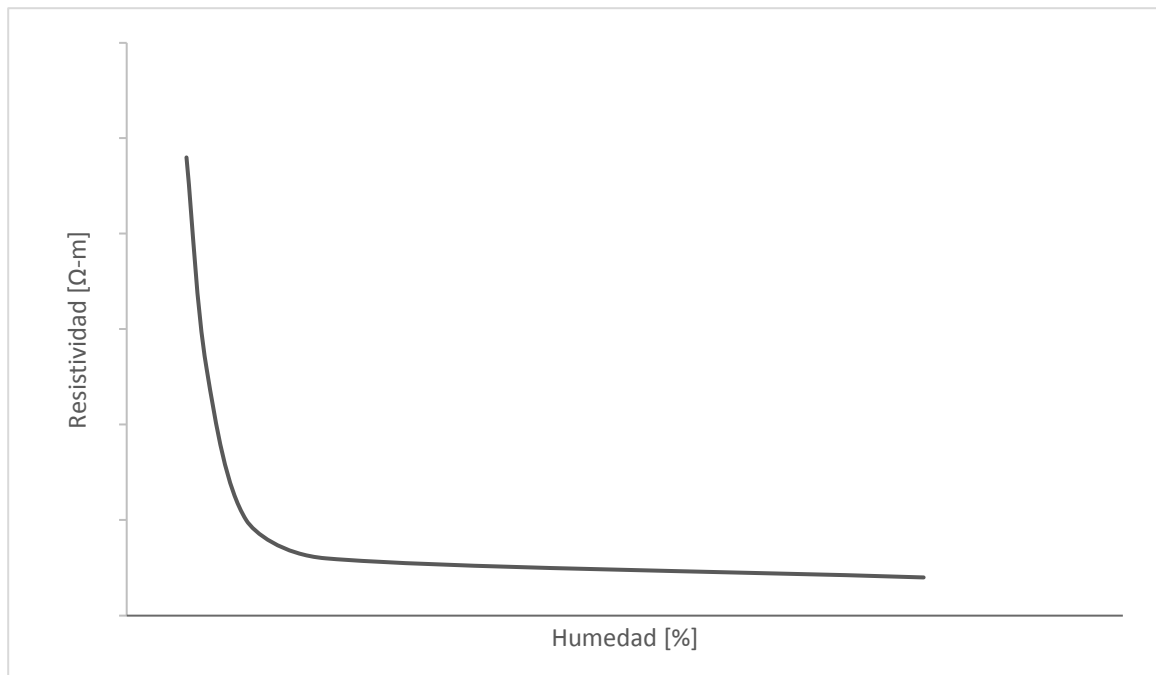
La ecuación anterior describe la resistividad en los suelos la cual corresponde a la resistencia que presenta un metro cubico de suelo o aguas entre sus paredes laterales (aristas). (Ruelas Gómez , 2012). Dicha resistividad se puede expresar en Ω -m, Ω -cm ó Ω -mm; en este estudio se utilizará la unidad Ω -m.

Factores que miden la resistividad en los suelos

Existen diversos factores que influyen directamente en la propiedad en cuestión en los suelos, estos factores son:

- a) Naturaleza de los suelos: Los suelos son buenos, regulares o malos conductores de la electricidad en función de su naturaleza. El análisis y conocimiento de esta naturaleza es el primer paso para la instalación adecuada del sistema de puesta a tierra.

- b) **Humedad:** La resistividad depende del estado hidrométrico, es decir que al aumentar la humedad disminuye la resistividad y viceversa. Este comportamiento se describe en la *Figura 4-9*. Este valor varía con el clima, época del año, profundidad y nivel freático. Por ejemplo, el valor de resistividad de un suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de saturación de la humedad se reduce a menos del 15% del peso de este; Pero un contenido de humedad mayor del 15 % mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante.



**Figura 4-9. Relación Resistividad Vs Humedad
Tomada de Galván Diego**

- c) **Temperatura del terreno:** Ésta característica térmica del terreno depende principalmente de la composición, del grado de compactación y del grado de humedad presente. Sin embargo, en casos donde se busca la existencia de reservorios, se debe tener en cuenta que a medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra
- d) **Concentración de sales:** Al presentarse una mayor concentración de sales disueltas en el terreno, mejora notablemente la conductividad y por ende su resistividad. (Ruelas Gómez , 2012).

- e) Compactación del terreno: En cuanto a esta característica, se podría describir el comportamiento de la resistividad teniendo en cuenta la compactación del terreno de manera cualitativa. La resistividad del terreno disminuye al incrementar la compactación del mismo (Figura 4-11), por lo tanto, se procura siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactados posibles.

La Compactación del terreno:

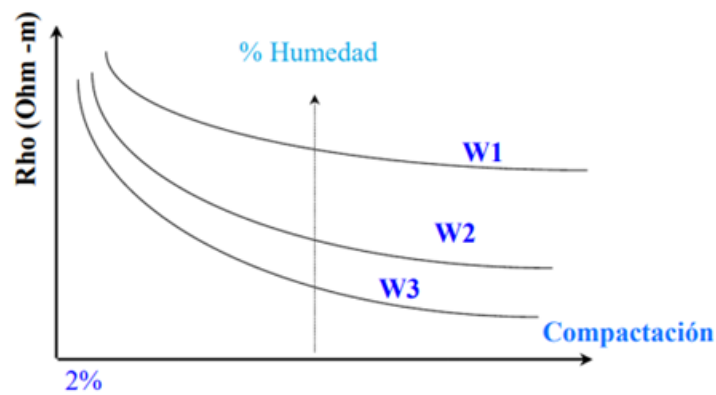


Figura 4-11. Relación Resistividad vs Compactación
Tomada de Organismo supervisor de la inversión Energía y Minería , 2014.

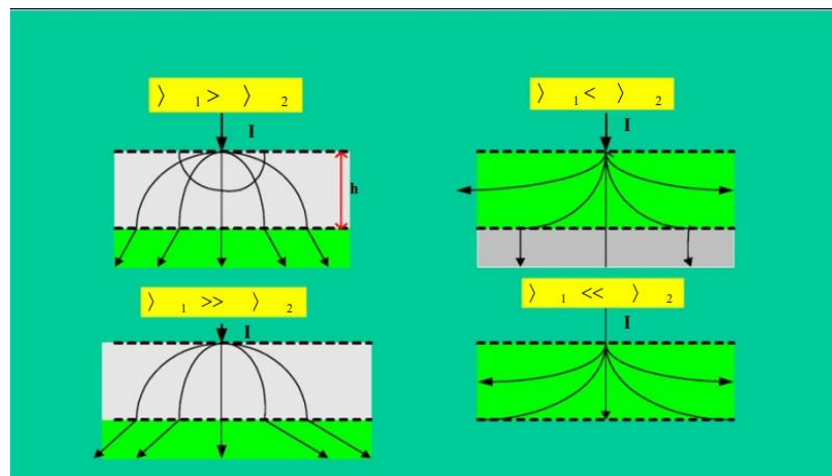


Figura 4-10. Influencia de la estratificación en la resistividad de los suelos
Tomada de Organismo supervisor de la inversión Energía y Minería , 2014

f) **Estratificación:** El suelo está formado por capas o estratos que tienen diferentes resistividades y profundidades o espesores y debido a la formación geológica son generalmente horizontales y paralelos a la superficie. Eventualmente existen estratos que se presentan en forma inclinada o verticales debido a las fallas geológicas, pero para los estudios o ensayos se asumen horizontales. La resistividad actúa teniendo en cuenta el tipo de estratificación que se presenta en el subsuelo. En la *Figura 4-10* se puede observar el flujo de dispersión de la corriente en un terreno de dos estratos en la que se indican espesores que tiene cada estrato y su respectiva resistividad.

4.3.1.2 Valores típicos de resistividad en suelos

La interpretación de la información generada en los sondeos geoelectricos representa su mayor dificultad cuando se trata de pasar del modelo teórico de combinaciones de estratos y resistividades al modelo físico de estratos y geomateriale. En este paso el grupo investigador se enfrenta con el problema que no existe una correspondencia biunívoca entre valores de resistividad y materiales, como puede apreciarse en la Tabla 4-5, lo que exige un conocimiento previo de la geología y las formaciones superficiales de la zona donde se desarrolla la investigación, de su comportamiento probable al paso de la corriente eléctrica, y una elevada capacidad de interpretación de tipo heurístico. (Arias, Echeverry Ramírez, & Hoyos Patiño, 2012)

Tabla 4-5
Rangos de valores de resistividad en algunos materiales

| MATERIAL | RESISTIVIDAD (Ω/m) |
|--|---|
| Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas | >10000 |
| Basamento. Roca fracturada | 1500-5000 |
| Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente | 100-2000 |
| Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada | 1-100 |
| Gruss no saturado | 500-1000 |
| Gruus Saturado | 40-60 |
| Saprolito no saturado | 200-500 |
| Saprolito saturado | 40-100 |
| Gravas no saturadas | 500-2000 |
| Gravas saturadas | 300-500 |
| Arenas no saturadas | 400-700 |

| MATERIAL | RESISTIVIDAD (Ω/m) |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Arenas Saturadas | 100-200 |
| Limos no saturados | 100-200 |
| Limos saturados | 20-100 |
| Limos saturados con agua salada | 5-15 |
| Arcillas no saturadas | 20-40 |
| Arcillas Saturadas | 5-20 |
| Arcillas saturadas con agua salada | 1-10 |
| Andosoles secos | 1000-2500 |
| Andosoles no saturados | 300-1000 |
| Andosoles saturados | 30-50 |

Nota: tomada de relaciones geoléctricas en la exploración geotécnica, universidad Nacional (sede Medellín)- Boletín ciencias de la tierra

4.3.1.3 Finalidad de la medición de la resistividad

- Obtener la resistividad de cada estrato
- Encontrar la profundidad de los estratos o capas
- Determinar la ubicación óptima de las instalaciones de puesta a tierra

4.3.2 Especificaciones del estudio Geoestratigráfico

4.3.2.1 Localización

El área de estudio se encuentra localizada en la Vereda Alto de las Palmas, Resguardo indígena de Guachicono con coordenadas planas Magna Sirgas origen oeste, medidas en campo; N= 717.634 y E= 1.046.655, Municipio de La Vega, Departamento del Cauca.(*Figura 4-3*)

4.3.2.2 Equipo Utilizado

El equipo que se utilizó para la realización del ensayo corresponde a un georesistivímetro, Modelo GPI FHMM-9601 con capacidad de sondear profundidades $L/2$ mayores a 200 metros, utilizando electrodos de potencial y corriente, consistentes en varillas metálicas de Copperweld, acopladas a una fuente de poder (batería) que eleva el potencial hasta un rango de operación de 400 voltios. Éste equipo fue suministrado y manejado por la empresa COREX S.A, con apoyo y compañía del grupo investigador.



**Figura 4-12. Equipo ensayo Geoeléctrico
Fuente Propia**

4.3.2.3 Medición de la resistividad del suelo

Como se mencionó anteriormente la resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos. A continuación, se hará una descripción del proceso de medición realizado teniendo en cuenta el método utilizado.

Existen métodos para la medición de la resistividad, los más usados son el método Schlumberger y el método Wenner. Para el trabajo en cuestión se determinó utilizar el primer

método donde una de las variaciones que tiene con el segundo es la simetría de espaciamiento de los electrodos.

Configuración de Schlumberger

Para esta configuración los electrodos a emplear se colocan en línea recta, manteniendo la separación (a) entre los electrodos centrales (M y N) o potencia constante; mientras que los electrodos exteriores (A y B) varían según su separación a partir de los electrodos interiores, a distancias múltiplos de la separación base de los electrodos centrales (na). (Figura 4-13)

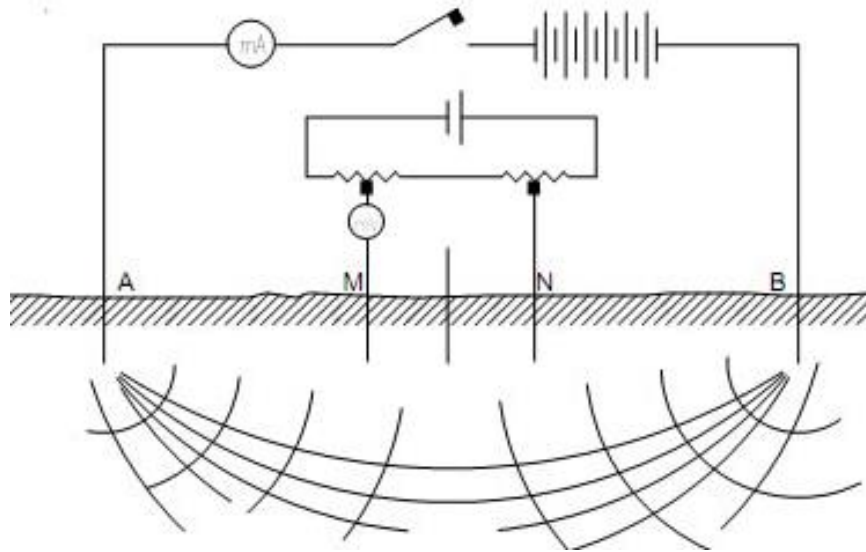


Figura 4-13. Grafico Método Schlumberger
Tomada de Organismo supervisor de la inversión Energía y Minería
, 2014

Este método eléctrico permite determinar la naturaleza, la litología de las capas y el nivel freático. Consiste en establecer la curva de variación con una profundada de resistividad aparente de un terreno a través de medidas en superficie, realizadas con ayuda de un dispositivo de cuatro electrodos, comúnmente denominados AMNB. (Figura 4-13)

Una línea de emisión permite, entre los dos electrodos externos A y B , enterrados en el suelo, hacer pasar una corriente de intensidad I , se mide la diferencia de potencial entre los electrodos principales M y N que constituyen la línea de recepción. Los electrodos A y B , M y N están dispuestos simétricamente con relación al centro O del dispositivo. En este dispositivo, la resistividad aparente se expresa en función de la distancia $AB/2$ y su representación gráfica se lleva sobre un diagrama doble logarítmico, en abscisas los logaritmos de $AB/2$ y en ordenadas los

logaritmos de las resistividades aparentes calculadas, así el gráfico obtenido se llama Sondeo Eléctrico Vertical.

La interpretación de las mediciones de la resistividad del terreno obtenidas en campo constituye uno de los problemas importantes dentro del conocimiento de los sistemas de puesta a tierra. En la práctica es poco usual encontrar una recta horizontal como curva de resistividad del suelo en función de la separación entre electrodos, debido a la presencia de diferentes materiales que constituyen las capas para diferentes profundidades, cada una de ellas con valores diferentes de resistividad y con variaciones laterales. Con base en este comportamiento físico de las características del terreno, es común en la práctica, utilizar para representar la variación de la resistividad con la distancia entre electrodos de prueba, el concepto de resistividad aparente del suelo, teniendo como resultado, una curva de la resistividad en función de la separación entre electrodos de prueba. (Galván Diego).

El método Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas. (Ruelas Gómez , 2012).

4.3.3 Resultados del estudio Geoestratigráfico

El estudio se realizó mediante la interpretación de los sondeos eléctricos verticales, afinando la curva de campo en un programa de computación denominado “IPI2win”. Se realizaron dos (2) sondeos eléctricos verticales. La interpretación permite correlacionar los diferentes horizontes de resistividad definidos a ciertas profundidades, los cuales se interpretan en base a la geología local del área.

Las líneas de refracción geoelectricas se desarrollaron según lo indicado en la *Figura 4-14*. Esta ubicación permite analizar con un sondeo eléctrico vertical 1 (S.E.V 1) la zona específica del nacimiento termal perteneciente al municipio de la Vega- Resguardo indígena de guachicono, adicionalmente, y con el fin de encontrar correlaciones entre las dos riveras del río Guachicono, se

establece un sondeo eléctrico vertical 2 (S.E.V 2)⁵, ubicado en el municipio de Sotará-Resguardo indígena de Rio Blanco.



**Figura 4-14. Localización línea de refracción geoelectricas.
Fuente Propia**

4.3.3.1 Interpretación de datos a través IPI2WIN

La metodología de interpretación mediante las curvas de patrón presenta ciertos inconvenientes que implica la observación grafica para seleccionar la curva apropiada mediante una colección amplia de curvas posibles y resolver como calzar los datos obtenidos en terreno frente a datos almacenados⁶. Es por esto que para controlar o regular el proceso se incorporan tres componentes importantes de control, el primero las tablas de datos que conforman las curvas de

⁵ Inicialmente se había planteado la posibilidad de que el SEV2 atravesara el rio Guachicono, sin embargo, y debido a dificultades en el terreno se hizo necesario modificar su ubicación tal y como se indicó en la figura 4-14.

⁶ Los datos almacenados de referencia y la relación con los estratos existentes dependen directamente de la experiencia en campo de la empresa COREX S:A ya que como se mencionó en el numeral 4.3.1.2 no existe una correspondencia biunívoca y los resultados van a estar en función del criterio de quien realiza la investigación. En este caso la empresa COREX tiene una amplia experiencia dentro de los departamentos Valle, Cauca y Nariño.

patrón, en segundo lugar, la clasificación de las curvas y por último el ajuste de las curvas. Estos controles permiten que la salida de información del proceso tenga un alto resultado de éxito. La salida se considera como la información producida por el proceso, entregando como resultado el calce de las curvas de campo o terreno con las curvas patrón. Como mecanismo para llevar a cabo todo el proceso es necesario contar con un computador y softwares apropiados como el IPI2win, utilizado durante esta investigación⁷.

El gráfico que relaciona el comportamiento de la resistividad y la profundidad, muestra tres diferentes curvas, la curva teórica, que para los modelos analizados se representa gráficamente con una línea color rojo; la curva práctica, representada de color negro⁸; y finalmente la curva de resistividad aparente, representada en color azul. A partir de este grafico se puede generar la estratigrafía de la zona en estudio.

4.3.3.2 Sondeo Electrico Vertical 1 - SEV -1

Este primer sondeo se realizó del lado del punto de afloramiento del agua termal (Resguardo de Guachicono-Municipio de la Vega Cauca) (*Figura 4-14*), con una longitud de L/2 de 150.00 metros. Como resultado se genera la curva obtenida en campo (*Figura 4-15*) que afinada en el programa computacional, finalmente permite plantear los resultados expuestos en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6
Resultados de Estratificación propuesto – SEV - 1

| Profundidad (m.) | Resistividad (ohmios/metro) | Correlación Geológica |
|-----------------------------|--|------------------------------|
| 0.00 – 0.30 | 180 | Depósitos coluviales. |
| 0.30 – 0.60 | 1130 | |
| 0.60 – 39.00 | 24 | Roca fracturada. |
| > 39.00 | 2630 | Roca densa. |

Nota: Fuente Propia

⁷ En el Anexo C se presenta el procedimiento tipo utilizado para llegar a la curva de resistividad para el S.E:V 1

⁸ La diferencia relativa entre la curva teórica y la curva práctica representa el valor del error de ajuste.

Los resultados expuestos definen cuatro horizontes de resistividad; los dos primeros se correlacionan con depósitos coluviales, alcanzan una profundidad de 0.60 metros y resistividad de 180 y 1130 ohmios/metro están constituidos por bloques, bolos, gravas y arenas aportados por el río Guachicono. El tercer horizonte alcanza una profundidad de 39.00 metros y resistividad de 24 ohmios/metro, se correlaciona con rocas fracturadas pertenecientes al Complejo Quebradagrande, a juzgar por su valor de resistividad se presenta seco. El cuarto horizonte se correlaciona con el basamento rocoso con resistividad de 2630 ohmios/metro, constituido por intercalaciones de areniscas grauvacas, limolitas, brechas, tobas, basaltos y diabasas pertenecientes al Complejo Quebradagrande, se presenta completamente seco.

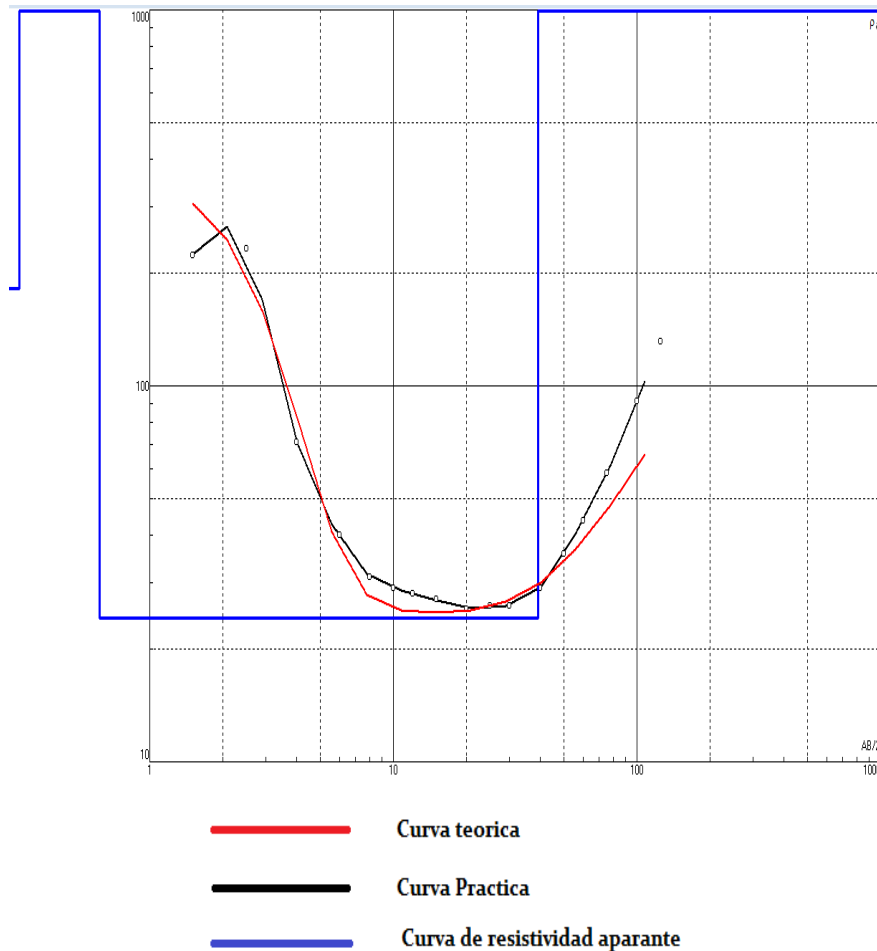


Figura 4-15. Curva de resistividad vs Distancia - SEV 1
Fuente Propia



**Figura 4-16. Ubicación SEV 1
Fuente Propia**

4.3.3.3 Sondeo Electrico Vertical 2- SEV – 2

El segundo sondeo se realizó en la zona frente al afloramiento termal, atravesando el rio Guachicono, localizado en las coordenadas N= 77.587 y E= 1.046.645 (*Figura 4-17*), con una longitud de L/2 de 15000 metros. (resguardo indígena de Rio blanco-Municipio de Sotará). Se decidió optar por el estudio en este punto para entender el comportamiento del afloramiento considerando la posibilidad de que la conducción del agua provenga desde esta zona. Eventualmente esto permite reconocer las características del terreno de trabajo y proponer una estructura consecuente que una las dos estratigrafías estudiadas. La interpretación de la curva de campo () obtenida y afinada en un programa de computación permite plantear los resultados expuestos en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7
Resultados de Estratificación propuesto – SEV - 2

| Profundidad (m.) | Resistividad (ohmios/metro) | Correlación Geológica |
|-----------------------------|--|------------------------------------|
| 0.00 – 0.50 | 61 | Suelos rojizo-amarillentos. |
| 0.50 – 1.30 | 216 | |
| 1.30 – 7.50 | 48 | Depósitos de flujos piroclásticos. |
| 7.50 – 21.00 | 40 | |
| 21.00 – 60.00 | 14 | Roca fracturada. |
| > 60.00 | 2290 | Basamento rocoso. |

Nota: Fuente Propia



Figura 4-17. Ubicación SEV -2
Fuente Propia

Los resultados definen seis horizontes de resistividad; los dos primeros se correlacionan con suelos de color rojizo-amarillento de consistencia blanda, producto de la meteorización de los flujos piroclásticos, alcanzan una profundidad de 1.30 metros y resistividad de 61 y 216

ohmios/metro, se presenta completamente seco. El tercero y cuarto horizonte alcanza una profundidad de 21.00 metros y resistividad del orden de 48 y 40 ohmios/metro, se correlaciona con depósitos de flujos piroclásticos, se presentan secos. El quinto horizonte de resistividad alcanza una profundidad de 60 metros y resistividad de 14 ohmios/metro que a juzgar por dicho valor de resistividad este horizonte se presenta húmedo, se correlaciona con rocas pertenecientes al Complejo Quebradagrande, constituido por areniscas grauvacas, limolitas, chert y tobas. Finalmente, el sexto horizonte se correlaciona con el basamento rocoso con resistividad de 2290 ohmios/metro, indicando que se presenta completamente seco.

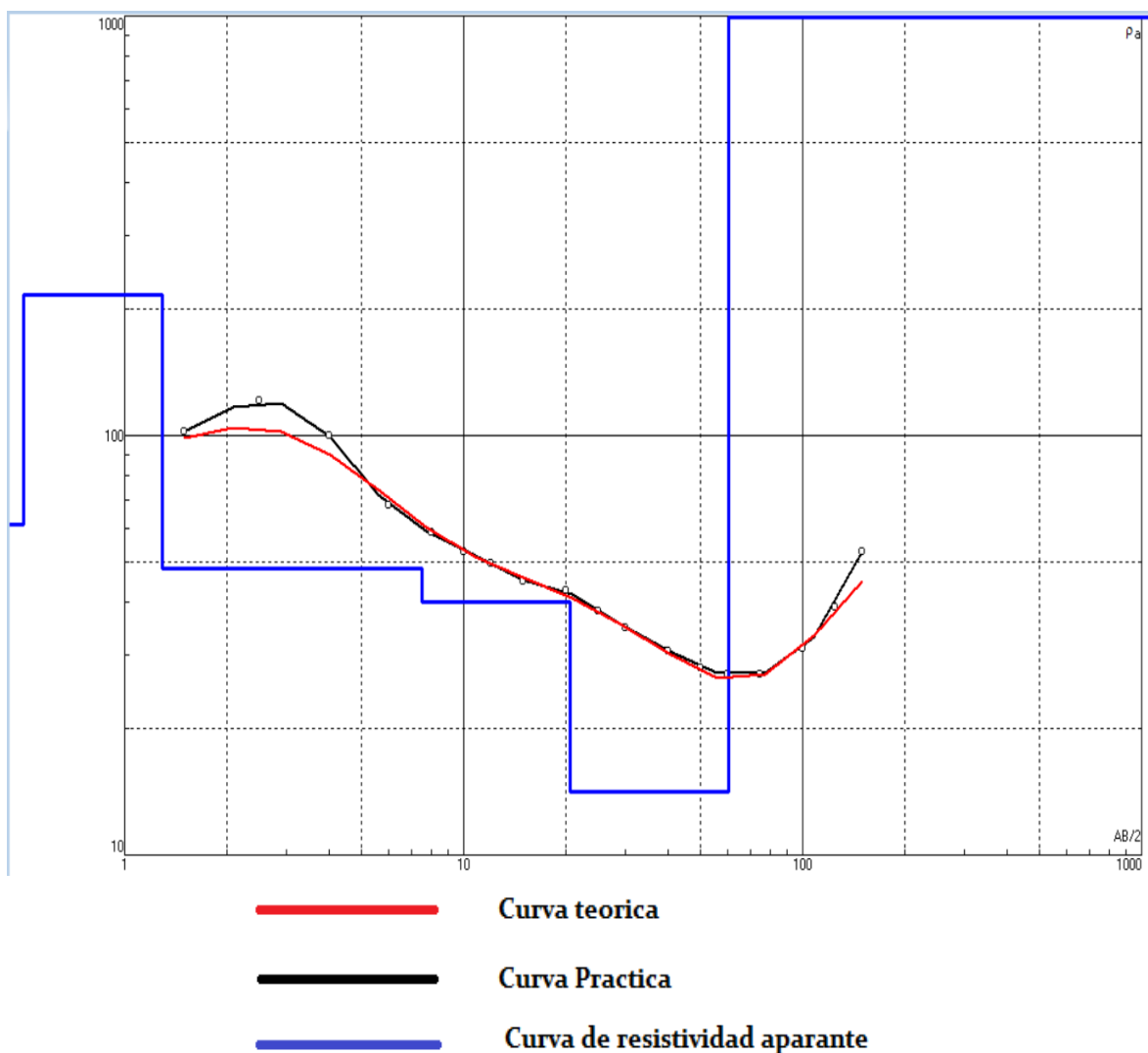


Figura 4-18, . Interpretación Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2
Fuente propia

CAPÍTULO 5

5 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

5.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hídricos, llegando a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación.

La procedencia de las aguas minerales en la naturaleza lo constituyen las aguas subterráneas, que a su vez se origina del Ciclo hidrológico. Éstas aguas en su trascurso a la superficie, interactúan y disuelven la superficie de las paredes, grietas y fisuras de los estratos rocosos que atraviesan en su trayectoria y/o durante su acumulación; es decir, se le van incorporando mediante este proceso de dilución-concentración, sales y compuestos minerales, aniones y cationes que le dan al agua su calidad físico-química natural.

Consecuentemente, es indispensable determinar el recurso hídrico aprovechable para el proyecto, su origen y su composición.

5.2 CAUDAL DEL NACIMIENTO TERMAL

Ésta parte del estudio incluye la determinación del caudal como elemento de diseño de las obras relacionadas con el uso y protección del agua.

Como definición general, se conoce como caudal, la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto por unidad de tiempo.

El caudal de un afluente hídrico puede variar dependiendo de la estación del año, por ejemplo, los ríos que se alimentan principalmente del deshielo de las capas de nieve, aumentan su caudal en primavera, mientras que ríos cuya agua procede de las precipitaciones de aguas meteóricas, presentan niveles máximos de caudal en épocas de lluvias y niveles mínimos en las estaciones o meses más secos. Es por esto que, si la fuente hídrica se localiza en zonas con altos índices de precipitación a lo largo del año, el caudal será constante y regular, y si se localiza en

zonas donde la precipitación sea irregular, sufrirá fuertes crecidas en las épocas de lluvia y bajará su nivel de agua el resto del año; este fenómeno se conoce como estiaje.

5.2.1 Especificaciones del estudio

5.2.1.1 Factores que pueden influir en la medición del caudal

Para determinar los posibles factores que pueden afectar el caudal de la fuente termal en estudio se recurre a realizar un análisis de la zona de trabajo con datos proporcionados por el IDEAM.

Tabla 5-1

Descripción estación pluviográfica más cercana

| CÓDIGO | 52020190 |
|-------------------|-----------------------|
| NOMBRE | GUACHICONO [52020190] |
| CATEGORÍA | Pluviográfica |
| TECNOLOGÍA | Convencional |
| ESTADO ESTACIÓN | Activa |
| FECHA INSTALACIÓN | junio 14, 1994 |
| ALTITUD | 2760 |
| LATITUD | 2.03 |
| LONGITUD | -76.673417 |
| DEPARTAMENTO | Cauca |
| MUNICIPIO | La Vega |

Nota: Tomada del IDEAM

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO



Figura 5-1, Ubicación estación Guachicono. Fuente Google Earth

En la Tabla 5-2 se presenta el resumen de los datos históricos de la estación 52020190. El análisis del patrón general del comportamiento de la precipitación sobre la zona de interés para clima presente y con base al promedio histórico mensual de los últimos 24 años, se presenta en base a la Figura 5-2⁹.

Tabla 5-2
Tabla climática estación 52020190 - Datos históricos IDEAM

| | <i>En</i> | <i>Febr</i> | <i>Mar</i> | <i>Abr</i> | <i>May</i> | <i>Jun</i> | <i>Jul</i> | <i>Ago</i> | <i>Sept</i> | <i>Oct</i> | <i>Nov</i> | <i>Dic</i> |
|--------------------------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| Temperatura media (°C) | 8.9 | 8.8 | 8.9 | 9.1 | 9.1 | 8.6 | 8 | 8.2 | 8.3 | 9 | 8.8 | 8.6 |
| Temperatura mínima (°C) | 3.8 | 4.1 | 4.2 | 4.6 | 4.8 | 4.7 | 4.3 | 4.3 | 4 | 4.3 | 4.1 | 3.9 |
| Temperatura máxima (°C) | 14.1 | 13.6 | 13.7 | 13.6 | 13.5 | 12.6 | 11.7 | 12.1 | 12.7 | 13.7 | 13.6 | 13.4 |
| Precipitación (mm) | 110 | 83 | 95 | 100 | 81 | 77 | 75 | 64 | 51 | 126 | 159 | 135 |

Nota: Fuente Propia

⁹ En el Anexo D, se presenta el procesamiento de los datos otorgados por el IDEAM para lograr el Climograma correspondiente a la estación 52020190 expuesto como resultado en la figura 5,1

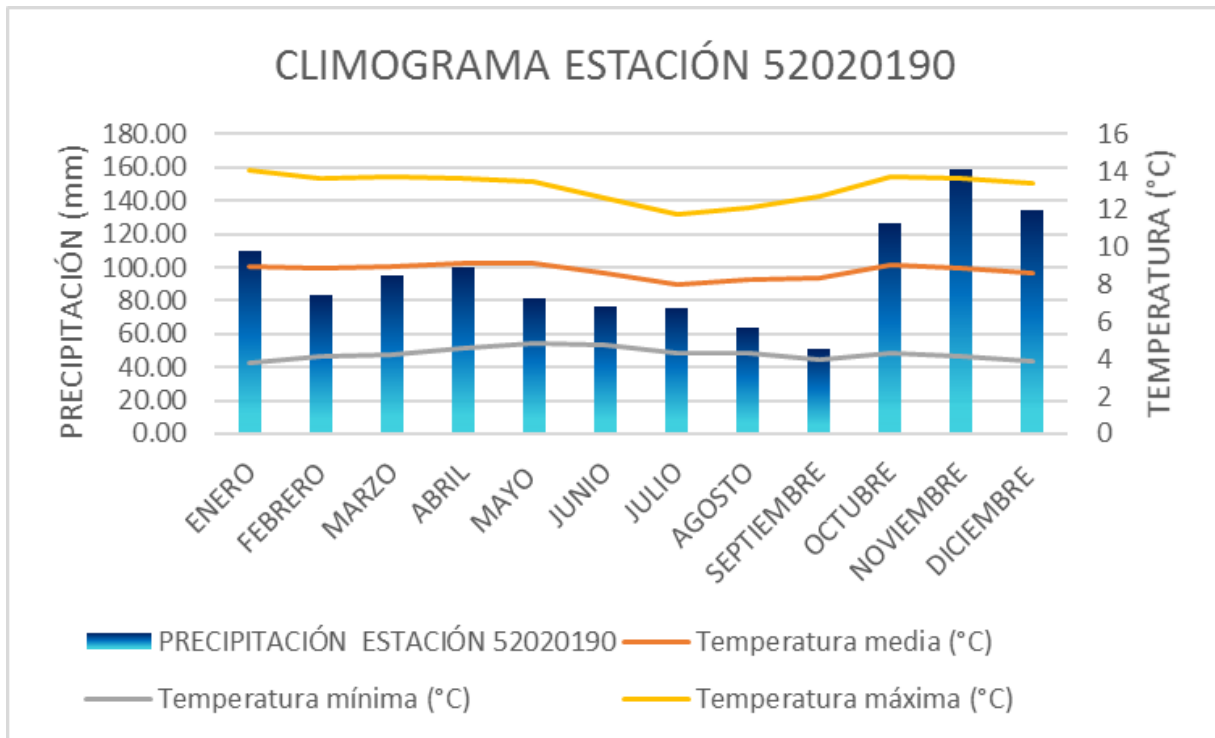


Figura 5-2, . Climograma estación Guachicono 52020190. Datos obtenidos por el IDEAM Fuente Propia

Precipitación

Las menores lluvias ocurren en septiembre, con un promedio de este mes de 51 mm. En noviembre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 159mm. Lo anterior indica una variación de la precipitación, entre los meses más secos y más húmedos, de 108 mm, la cual no se considera representativa.

La *Figura 5-2* indica una precipitación regular en el transcurso del año. Los niveles anuales están alrededor de 1156 mm considerados abundante.

$$Pp \text{ anual} = 110 + 83 + 95 + 100 + 81 + 77 + 75 + 64 + 51 + 126 + 159 + 135 = 1156mm$$

Por lo anterior, se determina que la zona de estudio presenta una precipitación estable con altos índices de precipitación a lo largo del año, por ende, éste factor no influye en el caudal de la fuente hídrica en análisis.

Temperatura

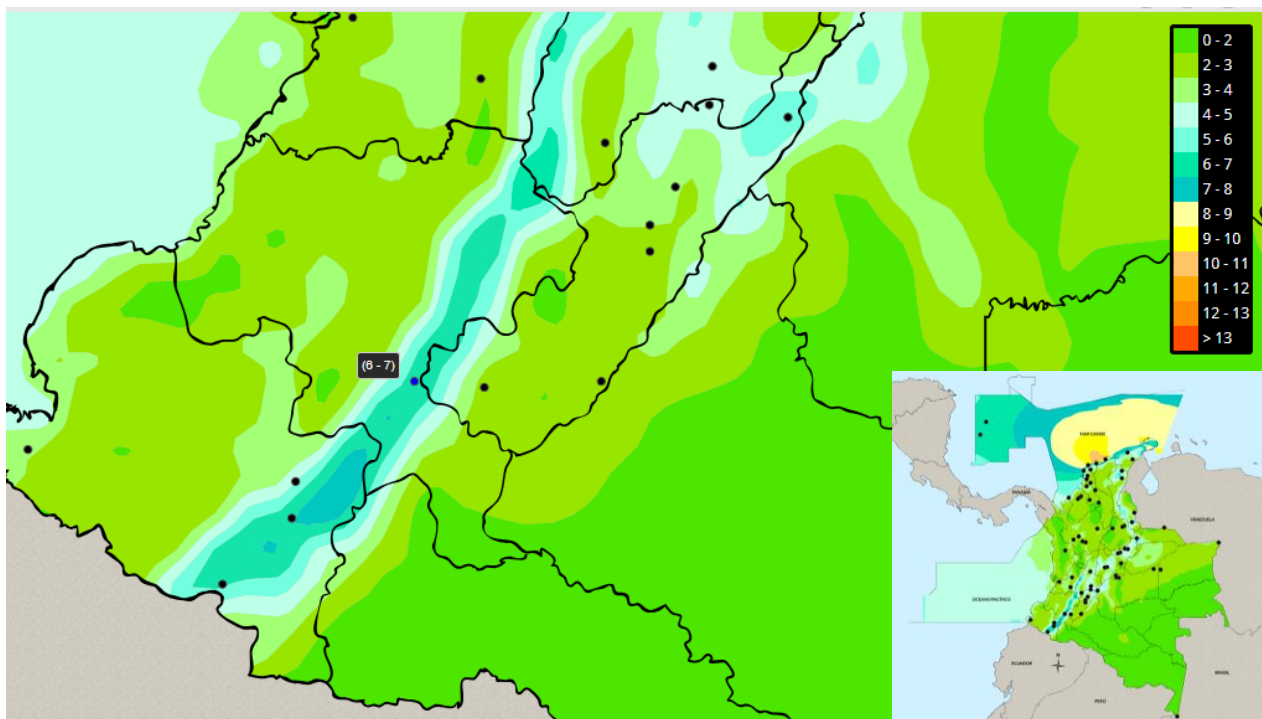
Debido a la proximidad de Colombia con la línea del Ecuador, su clima es tropical e isotérmico, con temperaturas que varían muy poco durante el año. Éste hecho hace que el país no

pase por 4 estaciones y goce de un clima controlado, sin tener que sufrir los estragos de un arduo invierno o un candente verano.

Según los datos procesador por la estación 52020190, la variación de la temperatura anual de la zona está alrededor de 1.1°C. Ésta estabilidad climática garantiza variaciones insignificantes del Caudal a través del tiempo.

Viento

El efecto del viento sobre la evapotranspiración dependerá de las condiciones ambientales. Un aumento en la velocidad del viento, dentro de ciertos límites significa una mayor evapotranspiración, sin embargo, puede decirse que la evapotranspiración aumenta relativamente más, por los efectos de una brisa suave (0 a 3 km/hora), que por vientos de gran velocidad. (SERVIN PALESTINA , 2007)



**Figura 5-3, Velocidad promedio anual del viento a 10 m de altura (m/s).
Fuente Atlas del Viento en Colombia IDEAM**

Según la *Figura 5-3* la velocidad promedio anual del viento en la zona de estudio varía entre 6 y 7 m/s, lo que corresponde a 21.6 km/h y 25.2 km/h respectivamente. Éstos valores son considerados vientos de gran velocidad, por ende se concluye que el efecto del viento en la evapotranspiración es mínimo.

5.2.1.2 Método de medición de Caudal

El método de aforo seleccionado para realizar el estudio es el AFORO VOLUMÉTRICO. Éste tipo de aforo representa la forma más sencilla para realizar el cálculo de caudales relativamente pequeños, condiciones adecuadas para la zona ya que el objetivo es instruir a la comunidad para que realice el seguimiento al caudal perteneciente a la fuente termal.

El método consiste en conducir el agua hacia un ducto que realiza la descarga del recurso en un recipiente y medir el tiempo que demora su llenado mediante un cronometro. Para esto se decide realizar un encauzamiento con material pétreo del sitio que ayude a dirigir el agua desde el nacimiento hacia el ducto con la menor cantidad de pérdidas posible¹⁰. Adicionalmente se levanta una pantalla de protección a 1m con material de la zona¹¹, con el fin de proteger el nacimiento del rio Guachicono.

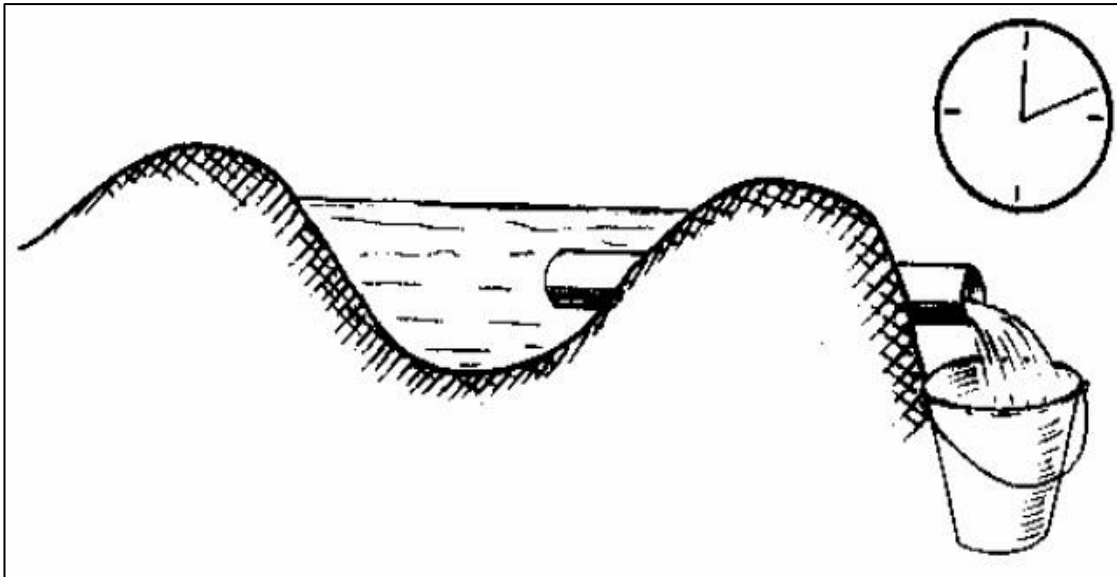


Figura 5-4. Aforo Volumétrico.
Tomada de Gonzales Muñoz, 2008.

El seguimiento a la fuente termal se realiza durante 15 días, tomando 3 mediciones diarias (día de por medio) ya que como se demostró en 5.2.1.1 (Factores que pueden influir en la medición

¹⁰ Es importante resaltar que éstas obras no modifican la estructura del nacimiento, ya que éstos estudios corresponden a la fase 1 de Prefactibilidad.

¹¹ El dimensionamiento de la pantalla se realizó en base a marcas de crecidas históricas y tomando como referencia la altura de rocas adyacentes al nacimiento.

del caudal) los factores Precipitación y Temperatura de la zona no afectan el caudal a través del tiempo.

5.2.2 Desarrollo de la obra de Aforo

Debido a que la función de la pantalla es evitar que el río Guachicono afecte las condiciones del nacimiento, se hace un análisis de las presiones hidrostáticas que como mínimo debe soportar en crecidas.

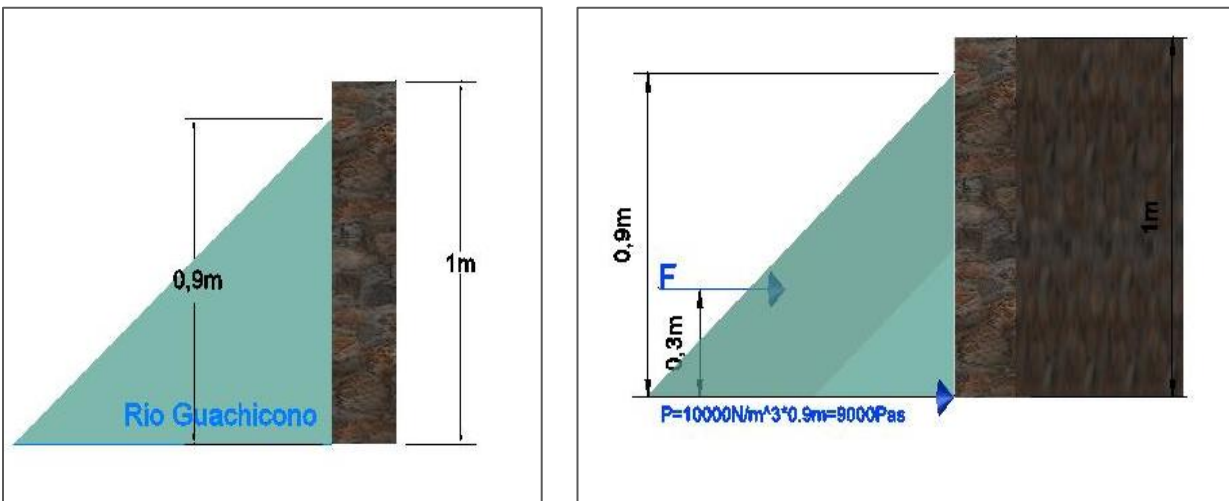


Figura 5-5. Prisma de presiones sobre pantalla plana y vertical.

Fuente Propia.

En la *Figura 5-5* se aprecia que la presión generada por el agua es de tan solo 9000 Pas (1.3 Psi).

Se usa roca aladaña al río para conformar un concreto ciclópeo conformado por 50% de canto rodado o roca partida y 50% de concreto clase D compuesto por cemento Portland y agregados de río fino y grueso en proporciones en volumen suelto 1:3:4 correspondientemente y 170 litros de agua por metro cubico de concreto. Lo anterior con el fin de alcanzar una resistencia a los 28 días de 2000Psi suficiente para cumplir los requerimientos.

Para el encauzamiento del río se realiza una base en el mismo concreto ciclópeo que ayude a conducir el agua por un tubo de 4in dispuesto para el aforo.

Al término de la realización de la obra, el ideal es esperar 28 días para el fraguado del concreto antes de iniciar con la toma de datos. Sin embargo, y a pesar de algunas recomendaciones brindadas a la comunidad, el tubo dispuesto para la medición de caudal fue taponado y la pantalla

de protección contra el río fue expuesta a presiones hidrostáticas apresuradas, lo que ocasionó fisuras y daños en el concreto. Es por esta razón que se recurre al mortero 101 Sika como impermeabilizador y sellante¹².

Posteriormente se esperan 20 días para el terminado del fraguado del concreto y secado del grouting y así garantizar la resistencia para la cual se diseñó el concreto.

De este modo, se concluye a satisfacción la obra y se da inicio a los aforos diarios.

5.2.2.1 Evidencia fotográfica



**Figura 5-6, Nacimiento las Chizas invadido por el agua del Rio Guachicono.
Fuente Propia**

¹² Para tal efecto se emplea una proporción 3:1 en Volumen y las recomendaciones realizadas por el fabricante en la hoja técnica del producto.



*Figura 5-7, Nacimiento las Chizas en crecida del Rio Guachicono.
Fuente propia*



*Figura 5-8, Construcción encausamiento y pantalla protectora de
crecidas.
Fuente Propia*



Figura 5-9. presiones hidrostáticas ocasionadas por el taponamiento del conducto.

Tomada de “pueblo macizeño”
[/https://www.facebook.com/intichuri.guachicono](https://www.facebook.com/intichuri.guachicono)



**Figura 5-10, Impermeabilización y sellado de pantallas protectoras.
Fuente Propia**



**Figura 5-11. Fraguado del Concreto y secado del mortero.
Fuente Propia.**



**Figura 5-12, Encauzamiento sin afectar el nacimiento.
Fuente propia**



**Figura 5-13. Aforo.
Fuente Propia.**

5.2.3 Resultados del estudio

En la Tabla 5-3 se presenta la síntesis de los resultados obtenidos durante el seguimiento al caudal. Los datos tomados directamente en campo se presentan como Anexo E en esta investigación.

Tabla 5-3
Aforos diarios

| HORA DE TOMA | TIEMPO (s) | VOLUMEN (L) | CAUDAL (L/S) | OBSERVACIONES |
|----------------------|------------|-------------|--------------|--|
| DÍA 1 | | | | |
| 4:49 p. m. | 3.36 | 3.00 | 0.89 | Día despejado |
| | 3.18 | 2.80 | 0.88 | |
| | 3.67 | 3.10 | 0.84 | |
| CAUDAL DIARIO | | | | 0.87 |
| DÍA 2 | | | | |
| 7:36 a. m. | 7.12 | 6.10 | 0.86 | Día despejado, río normal, encauzamiento limpio. |
| | 10.64 | 9.00 | 0.85 | |
| | 11.59 | 9.80 | 0.85 | |
| CAUDAL DIARIO | | | | 0.85 |
| DÍA 3 | | | | |
| 4:00 p. m. | 4.15 | 3.35 | 0.81 | Tarde nublada, río normal |
| | 6.63 | 5.80 | 0.87 | |
| | 6.10 | 5.20 | 0.85 | |
| CAUDAL DIARIO | | | | 0.84 |
| DÍA 4 | | | | |
| 11:00 a. m. | 3.87 | 3.20 | 0.83 | Día despejado, río normal, encauzamiento limpio. |
| | 7.49 | 6.20 | 0.83 | |
| | 10.70 | 8.00 | 0.75 | |
| CAUDAL DIARIO | | | | 0.80 |
| DÍA 5 | | | | |
| 7:00 a. m. | 9.64 | 7.40 | 0.77 | Día despejado, río normal, encauzamiento limpio. |
| | 8.59 | 7.00 | 0.81 | |
| | 12.22 | 9.70 | 0.79 | |
| CAUDAL DIARIO | | | | 0.79 |
| DÍA 6 | | | | |
| 8:30 a. m. | 6.02 | 6.03 | 1.00 | Día despejado, río normal, encauzamiento limpio. |
| | 8.10 | 6.40 | 0.79 | |
| | 11.02 | 8.80 | 0.80 | |
| CAUDAL DIARIO | | | | 0.86 |
| DÍA 8 | | | | |

| HORA DE TOMA | TIEMPO (s) | VOLUMEN (L) | CAUDAL (L/S) | OBSERVACIONES |
|------------------------|------------|-------------|-----------------|---|
| 7:31 a. m. | 8.20 | 9.80 | 1.20 | Día despejado, río normal. |
| | 7.81 | 9.20 | 1.18 | Agua acumulada por taponamiento del tubo. |
| | 8.89 | 10.00 | 1.12 | |
| CAUDAL DIARIO | | | 1.17 | DATO DESCARTADO |
| CAUDAL PROMEDIO | | | 0.84 L/s | |

Nota: Fuente Propia

5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

El cálculo de la evapotranspiración constituye uno de los parámetros importantes en el balance hídrico de una región para cualquier aprovechamiento de los recursos hidráulicos, debido a que el agua entra a formar parte del vapor de agua de la atmosfera y representa una pérdida que hay que considerar en la demanda o necesidades de agua en cualquier proyecto de aprovechamiento de recursos hídricos.

El proceso de evapotranspiración depende de factores como el suelo, tipo de vegetación, estado del tiempo y la radiación solar, ya que requiere de energía.

5.3.1 Calculo de la evapotranspiración por método indirecto (formula de Thornthwaite)

La fórmula de Thornthwaite, se considera como el método más accesible para calcular la evapotranspiración de referencia E_{to} , ya que utiliza una relación empírica basada en la temperatura media del aire y está dada por la siguiente expresión:

$$E_{to} = 1.6 \left(\frac{10T_a}{J} \right)^a$$

Donde:

E_{to} = Evapotranspiración de referencia en cm/mes

T_a = Temperatura media del mes en °C (Tabla 5-2)

J = índice calórico anual igual a la suma de los 12 índices calóricos mensuales

El índice de calor mensual está dado por:

$$Ji = \left(\frac{Ta}{5}\right)^{1.514}$$

$$J = \sum_{i=1}^{12} ji$$

El exponente a, está dado en función de J, con expresión matemática de la forma:

$$a = (675 * 10^{-9})J^3 - (771 * 10^{-7})J^2 + (179 * 10^{-4})J + 0.492$$

La fórmula que describe la Eto se obtuvo para meses de 30 días; para meses que difieren de esta cantidad de días, es necesaria ajustar la Eto multiplicándola por el valor $n*N/360$. Donde:

n: Número de días del mes diferentes de 30

N: horas de iluminación diaria en función de la latitud del lugar.

Teniendo en cuenta cada parámetro descrito, se procede a determinar la Eto media mensual para la zona de estudio con coordenadas geográficas 2°2'31.64866'' N 76°39'28.40622'' W

Tabla 5-4

Promedio diario mensual de la duración astronómica posible de brillo solar en horas y décimos (N)

| Lat. Norte | Ene | Febr | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lat. Sur | Jul | Agos | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Febr | Mar | Abr | May | Jun |
| 0° | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 |
| 5° | 11.80 | 11.90 | 12.00 | 12.20 | 12.30 | 12.40 | 12.30 | 12.30 | 12.10 | 12.00 | 11.90 | 11.80 |
| 2° | 11.98 | 12.02 | 12.06 | 12.14 | 12.18 | 12.22 | 12.18 | 12.12 | 12.1 | 12.06 | 12.02 | 11.98 |

Nota: tomada de Anexo B Hidrología Universidad del Cauca (Gonzales Muñoz, 2008)

Tabla 5-5

Valores Ji, n y para la zona de estudio

| Mes | Ene | Febr | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ta (°C) | 8.9 | 8.8 | 8.9 | 9.1 | 9.1 | 8.6 | 8 | 8.2 | 8.3 | 9 | 8.8 | 8.6 |
| ji | 2.39 | 2.35 | 2.39 | 2.48 | 2.48 | 2.27 | 2.04 | 2.11 | 2.15 | 2.43 | 2.35 | 2.27 |
| n | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| N | 11.98 | 12.02 | 12.06 | 12.14 | 12.18 | 12.22 | 12.18 | 12.12 | 12.10 | 12.06 | 12.02 | 11.98 |

Nota: Fuente Propia

$$J = \sum_{i=1}^{12} ji = 27.73$$

$$a = (675 * 10^{-9})J^3 - (771 * 10^{-7})J^2 + (179 * 10^{-4})J + 0.492 = 0.944$$

Tabla 5-6
Valores evapotranspiración mensual zona en estudio

| Mes | Ene | Febr | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Eto (cm) | | | | | | | | | | | | |
| sin | 4.81 | 4.76 | 4.81 | 4.91 | 4.91 | 4.65 | 4.35 | 4.45 | 4.50 | 4.86 | 4.76 | 4.65 |
| ajustar | | | | | | | | | | | | |
| Eto (cm) | | | | | | | | | | | | |
| ajustada | 4.96 | 4.45 | 4.99 | 4.91 | 5.15 | 4.65 | 4.56 | 4.64 | 4.50 | 5.05 | 4.76 | 4.80 |

Nota: fuente Propia

5.3.2 Evapotranspiración mensual Crítica y Evapotranspiración anual.

Se elige como mes crítico, aquel mes en donde se produzca la mayor evapotranspiración diaria. Según los datos de la Tabla 5-6 se toma como mes crítico el mes de Mayo¹³, con una evapotranspiración de 5.15cm/mes lo que equivale a 0,17cm/día.

La evapotranspiración media anual de la zona en análisis, por el método de Thornthwaite, es igual a 574.2mm.

5.4 COMPONENTES BACTERIOLÓGICOS, FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL NACIMIENTO TERMAL Y RIO ALEDAÑO

Esta parte del estudio hidrológico comprende la caracterización bacteriológica, física y química del nacimiento termal; que junto con los estudios anteriormente descritos completan la caracterización para la explotación geotérmica recreacional- fase perfectibilidad.

Debido a la proximidad del nacimiento con el cauce del río Guachicono se le realizaron los mismos análisis bacteriológicos, físicos y químicos con el fin de determinar la influencia del río en el nacimiento.

Para llevar a cabo este estudio se tomaron 4 muestras de agua, 2 pertenecientes al nacimiento termal y 2 pertenecientes al río Guachicono. Las muestras fueron tomadas el día 27 de

¹³ Par efecto de futuros cálculos, es importante destacar que no necesariamente el mes con mayor evapotranspiración será el mes crítico, ya que el valor diario está en función de la cantidad de días de mes (28, 30 o 31). En este caso en específico el mes con mayor valor de evapotranspiración coincide como mes crítico.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

agosto de 2018 a la 1:00 pm, refrigeradas y transportadas, para ser ingresadas al laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán el día 28 de agosto de 2018, en horas de la mañana.

En los párrafos 5.4.1 - 5.4.2 y 5.4.3, se presentan los resultados obtenidos de las 4 muestras analizadas. En el Anexo F se adjunta como soporte los resultados de las 4 muestras entregados por el Laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán.



**Figura 5-14. Muestras de agua para laboratorio.
Fuente propia**

5.4.1 Análisis Físico

5.4.1.1 Temperatura

Éste parámetro es uno de los más dicientes para concluir la prefectibilidad del proyecto geotérmico turístico, ya que de éste depende el confort de los bañistas. Es por esta razón que se realizan tomas de temperatura In situ al nacimiento termal desde agosto hasta noviembre del presente año.

La medición se realiza con un termómetro digital NON-CONTACT INFRARED THERMOMETER modelo 6530D. Los datos tomados en campo se presentan en el Anexo G .

Tabla 5-7
Registro de temperatura termales las Chizas- Guachicono

| MES | DÍA | HORA | TEMPERATURA °C | | | |
|--|---------------|----------------|----------------|--------|--------|--------------|
| | | | TOMA 1 | TOMA 2 | TOMA 3 | PROMEDIO |
| AGOSTO | 17 | 11:00:00 a. m. | 38.90 | 38.70 | 38.00 | 38.53 |
| | 28 | 9:15:00 a. m. | 39.70 | 39.60 | 39.60 | 39.63 |
| | 28 | 1:32:00 p. m. | 42.80 | 42.70 | 42.80 | 42.77 |
| | 29 | 8:30:00 a. m. | 40.90 | 41.10 | 40.60 | 40.87 |
| | 29 | 12:14:00 p. m. | 36.60 | 37.50 | 36.50 | 36.87 |
| | 29 | 4:03:00 p. m. | 41.00 | 41.40 | 41.40 | 41.27 |
| | 30 | 9:00:00 a. m. | 36.02 | 30.00 | 37.70 | 34.57 |
| | 30 | 12:12:00 p. m. | 39.10 | 37.10 | 39.10 | 38.43 |
| | 30 | 4:25:00 p. m. | 41.90 | 41.20 | 40.90 | 41.33 |
| | 31 | 8:15:00 a. m. | 43.10 | 41.40 | 35.90 | 40.13 |
| | 31 | 12:10:00 p. m. | 44.10 | 43.00 | 30.70 | 39.27 |
| 31 | 4:41:00 p. m. | 40.20 | 40.00 | 39.00 | 39.73 | |
| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C): | | | | | | 39.45 |
| SEPTIEMBRE | 1 | 8:45:00 a. m. | 43.00 | 42.40 | 38.90 | 41.43 |
| | 1 | 12:30:00 p. m. | 41.60 | 40.20 | 32.20 | 38.00 |
| | 1 | 3:30:00 p. m. | 41.70 | 41.20 | 41.10 | 41.33 |
| | 4 | 8:30:00 a. m. | 43.30 | 42.60 | 42.00 | 42.63 |
| | 4 | 12:15:00 p. m. | 43.30 | 43.10 | 39.70 | 42.03 |
| | 4 | 4:20:00 p. m. | 42.10 | 39.80 | 42.60 | 41.50 |
| | 5 | 12:00:00 a. m. | 43.20 | 42.10 | 43.10 | 42.80 |
| | 5 | 12:30:00 p. m. | 43.30 | 38.30 | 39.00 | 40.20 |
| | 5 | 4:30:00 p. m. | 38.90 | 37.30 | 37.10 | 37.77 |
| | 6 | 9:45:00 a. m. | 39.80 | 39.40 | 38.80 | 39.33 |
| | 6 | 12:30:00 p. m. | 41.70 | 40.60 | 39.80 | 40.70 |
| 6 | 4:30:00 p. m. | 42.60 | 42.20 | 42.40 | 42.40 | |

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

| | | | | | | |
|--|----------------|----------------|-------|-------|--------------|-------|
| | 7 | 9:30:00 a. m. | 40.60 | 39.70 | 38.80 | 39.70 |
| | 7 | 12:30:00 p. m. | 40.50 | 40.10 | 38.70 | 39.77 |
| | 7 | 4:30:00 p. m. | 42.40 | 41.30 | 39.80 | 41.17 |
| | 8 | 12:00:00 a. m. | 42.30 | 40.00 | 38.80 | 40.37 |
| | 8 | 12:00:00 a. m. | 41.60 | 39.80 | 39.70 | 40.37 |
| | 8 | 4:30:00 p. m. | 40.40 | 39.90 | 39.60 | 39.97 |
| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C): | | | | | 40.64 | |
| OCTUBRE | 5 | 1:46:00 p. m. | 37.6 | 37.2 | 38 | 37.6 |
| | 6 | 5:40:00 p. m. | 40.6 | 40.4 | 37.8 | 39.59 |
| | 7 | 6:00:00 p. m. | 38.4 | 38.9 | 37.8 | 38.39 |
| | 8 | 4:20:00 p. m. | 40.1 | 39.2 | 32.7 | 37.35 |
| | 9 | 3:20:00 p. m. | 42.7 | 42.3 | 41.4 | 42.13 |
| | 10 | 5:20:00 p. m. | 36 | 35 | 36 | 35.67 |
| | 11 | 4:53:00 p. m. | 39.1 | 36.2 | 31.6 | 35.63 |
| | 12 | 7:51:00 a. m. | 29 | 27.2 | 26.6 | 27.61 |
| | 13 | 8:48:00 a. m. | 26.5 | 26.1 | 25.7 | 26.11 |
| | 14 | 5:05:00 p. m. | 27.7 | 31.0 | 30.8 | 29.83 |
| | 15 | 4:46:00 p. m. | 42.6 | 42.7 | 39.1 | 41.48 |
| | 16 | 8:47:00 a. m. | 43.0 | 43.0 | 43.8 | 43.26 |
| | 17 | 3:20:00 p. m. | 44.0 | 43.6 | 40.1 | 42.57 |
| | 18 | 5:40:00 p. m. | 42.6 | 41.2 | 38.7 | 40.85 |
| 19 | 9:00:00 a. m. | 42.1 | 40.7 | 39.5 | 40.76 | |
| 20 | 12:00:00 p. m. | 36.0 | 35.1 | 33.3 | 34.81 | |
| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C): | | | | | 37.10 | |
| NOVIEMBRE | 10 | 4:43:00 p. m. | 42.70 | 42.60 | 40.60 | 41.97 |
| | 11 | 7:33:00 a. m. | 42.80 | 41.70 | 38.10 | 40.87 |
| | 12 | 4:00:00 p. m. | 39.20 | 39.30 | 38.90 | 39.13 |
| | 13 | 8:00:00 a. m. | 39.30 | 40.60 | 38.90 | 39.60 |
| | 14 | 7:00:00 a. m. | 38.60 | 38.40 | 39.00 | 38.67 |
| | 15 | 8:30:00 a. m. | 38.20 | 37.80 | 38.00 | 38.00 |
| | 16 | 7:31:00 a. m. | 39.00 | 39.80 | 39.60 | 39.47 |
| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C): | | | | | 39.67 | |
| TEMPERATURA PROMEDIO (°C) | | | | | 39.22 | |

Nota: Fuente Propia

En la Tabla 5-7 se presenta un resumen de los datos obtenidos en campo, concluyendo una temperatura promedio de 39.22°C , con una varianza de datos de 11.88°C^2 y una desviación estándar de muestra (σ) de 3.45°C .

Ya que σ es menor que el promedio, se puede inferir que la distribución de datos de temperatura no está sesgada, es decir, tiene forma de una campana normal ($N(39.22^{\circ}\text{C}, 3.45^{\circ}\text{C})$). En la *Figura 5-15* se presenta la dispersión de datos de las mediciones diarias, marcando como limite la media de datos más o menos σ .

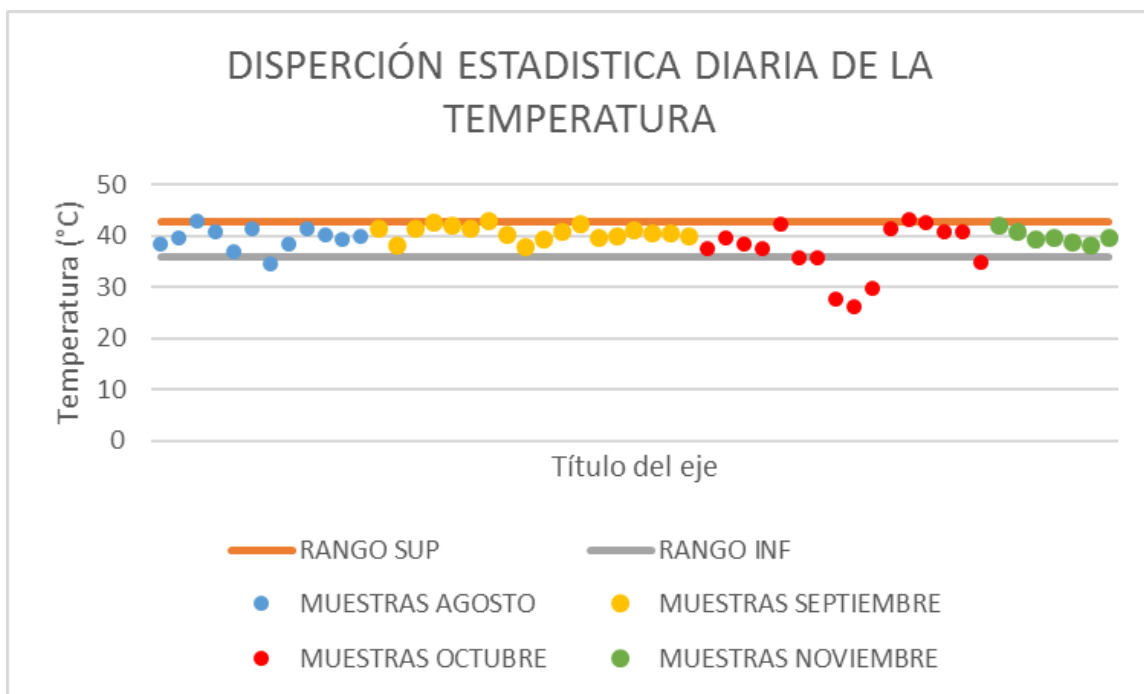


Figura 5-15, Dispersión estadística de los valores diarios de temperatura.
Fuente propia

En *Figura 5-15* se observa que la probabilidad de que una medición de temperatura se encuentre por fuera del rango demarcado por la desviación estándar de la muestra, esta denotada por:

$$P\left(\frac{10}{53}\right) = 0.19$$

Lo anterior indica un nivel de confianza del 81% (Alto) marcado por el intervalo:

$$IC_{81\%} = (35.77^{\circ}\text{C}, 42.67^{\circ}\text{C})$$

Utilizando los parámetros definidos para esta investigación en las tablas 2-2 y 2-3 (pág. 15) y utilizando el rango confiable establecido, se categoriza el agua como MESOTERMAL con una sensación al Tacto Caliente.

En cuanto a la temperatura del agua del río Guachicono se realizaron algunas mediciones que no superaron los 5°C, dado que la temperatura ambiente promedio corresponde más o menos 10 °C¹⁴, se concluye que el Agua del río Guachicono no se considera termal.

5.4.1.2 Color Aparente

El color aparente es el de la muestra tal y como la observamos en el sistema, incluye partículas en suspensión y sustancias coloradas disueltas, se expresa en unidades de Platino Cobalto (UPC). El decreto 1594¹⁵, de 1984, para agua cruda, establece un máximo de 75 UPC.

Tabla 5-8
Color aparente de las muestras

| COLOR APARENTE (UPC) | |
|-----------------------------|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 20.3 | 53.6 |

Nota: Fuente Propia

Las dos muestras se encuentran dentro del rango permitido por la norma. Aunque notablemente el nacimiento termal presenta menos color.

5.4.1.3 Turbiedad

La turbiedad depende de los materiales en suspensión en la muestra de agua, esta expresada en N.T.U (Unidades de turbiedad nefelométrica) y tiene un límite, según el decreto 1594, de 10 UNT.

¹⁴ Según la definición establecida en 2.1, bajo estas condiciones ambientales, se empieza a considerar agua termal aguas con temperaturas superiores a los 14°C

¹⁵ Este decreto colombiano establece los valores admisibles para la destinación del recurso hídrico para consumo humano y doméstico e indica que si se cumple con estos rangos el agua solo necesitará del proceso de desinfección para considerarse agua potable. Sin embargo para efectos prácticos, en esta investigación se toma como referencia éstos valores ya que Colombia Carece de normatividad que establezca límites de propiedades fisicoquímicas dela agua para uso recreativo termal.

Tabla 5-9
Turbiedad de las muestras

| TURBIEDAD (N.T.U) | |
|--------------------------|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 18.00 | 3.66 |

Nota: Fuente Propia

Como ya se mencionó el color aparente comprende partículas en suspensión y partículas disueltas, mientras que la turbidez de un fluido analiza únicamente las partículas en suspensión. Es por ello que mayor color no implica mayor turbidez.

Los resultados expuestos en la Tabla 5-9 y la Tabla 5-8 indican que el nacimiento termal posee mayores partículas en suspensión que el río Guachicono, a tal punto de sobre pasar los límites en la norma, pero una cantidad muy baja de sustancias coloreadas disueltas.

Sobrepasar el límite establecido por la norma, indica que el agua requiere filtración si se desea para agua potable. Ya que los estudios realizados son enfocados en el uso recreativo del nacimiento termal, sobrepasar este parámetro no indica ninguna afectación más que estética a la calidad del agua, lo cual se puede solucionar con un filtro. Sin embargo, ya que el valor no es alto se cree innecesario.

5.4.1.4 Sólidos disueltos totales (SDT)

Son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua.

Tabla 5-10
Sólidos totales disueltos

| SDT (mg/L) | |
|--------------------------|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 3.9 | 50.6 |

Nota: Fuente Propia

5.4.1.5 Olor

Aunque es una característica muy subjetiva, vale destacar que la fuente termal en estudio no emana un olor desagradable, al contrario, es casi imperceptible al olfato.

5.4.2 Análisis Químico

5.4.2.1 Conductividad eléctrica

Es la habilidad del agua para poder conducir o transmitir calor. Se presenta en Microsiemens/cm. La norma establece un valor máximo de 1000 Microsiemens/cm.

Tabla 5-11
Conductividad eléctrica de las muestras

| CONDUCTIVIDAD (Microsiemens/cm) | |
|--|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 7.8 | 101.2 |

Nota: Fuente Propia

Éste parámetro no es diciente, ya que el análisis no se realizó In situ, y la conductividad del líquido depende de su temperatura. Por ende, el resultado de conductividad correspondiente al nacimiento termal está afectado por brusco cambio de temperatura al ser refrigerada la muestra.

5.4.2.2 PH

pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno o la acidez del agua.

Tabla 5-12
Ph de las muestras

| pH | |
|--------------------------|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 6.7 | 7.3 |

Nota: Fuente Propia

Según los parámetros establecidos en Tabla 2-5 (pág. 16) el agua termal es considerada Ácida y el agua del Rio básica.

En efecto, vale destacar que los nacimientos estudiados en zonas aledañas al Volcán Sotará también han presentado Ph ácidos (Aguas Calientes, pág. 20 y Aguas Amarillas, pág. 21)

5.4.2.3 Alcalinidad total

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos; por ende, está conformada principalmente por los iones bicarbonato.

Tabla 5-13
Alcalinidad Total de las muestras

| ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO₃) | |
|--|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 1735.0 | 28.8 |

Nota: Fuente Propia

La resolución 2115 de 2007 establece como límite máximo un valor de alcalinidad de 200 CaCO₃ mg/L. Sobrepasar este límite indica que es un agua muy alcalina y que por ende es capaz de neutralizar una gran cantidad de ácido. Ya que este valor está ligado al pH, el valor alto obtenido en el nacimiento termal garantiza la estabilidad del pH ante sustancias acidas, sin embargo, y aunque no conlleva a implicaciones directas a la salud humana¹⁶, sobrepasar este límite conlleva a implicaciones económicas ya que si se desea bajar el nivel de alcalinidad se requiere de una gran cantidad de Ácido Clorhídrico.

5.4.2.4 Dureza total

La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales que será tanto mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.

¹⁶ En muchos lugares del mundo se comercializa el agua minera como agua medicinal. Una de las características atractivas para este uso son los beneficios que brinda un agua alcalina. Sin embargo, son muy pocos los estudios científicos legítimos acerca de los efectos del agua alcalina en la salud humana. (Mercola, 2010)

Tabla 5-14
Dureza total de las muestras

| DUREZA TOTAL | |
|--------------------------|-----------------------|
| NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO |
| 927.6 | 30.9 |

Nota: Fuente Propia

5.4.2.5 Minerales

En la Tabla 5-15 se presentan los resultados obtenidos y el contraste con la exigencia del decreto 1594. Al comparar estas evidencias con las líneas de clasificación establecidas para esta investigación se establece que el agua termal es CLORURADA y se descarta como agua mineral el agua del río Guachicono.

Tabla 5-15
Componentes minerales de las muestras

| COMPONENTE | UNIDAD | NACIMIENTO TERMAL | RIO GUACHICONO | PARÁMETROS DECRETO 1594 |
|-------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Hierro Total | mg/L Fe | 2.21 | 0.72 | HASTA 5.00 |
| Sulfatos | mg/L SO42 | 154.75 | 5.22 | HASTA 400.00 |
| Cloruro | mg/L Cl | 1103.3 | 13.4 | HASTA 250.00 |
| Aluminio | mg/L Al (III) | 0.02 | 0.11 | HASTA 5.00 |
| Nitritos | mg/L NO3 | 2.3 | 1.9 | HASTA 10.00 |
| Nitratos | mg/L NoO2 | 0.023 | 0.01 | HASTA 0.10 |

Nota: Fuente Propia.

Descripción: En color verde se presentan los datos que se encuentran dentro del requerimiento del decreto 1594. En color rojos se presentan los parámetros que se encuentra fuera de los límites de éste decreto.

5.4.3 Análisis Bacteriológicos

las aguas termales en su origen no son estériles, si no que tienen una población de microorganismos adaptados a sus características químicas y físicas. Sin embargo, son aptas para realizar aguas termales recreativas siempre que no presenten agentes peligrosos para la salud del usuario.

Los resultados de las pruebas Bacteriológicas realizadas a los afluentes se presenta en la Tabla 5-16

Tabla 5-16
Análisis bacteriológicos particulares

| | NACIMIENTO TERMAL | RÍO GUACHICONO |
|--|------------------------------|---------------------------|
| COLIFORMES TOTALES NMP/ml | 241.96 | 72.70 |
| ENSAYO CONFIRMATIVO PARA E. COLI NMP/ml | 5.46 | 1.89 |

Nota: fuente propia

En virtud de los resultados bacteriológicos, es válido interrogarse ¿por qué los resultados del nacimiento termal son mucho más altos que los obtenidos para el del Rio Guachicono, cuando el nacimiento termal no ha tenido ningún otro contacto con la superficie? Esta anomalía se debe a que el nacimiento termal tiene las condiciones perfectas en cuanto a temperatura para que los organismos microbiológicos se desarrollen más rápidamente; mientras que a temperaturas inferiores a 7°C los microorganismos reducen la velocidad a la que se reproducen.

CAPÍTULO 6

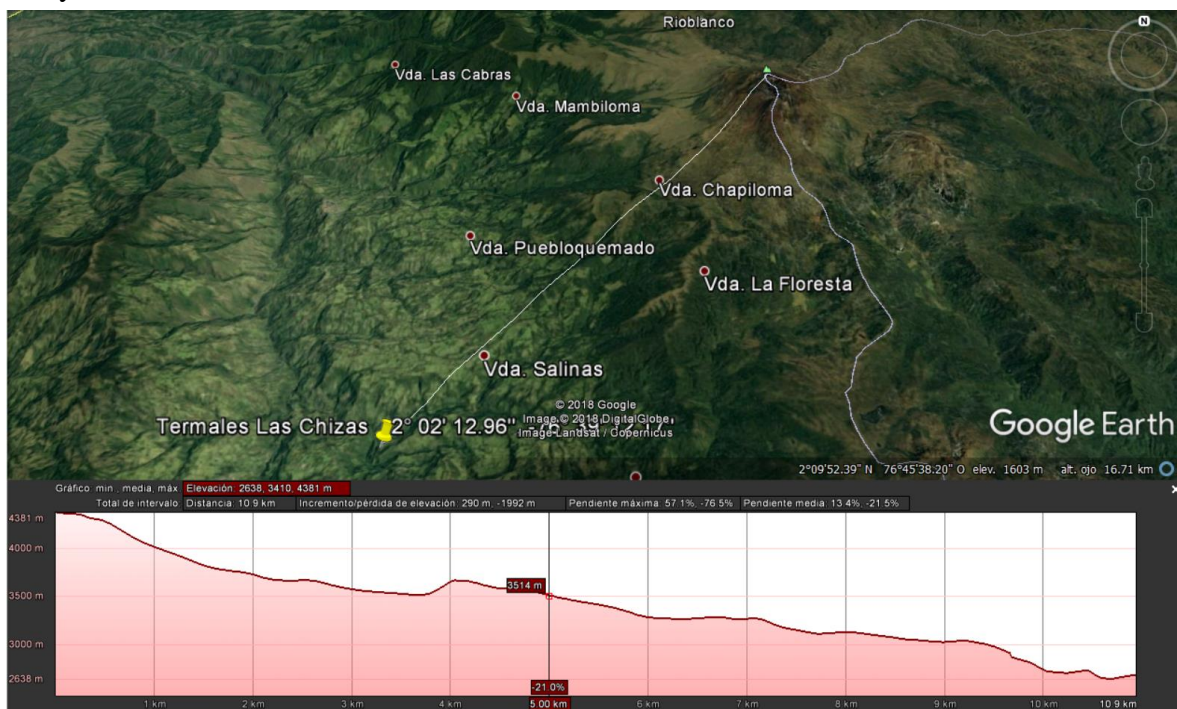
6 ANÁLISIS DE DATOS Y DISEÑO DEL PROYECTO FUENTE TERMAL RECREATIVA

Cada estudio realizado dentro de esta investigación contribuye a caracterizar una parte del afloramiento termal Las Chizas, pero la unión de éstos resultados brinda la oportunidad de cuantificar dichas características y enfocarla al uso geotérmico recreacional.

En este capítulo se presenta un análisis grupal de los resultados obtenidos en los ensayos geológicos, topográficos, geoestratigráficos e hidrológicos, para determinar parámetros concluyentes en el potencial recreacional TERMALES LAS CHIZAS (fase prefactibilidad)

6.1 DISTANCIA APROXIMADA DESDE EL VOLCÁN SOTARÁ HASTA EL NACIMIENTO LAS CHIZAS

Gracias a la georreferenciación exacta del lugar de estudio y haciendo uso de herramientas como Google Earth, se puede dar una aproximación de la distancia existente entre el afloramiento termal y el cráter del Volcán Sotará.



**Figura 6-1, Distancia entre el volcán Sotará y el nacimiento termal Las Chizas.
Fuente google Earth**

En la *Figura 6-1* se confirma la relación existente entre el punto de estudio y el volcán Sotará, ya que solo los separa una distancia aproximada de 10.9 km (en planta) y una diferencia de cotas de 1743m. Adicionalmente la pendiente negativa (en sentido Volcán-Las Chizas) logra, que por simple gravedad, se genere un flujo de posibles aguas subterráneas.

6.2 ORIGEN DEL NACIMIENTO TERMAL

Según el estudio geológico, la ubicación geográfica del punto del nacimiento, presenta una estratigrafía de depósitos de flujos piroclásticos, lodo y epiclastitas (NgQf). Su principal característica a simple vista es la presencia de rocas en afloramiento color gris y meteorizadas de un color amarillo pardo. Están conformadas principalmente por flujos de cenizas, tobas soldadas¹⁷ y flujo de lodos. Ésta composición indica que es suelo volcánico.

Las bajas resistividades encontradas en la geostratigrafía de la zona (*Figura 6-2*), indican la existencia de un acuífero semi-confinado que gracias al agrietamiento de la roca permite la subida del fluido a la superficie. La alta concentración de Cloruro es la evidencia química más fuerte de la existencia de una huella geotérmica en el agua de dicho acuífero; la baja concentración de sulfatos indica una alta probabilidad de que el agua no sea calentada por un vapor proferido, si no que sea producto de la interacción entre rocas volcánicas. Sin embargo, el agrietamiento de la roca también permite el descenso de fluidos, gran evidencia de esto es la alta alcalinidad del agua, ya que es un fuerte indicador de bicarbonatos asociados netamente a aguas superficiales.

En síntesis, se confirma la existencia de un acuífero de origen magmático, calentado por rocas volcánicas, donde gracias al proceso de dilución-concentración adquiere gran cantidad de cloruro como elemento traza¹⁸. El transporte de éste fluido hasta el punto de afloramiento es impulsado por la topografía de la zona y su ascenso a la superficie es permitido por las grietas de la roca que conforman el acuífero; sin embargo, éstas fisuras permiten el descenso de aguas superficiales, dando como resultado un nacimiento termal de agua mezclada.

¹⁷ Éste es un grupo especial, formado como resultado de la deposición por nubes ardientes de alta temperatura constituidas por material tobáceo (incluyendo pómez, lapilli, cristales, etc.) que estaba tan caliente en el momento de la deposición que los bordes de los fragmentos tendieron a soldarse, dando lugar a rocas con un aspecto bastante diferente al de las tobas normales

¹⁸ Entiéndase como elemento traza aquel elemento que no sufre grandes modificaciones desde que surge de su fuente

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

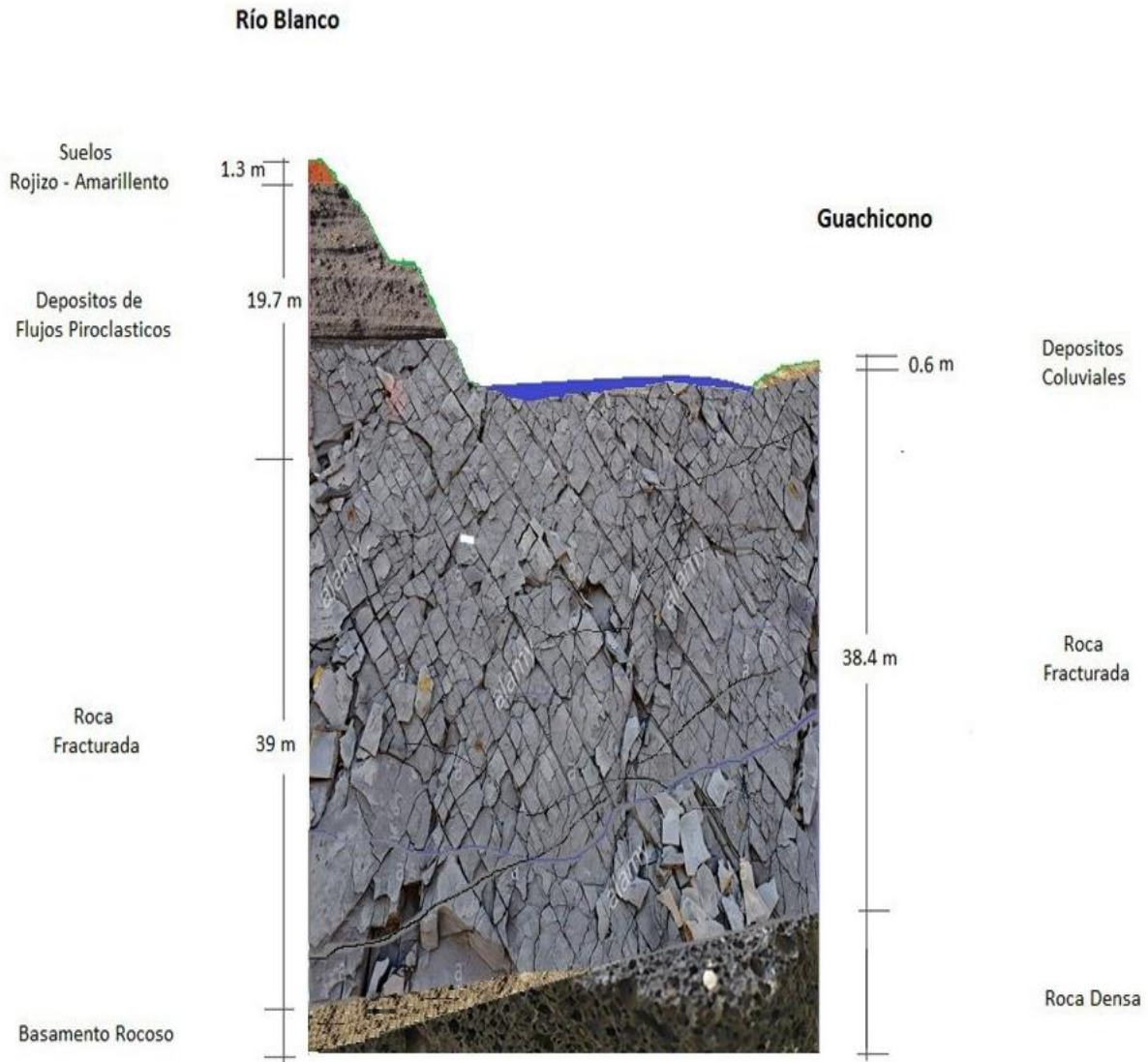


Figura 6-2, Geostratigrafia de la zona.
Fuente propia

6.3 CARACTERIZACIÓN DEL AFLORAMIENTO PARA USO RECREATIVO

Si bien es cierto que todas las características propias del afluyente termal son indispensables, en la Tabla 6-1 se traen a consideración aquellas que representan cierta importancia a la hora de caracterizar la fuente termal para uso recreativo.

Tabla 6-1
Caracterización termales Las Chizas

| | |
|-----------------------------|---------------|
| CAUDAL (L/s) | 0.84 |
| TEMPERATURA (°C) | 39.22 |
| CLASIFICACIONES | |
| Según su temperatura | Mesotermal |
| Según su sensación térmica | Caliente |
| Según se Ph | Ácida- básica |
| Según su Componente químico | Clorurada |

Nota: Fuente propia

Se hace necesario resaltar que las características del nacimiento son similares a los resultados obtenidos para Aguas Calientes y Aguas Amarillas, las únicas dos termales aledañas al volcán Sotará que tienen registro de estudios.

6.4 BENEFICIOS MEDICINALES

Dentro de los múltiples beneficios que brindan las aguas termales, el agua termal Clorurada se caracteriza por su importante efecto relajante, disminución de la hipertonia muscular, aumento del flujo sanguíneo y como efecto analgésico y anti-inflamatorio. Su aplicación por medio de duchas, chorros, baños y piscinas también aumenta las defensas de la piel y mucosas.

Adicionalmente este tipo de agua también se considera estimulante de funciones orgánicas de cultivos como césped, cebada, arroz entre otros.

6.5 PRE-DIMENSIONAMIENTO

Las dimensiones exactas de las piscinas a realizar dependen netamente de la decisión de la comunidad y los entes encargados, sin embargo, se presenta un Pre- Dimensionamiento con el fin de demostrar la viabilidad del proyecto.

Dentro de la normatividad colombiana no se establece el porcentaje diario de renovación de agua que debe tener una piscina de uso público, sin embargo, es usual utilizar dentro del diseño de una piscina convencional un porcentaje de renovación del 5%. Ya que el agua a utilizar no tiene ningún tratamiento previo se considera a criterio propio establecer un porcentaje de renovación diario del 15%.

De igual manera la pérdida ocasionada por bañistas se suele suponer de un 5% diario.

En este sentido, se debe considerar que como mínimo el caudal debe ser suficiente para aportar un 20% del volumen total de las piscinas diariamente.

La fuente termal cuenta con un aforo de 0.84L/s lo que equivale a 72.6m³ / día, considerando una perdida por evapotranspiración de 0.0017 m³ /día, se establece como caudal de diseño 72.5983 m³/día; ésta cantidad de agua es la que tiene disponible el nacimiento para ir renovando el fluido de las piscinas y para recuperar las pérdidas ocasionadas por bañistas. En consecuencia y con el fin de determinar un volumen máximo teórico para las piscinas, se realizan las siguientes relaciones:

$$72.6m^3 \rightarrow 20\% \text{ del volumen total de las piscinas}$$

$$Xm^3 \rightarrow 100\% \text{ del volumen total de las piscinas}$$

$$x = 72.6 \frac{m^3}{día} * \frac{100}{20} = 362.9m^3$$

En conclusión, el nacimiento termal es capaz de abastecer un volumen máximo teórico¹⁹ de 362.9m³ distribuido entre 1 o más piscinas sin ocasionar estancamiento de agua ya que repone un 15% diario, y sin perdidas notables del nivel de agua ocasionadas por bañistas.

¹⁹ Éste volumen se considera teórico ya que no se consideran perdidas por conducción de agua debido a que éstas están en función del dimensionamiento final de las piscinas (fase diseño)

Sin embargo, no se debe optar por dimensiones exageradas, ya que, a mayor masa de agua, mayor será la energía requerida para mantener la temperatura de la piscina.

La combinación de tamaños y cantidades de piscinas es infinita, sin embargo, es necesario evaluar nacimientos con características similares que son explotados a nivel turístico. Para no ir muy lejos, uno de los centros termales más antiguos y conocidos del Cauca, Aguas Hirviendo Coconuco, presenta un caudal similar al nacimiento en estudio²⁰. Éste centro balneario cuenta con 3 piscinas en funcionamiento, con un volumen acumulado entre ellas de 142m³ lo que corresponde a un 40% del volumen máximo establecido para éste proyecto. En este sentido un predimensionamiento válido, que además garantiza un caudal ecológico de 0.504 L/s y es funcional para el Centro Balneario Las Chisas puede ser la construcción de 3 piscinas con las siguientes dimensiones:

Piscina 1 (Principal) = 11m x 6.5m x 1.6m

Piscina 2 (Infantil) = 3.0m x 7.0m x 0.7m

Piscina 3 (Terapéutica)²¹= 10m x 1.5m x 0.7 m

6.6 TERRENO DISPONIBLE

El terreno perteneciente al cabildo indígena de Guachicono cuenta con una notable ventaja sobre el terreno del Municipio de Sotará, ya que cuenta con curvas de nivel más alejadas indicando una superficie con pendientes más suaves.

Se debe considerar que no hay acceso vehicular hasta la zona del nacimiento, por lo tanto, todo trabajo de nivelación del terreno se debe hacer por mingas²². Es por esta razón que se debe utilizar un terreno que no requiera de mucha nivelación.

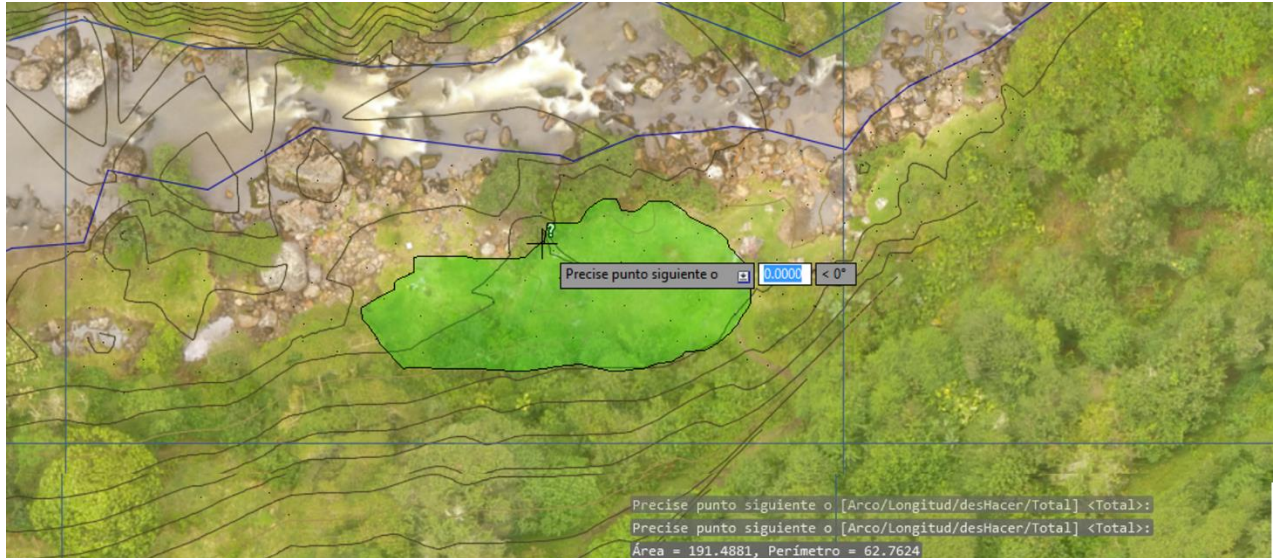
El terreno aprovechable para la construcción de las piscinas cuenta con un área aproximada de 190 m² (*Figura 6-3*) y tiene como ventaja adicional que es totalmente continuo al nacimiento termal, evitando pérdidas generadas por largos transportes.

²⁰ En el catálogo de fuentes termales del sur occidente colombiano se registra un Caudal para Aguas hirviendo- centro recreativo de 0.9L/s. Ver pág. 25

²¹ Éste es un espacio que se le brinda a los visitantes para que se puedan sentar y disfrutar de los beneficios de esta agua en cubículos individuales de aproximadamente 2 m de largo cada uno.

²² La minga es una expresión quechua, modelo de institución indígena andina que surge por decisión de la asamblea comunitaria, para dar solución a las necesidades de cada una de las comunidades mediante un trabajo solidario y colectivo, que requiere concurso de cada miembro de la comunidad, para que, igualmente, todos tengan reciprocidad en sus frutos. (Cabildo Indígena Yanacunas, 2005)

Si se toman como dimensiones las sugeridas en 6.5, el área ocupada por las piscinas sería de 107m² quedando espacio suficiente para el tránsito de los bañistas, baños y vestieros necesarios para el correcto funcionamiento del centro baleario.



**Figura 6-3. Área útil
Fuente Propia**

6.7 ALTERNATIVAS A NIVEL MACRO PARA LA EXPANSIÓN DEL PROYECTO

El origen del nacimiento termal brinda la posibilidad de realizar un proyecto a nivel macro. Para ello sería necesario una perforación de aproximadamente 25 metros de profundidad; esto con el fin de alcanzar el nivel del acuífero y extraer cuanto fluido se requiera para abastecer cualquier diseño a nivel de parque acuático.

Sin embargo, lo anterior implica una gran inversión no solo en la realización del proyecto, sino también en vías de acceso y adecuaciones del terreno.

CAPÍTULO 7

7 TRABAJO CON LA COMUNIDAD, SOCIALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

La caracterización geotérmica recreacional del nacimiento termal Las Chizas perteneciente al cabildo indígena de Guachicono-Municipio de la Vega Cauca, es una investigación pionera en este ámbito para cualquier zona aledaña al volcán Sotará. Debido a que sus resultados son de interés científico y Social, difundir de manera adecuada esta información, puede garantizar el apoyo total al proyecto por parte de la comunidad y el aporte invaluable de expertos en el tema a nivel internacional.

Para esto se han dispuesto recursos y herramientas creadas específicamente para este proyecto, que permiten la apreciación de los resultados y los esfuerzos aunados que han hecho posible esta investigación.

7.1 NOMBRE Y LOGO DEL PROYECTO

Con el fin de apropiarse a la comunidad con la investigación y que el proyecto tenga un fácil reconocimiento en cualquier ámbito, se buscó un nombre corto capaz de abarcar su esencia. Es aquí donde nace el título de “UN VOLCÁN INACTIVO, UNA COMUNIDAD ACTIVA”



Figura 7-1, Logo del proyecto.
Fuente propia

haciendo alusión al contraste existente entre la baja actividad registrada del volcán Sotará y el alto apoyo de la comunidad en cabeza del Gobernador Ancizar Tintinago.

De igual manera para que la identificación también sea de manera visual, se diseñó un logo que reúne características importantes del cabildo y del proyecto (*Figura 7-1*), tales como:

- La tierra: es considerada como la Pachamama (madre tierra), ya que es la base para el sostenimiento integral de los indígenas, donde se practican todas las actividades agrícolas según el domaje que se le pueda dar, regidos por la astronomía y las técnicas propias de labranza, sin alterar sus propiedades. Simboliza también el gran potencial hídrico, de fauna, flora y demás ecosistemas especiales que posee el territorio. Está representada por medio de la ilustración del volcán Sotará cobijado por un manantial termal y acompañado de campos verdes en su pie.
- El arco iris: representa la Wiphala Yanacona, bandera representativa donde cada color tiene un significado social y laboral.
- La ruana: es un elemento cuyo significado es el abrigo de cobertura general, en equidad y como símbolo de identidad.
- El bastón: lo porta uno de los cabildantes al pie del volcán, representa la justicia, autoridad y autonomía dentro del ámbito territorial. Los colores consignados en la parte superior pertenecen a la Wiphala y dan cuenta de los diferentes elementos representativos del entorno, la historia y las costumbres: el verde de la naturaleza; el rojo representa la sangre derramada por los mártires indígenas, por la defensa territorial y organizativa; el azul simboliza la riqueza hídrica; el amarillo hace alegoría a la riqueza de la energía que aportan sus dioses, tanto el sol como la luna, que es la que determina la producción y el desarrollo para la supervivencia indígena.



Figura 7-2, Entrega de camiseta del Proyecto al Gobernador Ancisar Tintinago.

Fuente propia

7.2 PAGINA WEB PARA EL CABILDO

(<https://resguardoindigena.wixsite.com/guachicono>)

Con el fin de lograr una amplia difusión y sobretodo que los pertenecientes al cabildo indígena tengan fácil acceso a la información correspondiente del proyecto en desarrollo, se creó una página Web específica y enfocada en la comunidad, su riqueza natural y su potencial turístico. (Toda la información histórica fue aportada por el Gobernador del Cabildo).

Adicionalmente, tiene como objetivo brindar la oportunidad de empezar a crear una base de datos histórica sobre los nacimientos termales encontrados en su territorio. Para ello se instruyó a personas pertenecientes al cabildo sobre el uso de las herramientas adquiridas para el seguimiento de la temperatura y el caudal. La comunidad tendrá la posibilidad de subir los registros a la página web y así poder llevar control sobre los afloramientos termales.



*Figura 7-3, Registro de Caudal y Temperatura por parte de la comunidad.
Fuente Propia*

La página se diseñó a partir de cuatro componentes principales; mi cabildo, pilares del resguardo, ubicación y termales. En los dos primeros se profundiza sobre todas las características que presenta el cabildo en sus diversos ámbitos, mientras que los dos últimos se refieren principalmente al proyecto de prefectibilidad, objeto de este estudio, y la localización del resguardo y sus termales. A continuación, se realiza una breve descripción de los elementos principales que componen la página.



*Figura 7-4, Presentación de la página web.
Fuente propia*

Mi Cabildo: Es el primer enlace que presenta la pagina, se creo con el fin de generar una idea inicial sobre el resguardo, su historia y su importante componente politico. Se explica como esta conformada su jerarquia Politica y como desarrollan sus formas de participacion ciudadana en el ambito regional y nacional.

Pilares del Resguardo: Aquí se puede acceder a mas información relacionada con la comunidad y se enfoca en cuatro sub pilares denominados; Pilar ambiental, Pilar cultural, Pilar economico y Pilar social (Figura 7-5). En estos pilares se describe de manera minuciosa el trabajo realizado a lo largo de los años por el resguardo, enfocado en el crecimiento y fortalecimiento de los diferentes ambitos, logrando así constituirse como una comunidad activa y proponente a diversos proyectos y actividades en pro de la colectividad. Es así como por ejemplo, se presenta en el pilar ambiental las riquezas hidricas, los ecosistemas y bosques, la flora, fauna, los problemas ambientales a los cuales se han encontrado expuestos y apartir de ellos las propuestas de conservación, siendo concientes del tesoro natural que los rodea y que habitan en el.



RESGUARDO INDÍGENA DE GUACHICONO

| | | | |
|------------|-----------|----------|-----------------------|
| Mi Cabildo | Ubicación | Termales | Pilares del Resguardo |
|------------|-----------|----------|-----------------------|



Figura 7-5, Enlace Pilares del resguardo.

Fuente propia

Ubicación: Este componente se creo especialmente para todos aquellos que aún no tienen la fortuna de conocer esta riqueza natural; Aquí, se explica de manera detallada los límites geográficos, la hidrografía, las vías de acceso al cabildo, e incluso se añadió un enlace de localización con la ayuda de la herramienta Google Maps.

Termales: Después de hacer un recorrido por la página y adquirir conocimientos previos sobre el resguardo y quienes cuidan de él, se presenta el componente que motivó la creación de la página Web. En este enlace se hace una breve contextualización sobre condiciones como temperatura, clasificación termal y beneficios medicinales de las piscinas termales. Posteriormente se muestra un enlace donde se redirecciona al proyecto ejecutado, el informe realizado, los resultados obtenidos y el registro fotográfico logrado durante este proceso. Es aquí donde se pretende empezar a formar la base de datos acerca de los datos de éste y otros nacimientos dentro del corregimiento.



Figura 7-6, Enlace Proyecto las Chizas.
Fuente propia

7.3 VIDEO INÉDITO

Es de destacar el amor y respeto que siente el pueblo Yanacona por la madre tierra y cada recurso natural que ella les brinda dentro de su territorio. Es por ello que se realizó un video con tomas inéditas de la travesía para llegar, la vista del pueblo y el recorrido al punto de investigación, donde se pueden apreciar cada una de esas riquezas y aún más importante demostrar que es posible que la ingeniería civil vaya de la mano con la madre tierra. El video que está animado con música autóctona del cabildo y es narrado por la belleza de sus paisajes, contextualiza la ubicación del proyecto dentro de Colombia y hace una invitación sin palabras a conocer y cuidar tan hermoso lugar. (Anexo H)

7.4 SOCIALIZACIÓN CON LA COMUNIDAD

Para entender de primera mano la situación actual de la zona de trabajo es necesario remontarse a la trágica historia que han vivido los pueblos indígenas en Colombia. Los primeros pobladores del Macizo Colombiano de quienes se tienen noticia fueron los Quillas, quienes habitaron los actuales municipios de La Vega, La Sierra, Sotará, parte de Bolívar, Sucre, Patía y Mercaderes. Según los arqueólogos los Quillas habitaron el Macizo desde hace 3000 años siendo una de las culturas más antiguas de Colombia. Mucho más adelante con la llegada de Sebastián de Belalcázar, muchos de los indígenas que les servían como cargadores y trabajadores, escaparon y se refugiaron con los pocos Quillas que quedaban. Es aquí donde nace el pueblo Yanakuna, posteriormente pasado a llamarse Yanaconas. Hay registros de su participación en la Guerra de Independencia, la Guerra de los Mil días y la bonanza de la Quina,²³ siempre con el ideal de defender sus tierras.

En el año 1991 en el Resguardo de Guachicono se inicia la época de la bonanza amapolera y con esto llega la invasión de personas foráneas, que traen como consecuencia conflicto social relacionado con el alto índice de violencia a causa del poder económico mezclado con el alcohol y las armas. Debido a esto en el año 1996 se determina la prohibición de las discotecas y venta y consumo de bebidas alcohólicas. Desde entonces la Justicia propia se ha encargado de hacer cumplir cada resolución dictada dando castigos que van desde trabajo social o noches en el calabozo, hasta juete o látigo.

En este contexto social es importante destacar que el acompañamiento a la comunidad inicia 2 años atrás con la idea de estudiar el potencial geotérmico del Cauca. Aunque la inexistencia de datos acerca de cualquier nacimiento termal perteneciente a Guachicono, y la falta de sistematización de datos del volcán Puracé por parte del Servicio Geológico Colombiano, no

²³ La bonanza de la Quina se dio por la construcción del canal de Panamá, ya que se requería grandes cantidades de este producto para curar a los enfermos de malaria que había en la construcción del canal; en diferentes zonas de Colombia se explotaron los árboles de esta planta medicinal que se daba al interior de las selvas, para lo cual se llevaron muchos indígenas Yanaconas quienes al regresar a sus resguardos enfrentaron múltiples conflictos con otras comunidades que habían tomado posesión de su tierra. Se cree que por esta época y relacionado con este desplazamiento se perdió la lengua Quechua que originalmente hablaban los habitantes de los resguardos Yanaconas.

permiten proceder con la investigación, la comunidad de Guachicono empieza a considerar la posibilidad de hacer un buen uso de su privilegiada posición geográfica²⁴.

Más adelante y con el apoyo de la Alcaldía municipal de La Vega Cauca, inicia la investigación del potencial geotérmico recreativo de un nacimiento termal en el resguardo indígena de Guachicono- fase perfectibilidad. A partir de este momento se empiezan a desarrollar los estudios pertinentes para lograr el objeto de la investigación.

Cada ítem planteado se socializó con el Gobernado de turno el Taita Ancizar Tintinago, con el concejal Santiago Jiménez y con el Jefe de planeación municipal el Ingeniero Jerson Adrián Campo Erazo. De igual manera cada visita de campo fue acompañada por el Gobernador, Cabildantes y representantes de la Junta de acción comunal de la vereda Alto de las Palmas, a la cual pertenece la zona de estudio.

Cuando se dio por concluido el trabajo de campo se expusieron los resultados, conclusiones y recomendaciones en la reunión anual de destinación de fondos del cabildo. En ella se encontraban como mínimo 3 representantes de cada vereda perteneciente al corregimiento, personal de la alcaldía municipal y comunidad en general. Se utilizaron herramientas visuales como diapositivas y el video inédito, se realizó un símil entre las condiciones encontradas en la zona y casos exitoso dentro del departamento, se hizo entrega de las herramientas adquiridas para el seguimiento de a fuente termal y se aclararon dudas.

Esta investigación siempre fue de la mano con la comunidad, poderles brindar la posibilidad de una nueva fuente de ingresos y estabilidad económica para un futuro cercano, hace que el apoyo hacia la continuidad del proyecto sea una realidad.

²⁴ Vale destacar que, como en todo el macizo colombiano, en esta zona persisten miedos constantes sobre invasión de multinacionales interesados en los recursos hídricos o de personas interesadas en la minería. Es por ello que durante este proceso también se dedicó tiempo a aclarar estas dudas.



Figura 7-7, Socialización de resultados con la comunidad.

Fuente propia

7.5 SOCIALIZACIÓN EN EL ÁMBITO CIENTÍFICO DEL PAÍS

Anualmente, dentro del marco investigativo de la geotermia en Colombia, se realiza la Reunión Nacional de Geotermia (RENAG). El desarrollo de esta investigación y sus



Figura 7-8, Tres instituciones del Cauca seleccionadas como ejemplo de investigación social.

Fuente propia.

particularidades lograron que la versión 2018 de RENAG, llevada a cabo en la ciudad de Bogotá, estuviese interesada en contar con el grupo investigador como ponentes en el evento principal.

Dicho evento que reunió expertos de Colombia, Filipinas, Nueva Zelanda, Canadá, Chile y el salvador, siendo esta investigación el único caso apartado de la zona centro de Colombia, brindó la posibilidad de difundir el proyecto a nivel internacional.

El trabajo con el cabildo, los resultados y los métodos utilizados fueron ejemplo a nivel nacional, ya que era la única investigación que contaba con la aprobación y apoyo de la comunidad directamente implicada.

Oportunidades como contar con el servicio de laboratorios del servicio Geológico Colombiano de la ciudad de Bogotá, poder enviar muestras para pruebas de inclusiones fluidas y gases difusos para Canadá, poder traer expertos de Chile a dar conferencias a la Universidad del Cauca y plantear la posibilidad de un RENAG Popayán 2020, es el aporte que deja esta investigación para impulsar el inicio a la Geotermia en el departamento del Cauca.



Figura 7-9, Ponencia en Reunión Nacional de Geotermia 2018.

Tomada de Ageocol

En el Anexo I se presenta la evidencia de la ponencia en RENAG 2108 (Paper enviado a la convocatoria, ponencia realizada y certificados de asistencia)

7.6 SOCIALIZACIÓN EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN

<http://www.unicauca.edu.co/versionP/noticias/investigaci%C3%B3n/investigaci%C3%B3n-de-unicauca-realiza-caracterizaci%C3%B3n-geot%C3%A9rmica-en-el-volc%C3%A1n-sotar%C3%A1>



Universidad del Cauca

Inicio Pregrado Posgrado Investigación Regionalización Diplomados y cursos Acerca de Unicauca

• Noticias y actualidad

Este en: Inicio > Noticias y actualidad > Investigación > Investigación de Unicauca realiza caracterización geotérmica en el Volcán Sotará

Noticias

Investigación - Mañes, Enero 13, 2019

Investigación de Unicauca realiza caracterización geotérmica en el Volcán Sotará

El proyecto de investigación liderado por estudiantes y un docente de la Facultad de Ingeniería Civil, en conjunto con el Cabildo Indígena de Guachicono y la alcaldía municipal de La Vega Cauca, fue reconocido como ejemplo de Trabajo Social Geotérmico.

Investigación de Unicauca realiza carac... Watch later Share

UniCauca

MORE VIDEOS

0:00 / 3:03 YouTube

Andrea Margarita Arteaga y Michelle Natalia Pabón estudiantes del programa de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, realizaron la caracterización geotérmica recreativa del nacimiento termal "Las Chizas", la cual contó con el apoyo del Cabildo indígena de Guachicono y la alcaldía municipal de La Vega Cauca, investigación que fue presentada como trabajo de grado denominado "Un Volcán Inactivo, una Comunidad Activa", dirigido por el docente Lucio Cruz.

"Se empezó con la idea de estudiar el potencial geotérmico del departamento del Cauca debido a que era un tema muy nuevo, fue así como el resguardo indígena de Guachicono se interesó por estudiar el potencial geotérmico recreativo de un nacimiento termal en su zona que nunca antes había sido identificado", indicó la estudiante Michell Natalia.



CAPÍTULO 8

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

1. Las características propias obtenidas del nacimiento termal poseen alto potencial geotérmico turístico. Su entorno natural, caudal constante, temperatura agradable y olor imperceptible, forman un conjunto muy completo de características idóneas para la utilización recreacional del agua termal. Es por ello que se le da paso a la continuación del proyecto en sus siguientes etapas. (estudios ambientales, mitigación de riesgo por el río Guachicono y diseño arquitectónico y estructural).
2. Por medio de los estudios realizados, se concluye que del nacimiento termal Las Chizas brota agua mezclada. Su temperatura elevada se debe a calentamiento mediante roca volcánica y algunas características indican su unión con agua superficial. Adicionalmente Se clasifica según su temperatura como mesotermal y caliente al tacto, según su pH como acida y según su componente predominante como clorurada. Dichas particularidades conforman la primera caracterización realizada a un nacimiento termal dentro del Resguardo indígena de Guachicono y la única, en los últimos 22 años, cercana a la zona de influencia del Volcán Sotará .
3. Se confirma la existencia de un acuífero semiconfinado, donde el agua se transporta por roca fracturada. Lo anterior implica la existencia de otros nacimientos termales en la zona, inclusive con mayor gradiente térmico, considerando la posibilidad de la ausencia de aguas superficiales.
4. Al realizar una comparación entre la distancia existente desde el Volcán Sotará hasta las termales Las Chizas y el Volcán Puracé hasta las termales Aguas tibias; es de destacar que presentan condiciones similares (*Figura 2-11* y *Figura 6-1*) . Esto confirma la influencia del volcán en la zona y presenta una idea de las condiciones del nacimiento basadas en uno de los casos de termales turísticas más exitosos del país.
5. No es necesario realizar un pre tratamiento al agua termal para uso recreacional, ya que, aunque algunos parámetros están por fuera de la norma no representan peligro para el uso recreativo. De igual manera la alta alcalinidad del agua contribuye a neutralizar los ácidos

ayudando a resistir cambios en el pH. Sin embargo, el agua no es apta para el consumo humano.

6. La zona beneficiada por el proyecto es bastante amplia; su realización innovaría en el sector turístico dentro del macizo colombiano y se convertirían en el primer centro balneario aledaño al volcán Sotará y el único en el sur del Cauca, siendo paso obligado para los habitantes del Municipio de La Vega y Municipios cercanos como La Sierra, San Sebastián, Santa Rosa, Almaguer y Sotará.
7. Las características propias de la zona son ideales para el desarrollo de actividad turística sin alterar el equilibrio del medio ambiente, es por ello que se le adiciona un plus a la localización del proyecto ya que presenta alto potencial eco turístico.
8. La utilización del recurso termal en favor del bienestar y salud pública de los seres humanos, impacta directamente en el desarrollo económico de la zona donde se realizan, trayendo beneficios inmediatos para el resguardo indígena de Guachicono y cada uno de sus cabildantes.
9. A pesar de que Colombia cuenta con una riqueza geotérmica gigante, no posee normas que reglamenten características propias de los centros balnearios termales, es aquí donde se abre una puerta a futuros investigadores que estén interesados en éste campo.
10. La zona sur occidente de Colombia posee gran potencial geotérmico, pero la centralización de investigaciones y laboratorios han impedido el avance de la geotermia en departamentos como Valle, Cauca y Nariño.
11. Es posible pensar en el desarrollo del potencial geotérmico del Cauca siempre y cuando se trabaje en unión con las comunidades. Gran ejemplo de trabajo social, lo da el país de Chile, los cuales se han preocupado por crear herramientas como aplicaciones interactivas en 3D, kits para los colegios y hasta publicidad por medio de grafitis. En la actualidad han logrado climatizar escuelas e invernaderos y están en proceso de construcción de su primera planta de energía Geotérmica.

8.2 RECOMENDACIONES

1. Los proyectos hidráulicos son de dos tipos: los proyectos que se refieren al uso del agua y los que se refieren a la defensa contra los daños que ocasiona el agua. Ésta investigación abarcó el primer tipo de proyecto ya que se realizaron los estudios necesarios para determinar si es posible emplear las aguas termales Las Chizas en un centro balneario. Sin embargo, el nacimiento está a escasos metros del río Guachicono, el cual según los estudios realizados no posee características de agua mineral o termal, por lo anterior y debido a que la zona apta para construcción del proyecto queda de igual manera cercana al río, se recomienda hacer estudios hidráulicos y ambientales que brinden prevención contra los posibles daños que puede éste ocasionar.
2. Las propiedades químicas encontradas en el agua termal, tienen ciertas características que brindan beneficios orgánicos a cultivos de césped cebada y arroz. Pensar en reutilizar esta agua para riegos de parques o jardines dentro del proyecto del balneario, puede representar ciertas ventajas dentro del proyecto.
3. Debido a la falta de una normatividad colombiana que establezca límites en las propiedades bacteriológicas del agua termal para uso recreativo, se recomienda realizar una captación de fluido limpia y que garantice una zona libre de animales de por lo menos una Hectárea alrededor del nacimiento. Esto no evita la propagación de agentes bacteriológicos, ya que como se explicó anteriormente, el agua termal cuenta con las condiciones ideales para su reproducción, pero si reduce la probabilidad de adquirir agentes bacteriológicos nocivos para la salud.
4. Se debe evitar la sobre explotación del acuífero, para no alterar el equilibrio natural. Como se concluyó anteriormente las condiciones actuales del nacimiento son suficientes para el uso recreativo de la fuente. Por ende, se recomienda no recurrir a otros métodos de explotación.
5. Geoestratigráficamente se confirmó la existencia de un acuífero semi confinado el cual sube a la superficie por medio de roca fisurada. Aunque es una característica importante del nacimiento termal, no se puede determinar con certeza la cantidad de grietas ni su ubicación exacta. Es por esta razón que se recomienda tener especial cuidado con cada uno de los afloramientos termales ya que cualquier cambio en su estructura puede representar el desvío del nacimiento.

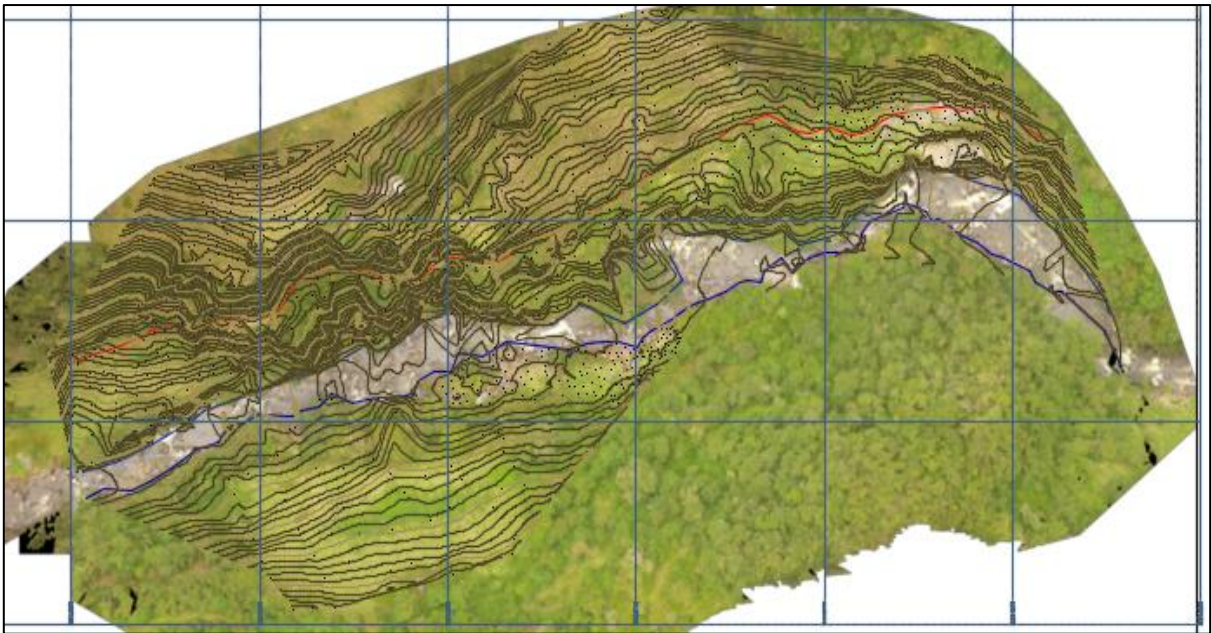
6. Es importante recordar que los acuíferos hacen parte del ciclo hidrológico del agua, en el que influyen directamente la cantidad de árboles en la zona. Por esto, se recomienda contar con planes de protección a la flora del cauce para garantizar que el sistema de flujo subterráneo del acuífero se mantenga.
7. Gracias a la gran cantidad de minerales presentes en el agua termal es inevitable la formación de algas termófilas, aunque se les atribuyen beneficios medicinales no resultan muy agradables a la vista y disminuye la fricción de la superficie de la alberca, representando un alto grado de accidentalidad. Es por esta razón que se recomienda realizar una limpieza total de las piscinas como mínimo 1 vez por semana. Ésta recomendación es igualmente válida para la pantalla contra el río Guachicono construida durante la realización de ésta investigación.
8. Debido a que no existe un registro de las peculiaridades del nacimiento termal, anterior al aquí presentando, se recomienda seguir un plan de control, periódico y sistematizado de características importantes como Temperatura, Caudal y estabilidad química. Para ello se hace entrega de los implementos adquiridos para la realización de este estudio, tales como termómetros (digital y análogo), cronometro, probeta y balde. Estos implementos brindan la posibilidad de hacerle seguimiento a otros afloramientos termales cercanos. Con el fin de sistematizar éstos registros y crear independencia para el Cabildo indígena de Guachicono, se diseñó una página Web capaz de crear una base de datos histórica con el seguimiento realizado y adicionalmente brinda la posibilidad de convertirse en un medio de difusión de noticias oficiales y acontecimientos propios del cabildo.

9 Referencias

- Alfaro, C., Velandia , F., & Cepeda , H. (2005). *Colombian geothermal resources. Proceedings Wolrd Geothermal Congress*. Turkey: Antalya.
- Arango, c., Dorado, J., Guzmán , D., & Ruiz , J. F. (2000). *IDEAM*. Obtenido de CLIMATOLOGÍA TRIMESTRAL DE COLOMBIA : <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9>
- Cabildo Indígena Yanaconas. (2005). *Wayna Minka Yanakuna*. Resguardo Indígena de Guchicono- Municipio de la Vega Cauca.
- CNN. (Septiembre de 2018). *CNN en Español*. Obtenido de <https://cnnespanol.cnn.com/video/terremotos-cinturon-fuego-oceano-pacifico-pkg-digital-original/>
- Galván Diego, A. (s.f.). *Curso SPT CiMEMOR - Resistividad* .
- Garzón Valencia, G. (1997). *Catalogo de Fuentes Termales del Suroccidente Colombiano*. IGEOMINAS.
- Gonzales Muñoz, L. J. (2008). *HIDROLOGIA* . Popayán: Universidad del Cauca.
- Gonzales, H. (s.f.). *Geología del cuadrangulo J-8, Sonsón. Informe N° 1704*. INGEOMINAS.
- Guerra, B. G. (2007). *Importancia de la temperatura del agua en las aplicaciones hidroterápicas*.
- Hernández P., O., & Alexander E., G. C. (2011). Integrated geophysical characterization of the thermal waters of the . *Geologia colombiana* , 57-72.
- Hubach, E. (1993). *Fuentes Termales del Departamento del Cauca*. INGEOMINAS.
- IDEAM. (1984). *Uso del agua y Residuos Líquidos . DECRETO 1594 DE 1984* .
- IDEAM. (2018). *CATALOGO NACIONAL ESTACIONES IDEAM*.
- Instituto Geológico y Minero de España. (Junio de 2010). *Instituto de Economía y competitividad de España*. Obtenido de *Las aguas minerales y termales a través de la historia*: <http://aguasmineralesytermales.igme.es/introduccion/aguas-minerales-termales-historia>
- Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales* . (2015). Obtenido de hidrotermales.sgc.gov.co

- León, A., Padilla, E., & Marulanda, M. (1973). *Geología, Recursos minerales y geoquímica de la parte NE del cuadrángulo 0.5*. Bogotá.
- Marzolf, N. c. (2015). *Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia*. Banco Interamericano de Desarrollo .
- Organismo supervisor de la inversión ene Energía y Minería . (2014). Perú .
- Orozco Dueñas, H. Y. (2014). *Topografía para estudiantes de ingeniería* . Popayán : Universidad del Cauca .
- Orrego, & Acevedo. (1984). *Geología de la plancha 364-Timbío, informe de publicación de ingeominas*. Bogotá. Obtenido de 1984.
- Pedraza , S., & Mariño Martínez, J. (2016). Thermal evaluation of 6 wells of the central part of the eastern cordillera (Colombia), from paleogeotherms: implications on thermal history and hydrocarbons. *Ingeniería y competitividad* .
- Reyes Secades, G. (2015). *Proyecto estudio en la caracterización Físico-Química y Microbiológica de aguas y lodos de pozos termales existentes en el país*. Venezuela .
- Ruelas Gómez , R. (s.f.). *Teoría y diseño de sistemas de tierras según las normas oficiales mexicanas (NOM) e IEEE*. León, México.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). Obtenido de <http://hidrotermales.sgc.gov.co/>
- Servicio Geológico Colombiano. (Noviembre de 2018). *Volcanes Monitoreados* . Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/volcanes/index.html>

Anexo B, Planos Topográficos



Anexo C, Manejo y procesamiento de datos en el programa IPI2WIN S.E.V 1

La determinación de las distancias empleadas en el campo correspondientes a AB/2, fueron asignadas y seleccionadas de acuerdo a plantillas del método de Schlumberger y a criterio de la empresa COREX S:A. Sin embargo, este estudio es válido y seguro para estratos a una profundidad máxima de 100m, ya que éste método aclarar su confiabilidad hasta una profundidad máxima de $AB_{m\acute{a}x}/3$.²⁵

En la tabla Tabla 10-1 se presentan los valores de AB/2 y la resistividad tomada en campo para el S.E:V 1

Tabla 10-1
Datos obtenidos en campo S.E.V 1

| AB/2 (m) | Resistividad (Ω/m) |
|-----------------|---|
| 1.59 | 227 |
| 2.5 | 240 |
| 4 | 70 |
| 6 | 40 |
| 8 | 31 |
| 10 | 29 |
| 12.5 | 28 |
| 16.25 | 27 |
| 20 | 25.7 |
| 25.5 | 26.3 |
| 30 | 26.4 |
| 40 | 30 |
| 50 | 36 |
| 60 | 43.75 |
| 75 | 60 |
| 100 | 90 |
| 150 | 140 |

Nota: Fuente propia

Con los datos obtenidos en campo se procede a graficar la curva de resistividad aparente mediante el software libre IPI2WIN.

En primera instancia se introducen al programa, en un nuevo documento, los datos obtenidos en campo *Figura 10-2*, los cuales arrojan como resultado la curva aparente de resistividad *Figura 10-1*

²⁵ La distancia máxima comprendida entre electrodos AB corresponde al doble de la distancia empleada como L/2 (pág. 64) , por ende se entiende como la distancia AB a 300metros.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

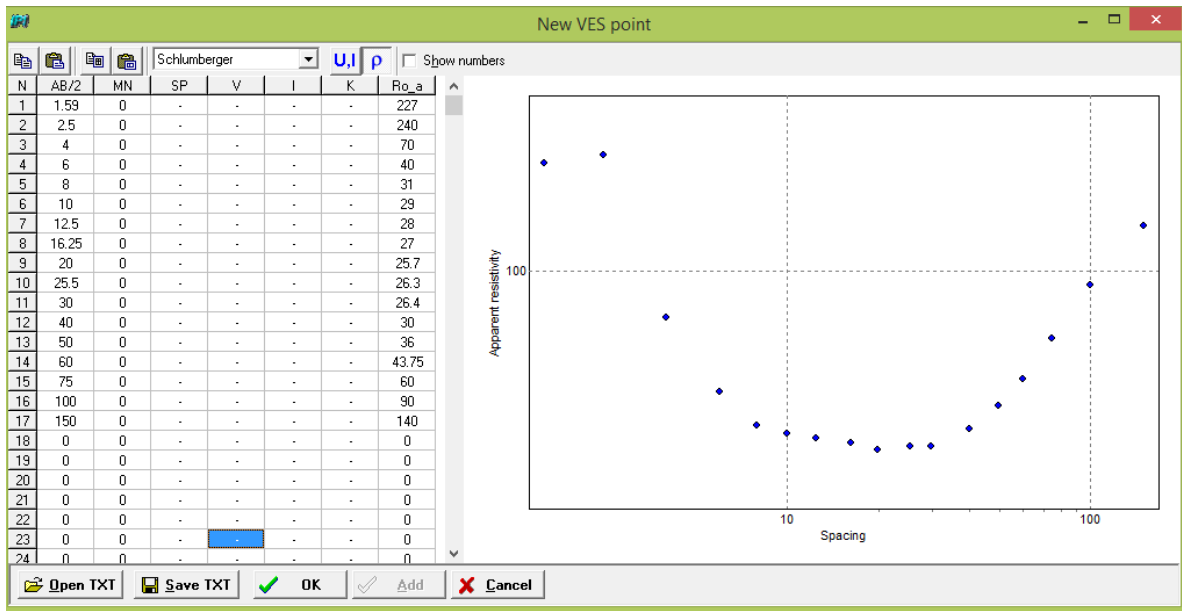


Figura 10-2, Inserción de datos
Fuente Propia

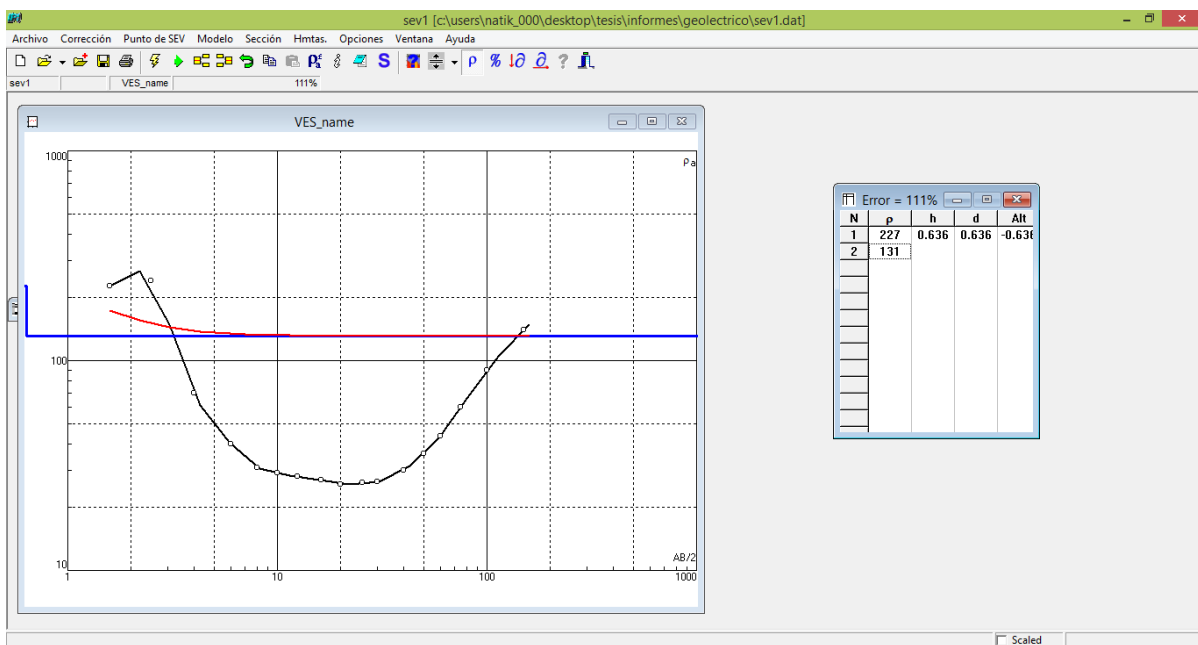


Figura 10-1, Curva de resistividad aparente sin ajustar
Fuente Propia

Sin embargo, es de anotar que la curva teórica (color rojo) difiere enormemente de la curva practica (color negro) lo que ocasiona un error de 111%.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

Es en esta instancia donde se debe ajustar la curva teórica lo más próxima a la curva práctica. Para lograr este objetivo el software IPI2WIN proporciona herramientas como la inserción de nuevos estratos o la eliminación de los mismos. En este sentido las curvas posibles presentan un sinnúmero de resultados (Figura 10-3). Sin embargo, se elige la curva correcta (Figura 10-4) y la relación resistividad-material adecuada (Tabla 4-6) por medio de los conocimientos aportados por COREX basados en la experiencia geológica y de confrontaciones con estratos de perforaciones geológicamente cercanas a la zona de estudio.

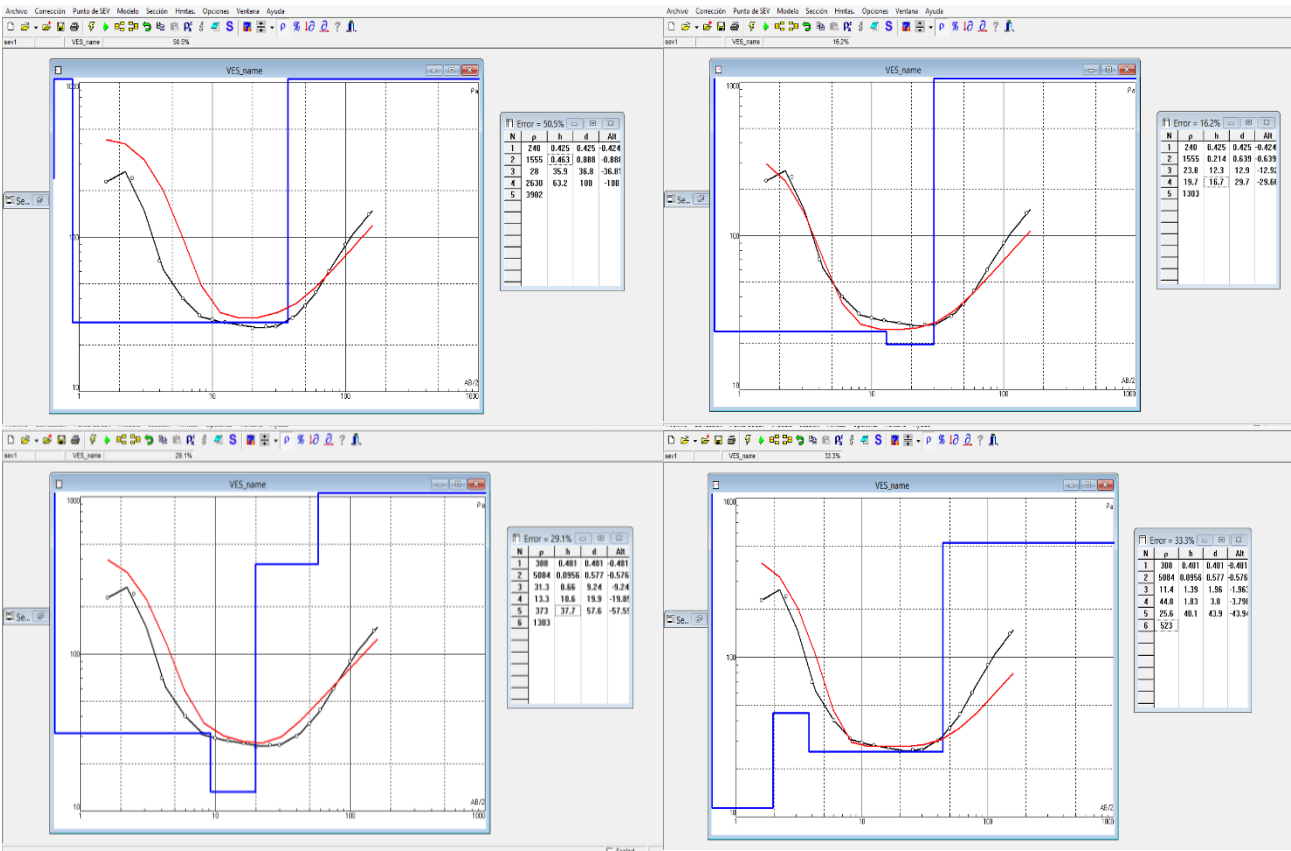


Figura 10-3, Ejemplos de Curvas patrón posibles
 Fuente propia

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

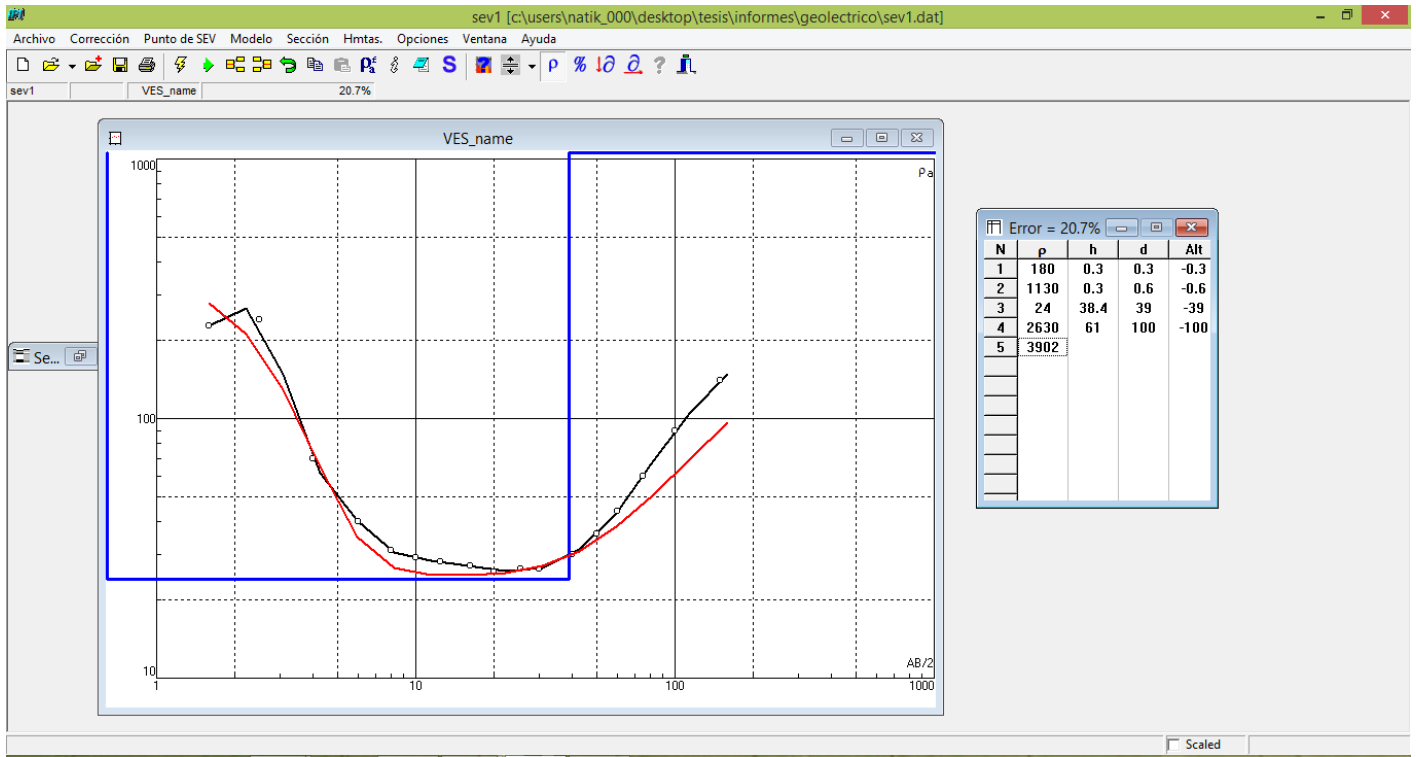


Figura 10-4, Curva de resistividad elegida S.E.V 1
Fuente Propia

Anexo D, Procesamientos datos IDEAM

El instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM), estableció en el año 1994 dentro municipio de La Vega, Resguardo Indígena de Guachicono, la estación 52020190 la cual registra la precipitación de la zona. Por solicitud del grupo investigador el IDEAM suministro el registro histórico de precipitación de las estaciones requeridas.

Tabla 10-2
Registro histórico de precipitación Estación Guachicono

| GUACHICONO | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| PRECIPITACIÓN (mm) ESTACIÓN 52020190 | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE | VR ANUAL |
| 1994 | | | | | | 209 | 58.3 | 407 | 250 | 194 | 355 | 272 | 1745.3 |
| 1995 | 31 | 76.2 | 130.9 | 133.8 | 56 | 43.8 | 34.3 | 29.3 | 19.7 | 102.5 | 105.3 | 102.4 | 865.2 |
| 1996 | 193.2 | 102.3 | 82.6 | 90.9 | 71.4 | 63.1 | 69.8 | 37.8 | 31 | 144.6 | 45.6 | 134.6 | 1066.9 |
| 1997 | 248.4 | 42.1 | 92.5 | 77.8 | 62.9 | 68.2 | 146.6 | 33.9 | 39.3 | 77.4 | 39.3 | 37.5 | 965.9 |
| 1998 | 15.4 | 61.4 | 57.8 | 21.8 | 118.6 | | | 61.2 | 25.8 | 129.6 | 196.2 | 72.3 | 760.1 |
| 1999 | 159.1 | 169 | 61.7 | 107.3 | 80.9 | 33.4 | 44.7 | 28.7 | 121.5 | 109.1 | 229.2 | 215.2 | 1359.8 |
| 2000 | 263 | 115.8 | | | | | 57.4 | 84.4 | 75.5 | 67 | 117.3 | 80.1 | 860.5 |
| 2001 | 53.2 | 64.8 | 56.9 | 38.7 | 43.2 | 85 | 42.7 | 52.6 | 51.1 | 57.7 | 131.2 | 101.2 | 778.3 |
| 2002 | 74.7 | 56.8 | 69.5 | 147.5 | 63.8 | 90.4 | 69.2 | 70 | 38.1 | 148.2 | 55.4 | 117.7 | 1001.3 |
| 2003 | 53.4 | 77 | 119.1 | 74.5 | 53.2 | 32.1 | 86 | 14.3 | 36.9 | 125.2 | 158 | 139.6 | 969.3 |
| 2004 | 152.3 | 26.7 | 81.4 | 114 | 29.2 | 118.5 | 53.3 | 38.3 | 18.9 | 198.2 | 184.8 | 123.7 | 1139.3 |
| 2005 | 129.7 | 103.4 | 78.8 | 66.1 | 76.5 | 47.8 | 52.4 | 36.2 | 54.9 | 179.2 | 137.5 | 204.1 | 1166.6 |
| 2006 | 130.6 | 45.1 | 120.9 | 127.6 | 56.3 | 105.6 | 63.3 | 24.1 | 15.7 | 120.3 | 111.4 | 118.2 | 1039.1 |
| 2007 | 21.7 | 56.6 | 92.7 | 146.8 | 46.6 | 85.3 | 25.5 | 60.1 | 14.4 | 234.4 | 154 | 231.1 | 1169.2 |
| 2008 | 195.2 | 193.8 | 176.2 | 105.7 | 148.4 | 40.9 | 33.4 | 31.9 | 30.6 | 113.1 | 284 | 223.1 | 1576.3 |
| 2009 | 96.6 | 65.2 | 52.9 | 73.9 | 41.9 | 58 | 79.6 | 52.3 | 20.4 | 94.1 | 73.2 | 54.5 | 762.6 |
| 2010 | 2.8 | 72.7 | 14.3 | 180.5 | 168.6 | 65.6 | 92 | 17.8 | 38.5 | 162.4 | 183.5 | 166.2 | 1164.9 |
| 2011 | 70.8 | 183 | 175.3 | 238 | 162 | 78.3 | 118 | 39.9 | 50.8 | 224.9 | 191.4 | 208.9 | 1741.3 |
| 2012 | 149.5 | 81.3 | 61 | 158.2 | 25.9 | 20.1 | 80 | 62.5 | 33.9 | 113.2 | 80.3 | 132.7 | 998.6 |
| 2013 | 27.1 | 76.2 | 71.8 | 67.1 | 63.5 | 42.5 | 113.9 | 50.8 | 19.7 | 118.5 | 333 | 117.7 | 1101.8 |
| 2014 | 114.6 | 70.5 | 146.2 | 35.1 | 183.4 | | 74.6 | 106.5 | 59.4 | 61.8 | 222.9 | 145.5 | 1220.5 |
| 2015 | 58.5 | 69.2 | 52 | 53.3 | 38 | 140 | 94.4 | 73.3 | 54.2 | 59.9 | 137.9 | 6.1 | 836.8 |
| 2016 | 64.7 | 37.2 | 94.8 | 78.1 | 66.6 | 118.7 | 71 | 36.2 | 91.4 | 64.4 | 125.8 | 94 | 942.9 |
| 2017 | 179.1 | 71.6 | 203.5 | 99.7 | 176.1 | 67.5 | 168.7 | 81.7 | 24.3 | | | | 1072.2 |

Debido a que en la Tabla 10-2 se presentan datos faltantes (casillas en color rojo) se recurre al registro de una estación cercana con datos semejantes y registro para los periodos faltantes. La estación que cumple con dichas características es la estación 52020020 ubicada dentro del municipio de la vega, resguardo indígena de Pancitrá desde el año 1971. Para efectos prácticos en la se presenta el registro desde el año 1994.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

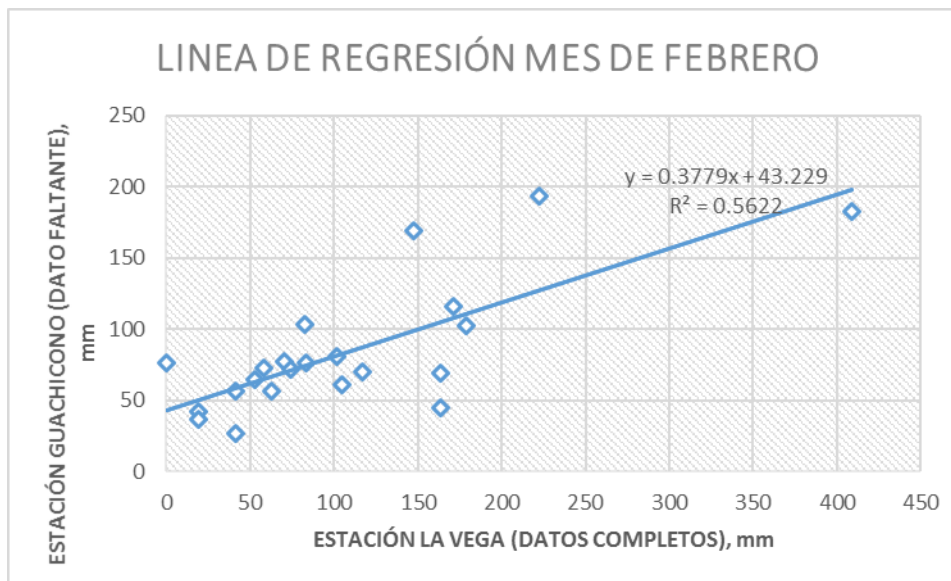
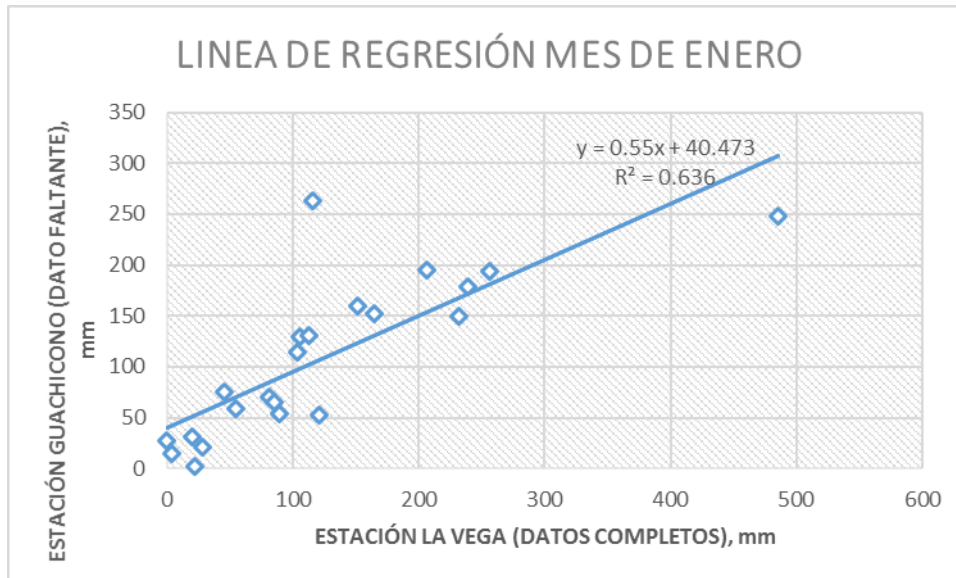
Tabla 10-3
registro histórico estación Pancitará

| LA VEGA | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PRECIPITACIÓN (mm) estacion 52020020 | | | | | | | | | | | | |
| AÑO | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE |
| 1994 | 196.9 | 95.1 | 164 | 128.1 | 40.4 | 8.4 | 10.9 | 26.1 | 137.7 | 245.1 | 217.3 | 168.5 |
| 1995 | 20.3 | 83.3 | 151.1 | 186.4 | 33.9 | 35.4 | 29.8 | 64.7 | 2.4 | 189.7 | 213 | 74 |
| 1996 | 256.3 | 179.2 | 221.7 | 127.3 | 64.5 | 110.3 | 39.4 | 15.3 | 9.9 | 118 | 68 | 142.4 |
| 1997 | 486 | 19.2 | 170.5 | 65.4 | 37 | 77 | 8.7 | 2.9 | 57.3 | 133.6 | 189.1 | 71.7 |
| 1998 | 3.8 | 104.7 | 104.8 | 66.6 | 71.2 | 12.8 | 9.7 | 28.4 | 12.3 | 100.7 | 257.7 | 68.2 |
| 1999 | 150.9 | 147.5 | 66.6 | 84.7 | 55.8 | 47.8 | 8.1 | 1.5 | 107 | 139.9 | 245 | 227.7 |
| 2000 | 116 | 171.5 | 45.1 | 58.2 | 40 | 31.8 | 23.8 | 22.4 | 50.7 | 77.7 | 104.3 | 62.7 |
| 2001 | 121.1 | 53 | 75.7 | 43.8 | 18.4 | 17.4 | 7.2 | 5 | 6 | 45.1 | 140.8 | 89.9 |
| 2002 | 45.3 | 41.2 | 36.7 | 125.6 | 94.7 | 133.1 | 46.3 | 4.7 | 80.5 | 173.2 | 54.6 | 154.6 |
| 2003 | 89.2 | 70 | 137.3 | 136.1 | 16 | 25.2 | 13 | 0 | 60.6 | 149.6 | 151.9 | 156.2 |
| 2004 | 164.7 | 41.4 | 74 | 217.9 | 89.1 | 14.9 | 4.3 | 14.1 | 46.9 | 211.5 | 199.4 | 142 |
| 2005 | 105.4 | 82.6 | 106 | 60.5 | 61.4 | 0 | 6.8 | 62.5 | 29.3 | 194.2 | 259 | 188.9 |
| 2006 | 112.2 | 163.7 | 124.3 | 193.2 | 20.9 | 99.7 | 8 | 5.5 | 4.2 | 34.3 | 109.7 | 57.2 |
| 2007 | 28.1 | 62.8 | 30.9 | 109.9 | 33.4 | 27.1 | 5.4 | 24 | 1.8 | 235.5 | 182.7 | 217.9 |
| 2008 | 206.4 | 222.7 | 116.4 | 296 | 317.2 | 24.4 | 0 | 3 | 9.2 | 139 | 117.8 | |
| 2009 | | | | 93 | 68 | 26 | 8 | 24 | 62 | 189 | 191 | 155 |
| 2010 | 22 | 58 | 12 | 276 | 199 | 58 | 113 | 9 | 36 | 350 | 254 | 226 |
| 2011 | 81 | 409 | 193 | 309 | 194 | 44 | 96 | 16 | 24 | 343 | 270 | 246 |
| 2012 | 232 | 102 | 100 | 183.3 | 2 | 0 | | 0 | 2 | 173.5 | 152 | 117 |
| 2013 | 0 | | | | | | | | | | | 129 |
| 2014 | 103.8 | 117.1 | 6.6 | 29.2 | 221.5 | 19 | 16.7 | 2.2 | 32.5 | 205.8 | 218.5 | 111.8 |
| 2015 | 54.3 | 163.2 | 165.5 | 76.8 | 9.6 | 15.4 | 13.3 | 2.7 | 4.9 | 70.1 | 223.5 | 0 |
| 2016 | 85.3 | 19.5 | 87.4 | 196.7 | 45.1 | 7.4 | 26.2 | 5.5 | 64.7 | 146.1 | 145.3 | 152.6 |
| 2017 | 238.9 | 74.2 | 207.5 | 70 | 168.5 | 98.6 | 21.4 | 6.1 | 32.4 | | | |

Mediante la utilización de una correlación lineal se establece una asociación estadística o gráfica, entre los datos de las dos estaciones, una de las cuales carece de la información pluviométrica para un periodo determinado. Los valores parciales de las dos estaciones se llevan a unas coordenadas cartesianas ajustando los puntos a una línea recta, cuya ecuación permitirá determinar la cantidad de precipitación en la estación faltante, conociendo el valor correspondiente de la otra estación para el mismo periodo. La existencia de una correlación lineal entre los datos, está en función del coeficiente de correlación de Pearson (R^2), el cual mide si los puntos tienen tendencia a disponerse en una línea recta. Aunque algunos autores consideran que existe regresión lineal moderada a partir de $R^2= 0.3$, en esta investigación se establece como coeficiente de correlación mínimo $R^2=0.5$.

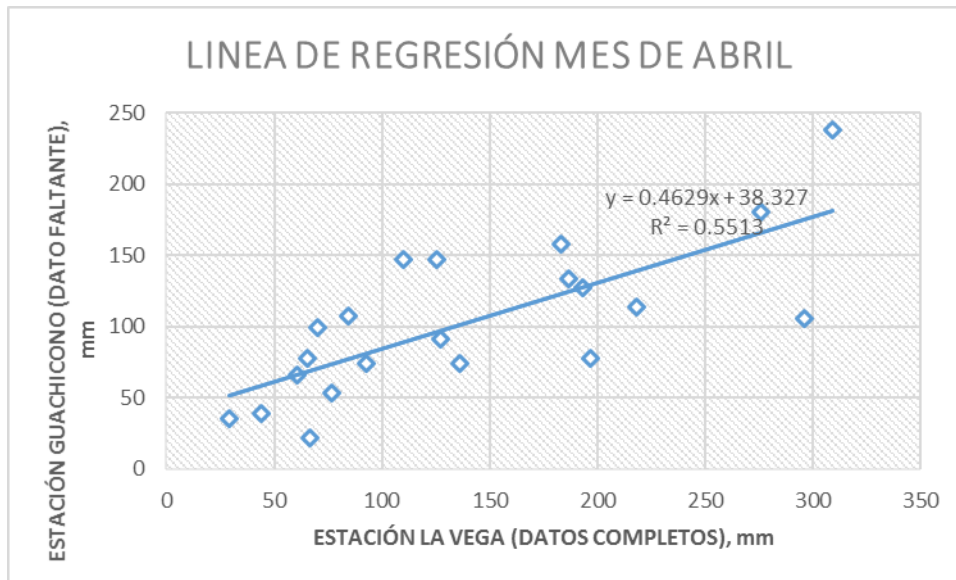
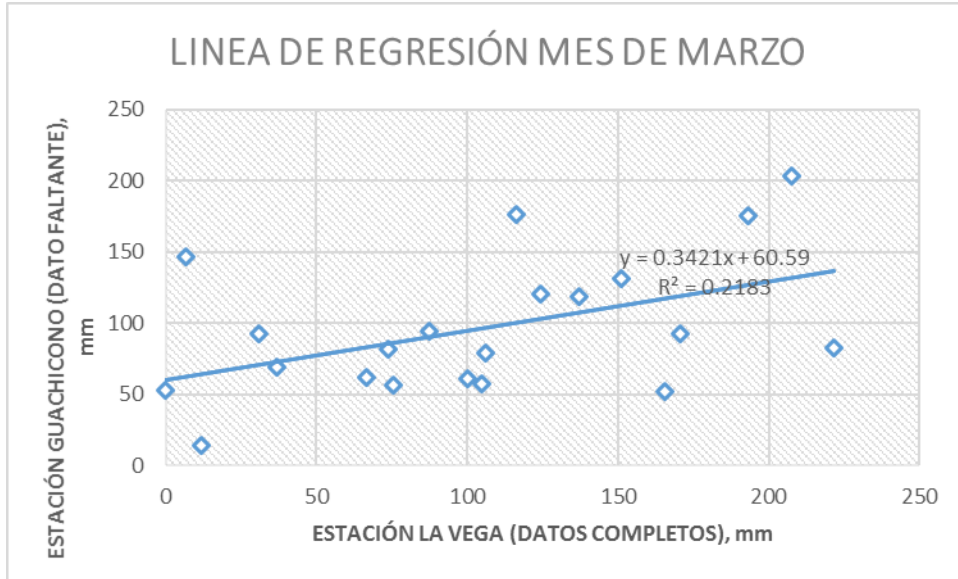
INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

En este sentido se procede a graficar los valores parciales de los meses enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y Julio.²⁶

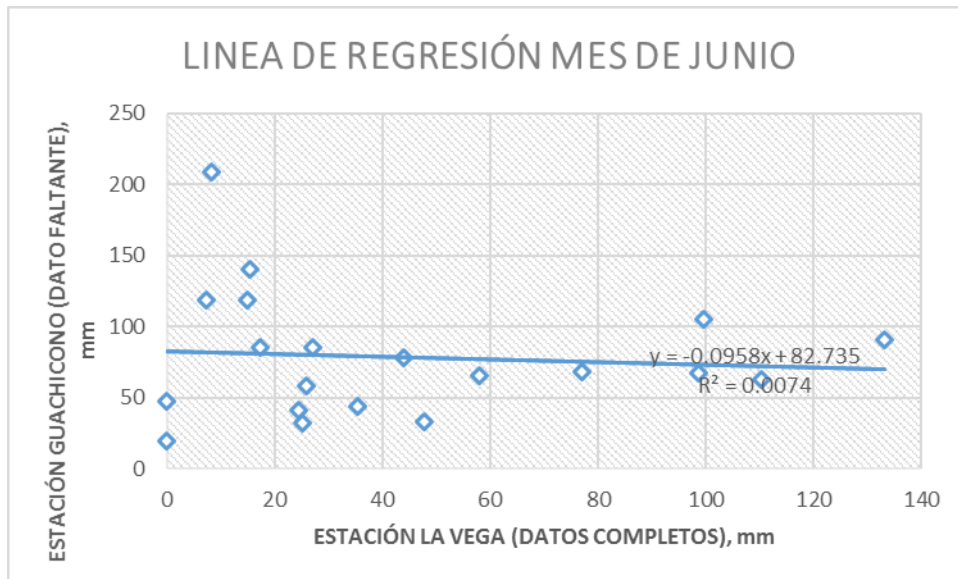
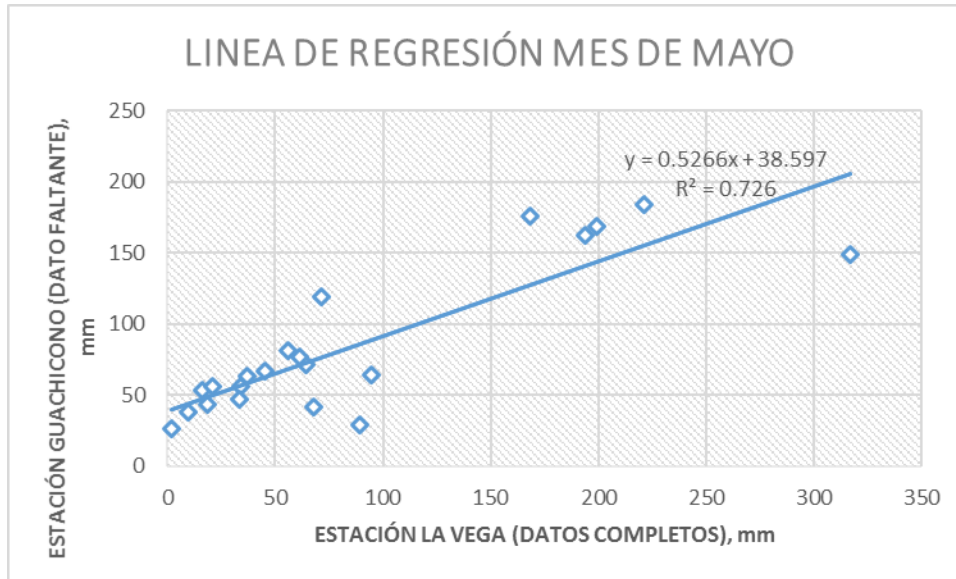


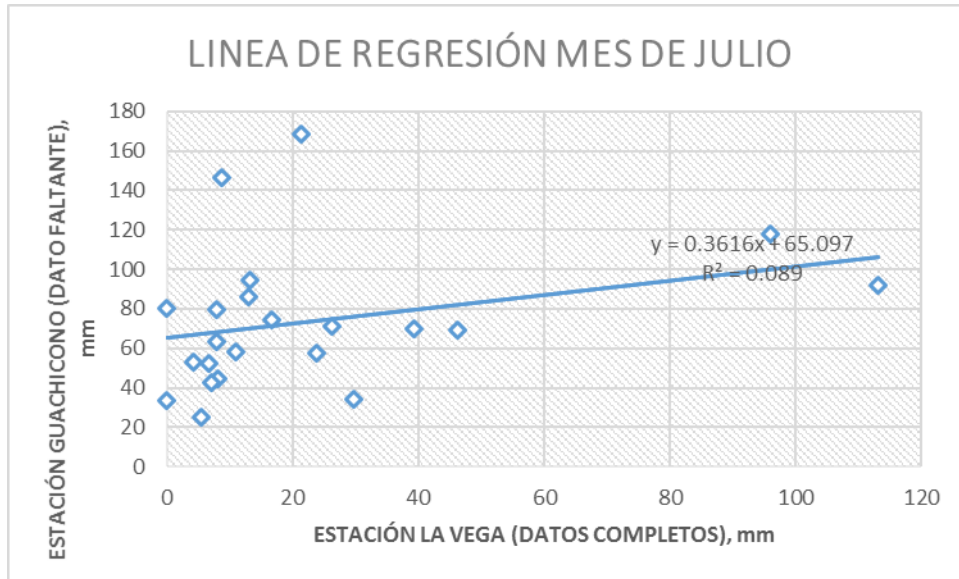
²⁶ Aunque en los últimos 3 meses del año también se presentan datos faltantes para el periodo de 2017, no se puede hacer regresión lineal ya que la estación 5202002 también carece de registro en este periodo.

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO



INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO





Las ecuaciones de los meses marzo, junio y julio son descartados ya que su coeficiente de correlación no alcanza el mínimo establecido

Para los meses de enero, febrero, abril y mayo se procede a remplazar X, en la ecuación propia de cada mes, con el valor de la precipitación de la estación de La Vega correspondiente al año faltante en la ecuación de Guachicono.

De esta forma se determinan gran parte de los datos faltantes para la estación de Guachicono. (Tabla 10-4)

Por último, se calcula el promedio aritmético para cada mes, sin considerar los datos faltantes y se procede a realizar el Climograma para la estación. (Figura 5-2 - pág 72).

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

Tabla 10-4
Serie correlacionada para la estación 52020190

| PRECIPITACIÓN ESTACIÓN 52020190 | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE |
| 1994 | 148.8 | 79.2 | | 97.6 | 59.8 | 209.0 | 58.3 | 407.0 | 250.0 | 194.0 | 355.0 | 272.0 |
| 1995 | 31.0 | 76.2 | 130.9 | 133.8 | 56.0 | 43.8 | 34.3 | 29.3 | 19.7 | 102.5 | 105.3 | 102.4 |
| 1996 | 193.2 | 102.3 | 82.6 | 90.9 | 71.4 | 63.1 | 69.8 | 37.8 | 31.0 | 144.6 | 45.6 | 134.6 |
| 1997 | 248.4 | 42.1 | 92.5 | 77.8 | 62.9 | 68.2 | 146.6 | 33.9 | 39.3 | 77.4 | 39.3 | 37.5 |
| 1998 | 15.4 | 61.4 | 57.8 | 21.8 | 118.6 | | | 61.2 | 25.8 | 129.6 | 196.2 | 72.3 |
| 1999 | 159.1 | 169.0 | 61.7 | 107.3 | 80.9 | 33.4 | 44.7 | 28.7 | 121.5 | 109.1 | 229.2 | 215.2 |
| 2000 | 263.0 | 115.8 | | 65.3 | 59.6 | | 57.4 | 84.4 | 75.5 | 67.0 | 117.3 | 80.1 |
| 2001 | 53.2 | 64.8 | 56.9 | 38.7 | 43.2 | 85.0 | 42.7 | 52.6 | 51.1 | 57.7 | 131.2 | 101.2 |
| 2002 | 74.7 | 56.8 | 69.5 | 147.5 | 63.8 | 90.4 | 69.2 | 70.0 | 38.1 | 148.2 | 55.4 | 117.7 |
| 2003 | 53.4 | 77.0 | 119.1 | 74.5 | 53.2 | 32.1 | 86.0 | 14.3 | 36.9 | 125.2 | 158.0 | 139.6 |
| 2004 | 152.3 | 26.7 | 81.4 | 114.0 | 29.2 | 118.5 | 53.3 | 38.3 | 18.9 | 198.2 | 184.8 | 123.7 |
| 2005 | 129.7 | 103.4 | 78.8 | 66.1 | 76.5 | 47.8 | 52.4 | 36.2 | 54.9 | 179.2 | 137.5 | 204.1 |
| 2006 | 130.6 | 45.1 | 120.9 | 127.6 | 56.3 | 105.6 | 63.3 | 24.1 | 15.7 | 120.3 | 111.4 | 118.2 |
| 2007 | 21.7 | 56.6 | 92.7 | 146.8 | 46.6 | 85.3 | 25.5 | 60.1 | 14.4 | 234.4 | 154.0 | 231.1 |
| 2008 | 195.2 | 193.8 | 176.2 | 105.7 | 148.4 | 40.9 | 33.4 | 31.9 | 30.6 | 113.1 | 284.0 | 223.1 |
| 2009 | 96.6 | 65.2 | 52.9 | 73.9 | 41.9 | 58.0 | 79.6 | 52.3 | 20.4 | 94.1 | 73.2 | 54.5 |
| 2010 | 2.8 | 72.7 | 14.3 | 180.5 | 168.6 | 65.6 | 92.0 | 17.8 | 38.5 | 162.4 | 183.5 | 166.2 |
| 2011 | 70.8 | 183.0 | 175.3 | 238.0 | 162.0 | 78.3 | 118.0 | 39.9 | 50.8 | 224.9 | 191.4 | 208.9 |
| 2012 | 149.5 | 81.3 | 61.0 | 158.2 | 25.9 | 20.1 | 80.0 | 62.5 | 33.9 | 113.2 | 80.3 | 132.7 |
| 2013 | 27.1 | 76.2 | 71.8 | 67.1 | 63.5 | 42.5 | 113.9 | 50.8 | 19.7 | 118.5 | 333.0 | 117.7 |
| 2014 | 114.6 | 70.5 | 146.2 | 35.1 | 183.4 | | 74.6 | 106.5 | 59.4 | 61.8 | 222.9 | 145.5 |
| 2015 | 58.5 | 69.2 | 52.0 | 53.3 | 38.0 | 140.0 | 94.4 | 73.3 | 54.2 | 59.9 | 137.9 | 6.1 |
| 2016 | 64.7 | 37.2 | 94.8 | 78.1 | 66.6 | 118.7 | 71.0 | 36.2 | 91.4 | 64.4 | 125.8 | 94.0 |
| 2017 | 179.1 | 71.6 | 203.5 | 99.7 | 176.1 | 67.5 | 168.7 | 81.7 | 24.3 | | | |
| PRECIPITACIÓN MENSUAL | 110 | 83 | 95 | 100 | 81 | 77 | 75 | 64 | 51 | 126 | 159 | 135 |

Anexo E, Medición de Caudal en campo

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 1 de Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 4:49 Pm | 3.36 | 3 |
| | 3.18 | 2.8 |
| | 3.67 | 3.1 |

OBSERVACIONES: _____

HORA DE TOMA: _____ TIEMPO (SEGUNDOS): _____ VOLUMEN (m³): _____

FECHA: _____

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 3 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 7:36 Am | 7.12 | 6.1 |
| | 10.64 | 9 |
| | 11.59 | 9.8 |

OBSERVACIONES: _____

HORA DE TOMA: _____ TIEMPO (SEGUNDOS): _____ VOLUMEN (m³): _____

FECHA: _____

Rio Normal Tanque limpio

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 5 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 4 Pm | 4.15 | 3.5 |
| | 6.63 | 5.8 |
| | 6.10 | 5.2 |

OBSERVACIONES: _____

HORA DE TOMA: _____ TIEMPO (SEGUNDOS): _____ VOLUMEN (m³): _____

FECHA: _____

Rio Normal

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 7 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 11 Am | 3.87 | 3.2 |
| | 7.49 | 6.2 |
| | 10.07 | 8 |

OBSERVACIONES: _____

HORA DE TOMA: _____ TIEMPO (SEGUNDOS): _____ VOLUMEN (m³): _____

FECHA: _____

Rio Normal Tanque Vacio

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 9 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 7 Am | 9.64 | 7.4 |
| | 8.59 | 7.8 |
| | 12.22 | 9.72 |

OBSERVACIONES:

HORA DE TOMA

Día Escorado

NOTIEMEN (m³)

FECHA:

Tanque bacinado
Rio Normal

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 11 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 8:30 Am | 6.02 | 6.03 |
| | 8.10 | 6.4 |
| | 11.02 | 8.8 |

OBSERVACIONES:

HORA DE TOMA

Día Noviembre 6paco

NOTIEMEN (m³)

FECHA:

Rio Normal
Tanque bacinado

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 13 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 7:31 Am | 8.20 | 9.8 |
| | 7.81 | 9.2 |
| | 8.89 | 10 |

OBSERVACIONES:

HORA DE TOMA

Tanque bacinado

NOTIEMEN (m³)

FECHA:

Día Escorado
Rio Normal

SEGUIMIENTO CAUDAL FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA:

| HORA DE TOMA | TIEMPO (SEGUNDOS) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| | 9.21 | 8 |
| | 9.94 | 8 |
| | 9.28 | 9.14 |

OBSERVACIONES:

HORA DE TOMA

TIEMPO (SEGUNDOS)

NOTIEMEN (m³)

FECHA:

Anexo F. Resultados estudios químicos

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P.
 NIT 891.500.117-1
 NUIR 1-19001000-1 SSPD

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P
 ANALISIS QUÍMICO NIT 891.500.117-1
 NUIR 1-19001000-1 SSPD

F.CEP.016 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS (PARTICULARES) V 4.0

REGISTRO No 4417

| | |
|--------------------|--------------------------|
| DEPARTAMENTO | CAUCA |
| MUNICIPIO | LA VEGA |
| REMITENTE | NATALIA PABON CHAVEZ |
| FECHA DE TOMA | AGOSTO 28 DE 2018 |
| FECHA DE ANALISIS | AGOSTO 28-29 DE 2018 |
| RECOLECTADO POR | |
| FUENTE | RIO SALINAS |
| PUNTO DE CAPTACION | RIO SALINAS - GUACHICONO |
| HORA | 01:00 p.m. |

INFORME DE LABORATORIO

| | | |
|---|--------|--------|
| COLIFORMES TOTALES EN 100 ml. | 7270,0 | <1 NMP |
| ENSAYO CONFIRMATIVO PARA E. COLI EN 100 ml. | 189,0 | <1 NMP |

NOTA: LA MUESTRA ANALIZADA PRESENTA CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS DE AGUA CRUDA. PARA CONSUMO HUMANO REQUIERE DESINFECCION.


NATALY GUZMÁN ESCOBAR
 Bacterióloga

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No1615 del 15 de Mayo de 2015 Ministerio
 Tel:(28) 32 64 08 FAX:(2) 824 20 14 - 824 04 66 www.acueductopopayan.com.co

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.
NIT 891.500.117-1
NUIR 1-19001000 -1 SSPD

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARTICULARES
AGUA CRUDA

REGISTRO N°. R 4417

F.CEP.003 V 5.0

PROCEDENCIA: **LA VEGA**
FUENTE: **RIO SALINAS**
ANÁLISIS SOLICITADO: **FÍSICO - QUÍMICO**
PUNTO DE CAPTACIÓN: **RIO SALINAS GUACHICONO**
ORDENADO POR: **NATALIA PABON**
RECOLECTADO POR:
FECHA DE TOMA: **27 de agosto de 2018**
HORA DE TOMA: **01:00 P.M**
FECHA DE ANÁLISIS: **28 de agosto de 2018**

| ANÁLISIS | CONCENTRACIÓN | DATOS EXPRESADOS EN | NORMAS M.S.P. Octo. 1594 de 1984 H ₂ O Cruda |
|-------------------|---------------|------------------------------------|---|
| Conductividad | 101,2 | µS/cm (Microsiemens / cm) | Hasta 1000 |
| Turbiedad | 3,66 | N.T.U. | ≤ 10 |
| Color Aparante | 53,6 | Unidades Platino Cobalto, UPC | ≤ 75 |
| pH | 7,3 | Unidades de pH | Entre 5,0 - 9,0 |
| Alcalinidad Total | 28,8 | mg/L CaCO ₃ | Hasta 200 |
| Dureza Total | 30,9 | mg/L CaCO ₃ | Hasta 300 |
| Hierro Total | 0,72 | mg/L Fe (II) | Hasta 5,0 |
| Sulfatos | 5,22 | mg/L SO ₄ ²⁻ | Hasta 400 |
| Cloruros | 13,4 | mg/L Cl ⁻ | Hasta 250 |
| Aluminio | 0,11 | mg/L Al (III) | Hasta 5,0 |
| Temperatura | 28 | Grados Centígrados (°C) | |
| Nitratos | 1,9 | mg/L NO ₃ ⁻ | Hasta 10,0 |
| Nitritos | 0,01 | mg/L NO ₂ ⁻ | Hasta 0,10 |
| SDT | 50,6 | mg/L | |

NOTA: LA MUESTRA TIENE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DENTRO DE LA NORMA DE AGUA CRUDA.

Carmen Lucía López Solís
CARMEN LUCÍA LOPEZ SOLIS
Química

NATALY GUZMÁN ESCOBAR
Bacteriología

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No 1615 del 15 de Mayo de 2015 "Planta de Tratamiento Tablazo" (28) 32 64 08 Conmutador. (28) 24 15 53 FAX: 24 20 14 - 24 04 66
Tel: (28) 32 64 08 FAX: (28) 24 15 53 www.acueductopopayan.com

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
 CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P.
 NIT 891.500.117-1
 NUIR 1-19001000 -1 SSPD

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P
 ANALISIS FISICO NIT 891.500.117-1 BLARES V 5.0
 NUIR 1-19001000 -1 SSPD

F.CEP.016 ANALISIS BACTERIOLOGICOS (PARTICULARES) V 4.0

REGISTRO No 4416

| | |
|--------------------|---|
| DEPARTAMENTO | CAUCA |
| MUNICIPIO | LA VEGA |
| REMITENTE | NATALIA PABON CHAVEZ |
| FECHA DE TOMA | AGOSTO 28 DE 2018 |
| FECHA DE ANALISIS | AGOSTO 28-29 DE 2018 |
| RECOLECTADO POR | |
| FUENTE | TERMAL GUACHICONO |
| PUNTO DE CAPTACION | NACIMIENTO TERMAL RESGUARDO INDIGENA DE GUACHICONO |
| HORA | 07:30 a.m. |

INFORME DE LABORATORIO

| | |
|--|--|
| | AGUA TRATADA FILTRACIÓN/MEMBRANA SUSTRATO DEFINIDO NORMA I.N.S. DCTO Nº 1675 - 05/2007 RESOL. 2115/06/2007 |
|--|--|

| | | |
|---|---------|--------|
| COLIFORMES TOTALES EN 100 ml. | 24196.0 | <1 NMP |
| ENSAYO CONFIRMATIVO PARA E. COLI EN 100 ml. | 546.0 | <1 NMP |

NOTA: LA MUESTRA ANALIZADA PRESENTA CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS DE AGUA CRUDA. PARA CONSUMO HUMANO REQUIERE DESINFECCION.


NATALY GUZMAN ESCOBAR
 Bacterióloga

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No1615 del 15 de Mayo de 2015 Ministerio
 Tel:(26) 32 64 08 FAX:(2) 824 20 14 - 824 04 66 www.acueductopopayan.com.co

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.
NIT 891.500.117-1
NUIR 1-19001000 -1 SSPD

F.CEP.003

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARTICULARES
AGUA CRUDA

V 5.0

REGISTRO N°. R 4416

PROCEDENCIA
FUENTE
ANÁLISIS SOLICITADO
PUNTO DE CAPTACIÓN
ORDENADO POR
RECOLECTADO POR
FECHA DE TOMA
HORA DE TOMA
FECHA DE ANÁLISIS

LA VEGA
TERMAL GUACHICONO
FÍSICO - QUÍMICO
NACIMIENTO TERMAL / RESGUARDO INDIGENA
NATALIA PABON

27 de agosto de 2018
01:00 P.M.
28 de agosto de 2018

| ANÁLISIS | CONCENTRACIÓN | DATOS EXPRESADOS EN | NORMAS M.S.P. Dcto. 1594 de 1984 H ₂ O Cruda |
|-------------------|---------------|------------------------------------|---|
| Conductividad | 7,8 | µS/cm (Microsiemens / cm) | Hasta 1000 |
| Turbiedad | 18,00 | N.T.U. | ≤ 10 |
| Color Aparante | 20,3 | Unidades Platino Cobalto, UPC | ≤ 75 |
| pH | 6,7 | Unidades de pH | Entre 5,0 - 9,0 |
| Alcalinidad Total | 1735,0 | mg/L CaCO ₃ | Hasta 200 |
| Dureza Total | 927,6 | mg/L CaCO ₃ | Hasta 300 |
| Hierro Total | 2,21 | mg/L Fe (II) | Hasta 5,0 |
| Sulfatos | 154,75 | mg/L SO ₄ ²⁻ | Hasta 400 |
| Cloruros | 1103,3 | mg/L Cl ⁻ | Hasta 250 |
| Aluminio | 0,02 | mg/L Al (III) | Hasta 5,0 |
| Temperatura | 17,3 | Grados Centígrados (°C) | |
| Nitratos | 2,3 | mg/L NO ₃ ⁻ | Hasta 10,0 |
| Nitritos | 0,023 | mg/L NO ₂ ⁻ | Hasta 0,10 |
| SDT | 3,9 | mg/L | |

NOTA: LA MUESTRA ANALIZADA TIENE LOS PARÁMETROS DE TURBIEDAD, ALCALINIDAD, DUREZA Y CLORUROS POR FUERA DE LA NORMA DE AGUA CRUDA.

Carmen Lucía López Solís
CARMEN LUCÍA LÓPEZ SOLÍS
Química

NATALY ORJEN ESCOBAR
Bacteriología

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No 1615 del 15 de Mayo de 2015 "Planta de Tratamiento Tablazo" (26) 32 64 08 Conmutador: (26) 24 15 53 FAX: 24 20 14 - 24 04 66
www.acueductopopayan.com

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No 1615 del 15 de Mayo de 2015 - Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social
Tel: (26) 32 64 08 FAX: (26) 24 20 14 - 24 04 66 www.acueductopopayan.com.co

Anexo G. Registro de Temperatura

| SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO | | | |
|--|------------------|------|------|
| FECHA: <u>19 Agosto - 2018</u> | | | |
| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
| 11:00 AM | 38.9 | 38.7 | 38.0 |
| | | | |
| | | | |
| OBSERVACIONES: <u>Día nublado con parano</u> | | | |

| SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO | | | |
|--|------------------|------|------|
| FECHA: <u>29 agosto 2018</u> | | | |
| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
| 8:30 AM | 40.9 | 41.1 | 40.6 |
| 12.4 PM | 36.6 | 37.5 | 36.5 |
| 4.3 PM | 41.0 | 41.4 | 41.4 |
| OBSERVACIONES: <u>Día Opaco</u> | | | |

| SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO | | | |
|--|------------------|------|------|
| FECHA: <u>30 Agosto 2018</u> | | | |
| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
| 9.15 AM | 36.02 | 30.1 | 37.7 |
| 12.12 PM | 39.1 | 37.1 | 37.1 |
| 4.25 | 41.9 | 41.2 | 40.9 |
| OBSERVACIONES: <u>Día Soleado</u> | | | |

| SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO | | | |
|--|------------------|------|------|
| FECHA: <u>28 Agosto 2018</u> | | | |
| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
| 9.15 AM | 39.7 | 39.6 | 39.6 |
| 1.32 PM | 42.8 | 42.7 | 42.8 |
| | | | |
| OBSERVACIONES: <u>Día Paraisado</u> | | | |

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 31 agosto 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 8:15 AM | 43.1 | 41.9 | 35.9 |
| 12:10 PM | 44.1 | 45 | 30.7 |
| 4:41 PM | 40.2 | 40.0 | 34.0 |

OBSERVACIONES: Día soleado

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 1 de septiembre

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 8:45 | 43.0 | 42.4 | 38.9 |
| 12:30 | 41.6 | 40.2 | 32.7 |
| 3:50 | 41.7 | 41.2 | 41.1 |

OBSERVACIONES: Día opaco

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 4 Septiembre 2.018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 8:30 AM | 43.3 | 42.6 | 42.0 |
| 12.15 PM | 43.3 | 43.1 | 39.7 |
| 4:40 PM | 42.1 | 39.8 | 42.6 |

OBSERVACIONES: Día Parameoso

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 5 Septiembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 9:00 AM | 43.2 | 42.1 | 43.1 |
| 12:30 | 43.7 | 38.3 | 39.1 |
| 4:30 | 38.9 | 37.3 | 37.1 |

OBSERVACIONES: Día soleado

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 6 Septiembre

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 9.45 | 39.8 | 39.4 | 38.8 |
| 12.30 | 41.7 | 40.6 | 39.8 |
| 4.30 | 42.6 | 42.2 | 42.4 |

OBSERVACIONES: Día Soleado

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 7 Septiembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 9.30 | 40.6 | 39.7 | 38.8 |
| 12.30 | 40.5 | 40.1 | 38.7 |
| 4.30 | 42.4 | 41.3 | 39.8 |

OBSERVACIONES: Día Soleado

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 8 Septiembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|-------|------|
| 9.00 AM | 42.3 | 40.00 | 38.8 |
| 12.00 PM | 41.6 | 39.8 | 39.7 |
| 4.30 PM | 40.4 | 39.9 | 39.6 |

OBSERVACIONES: Día Soleado.

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: _____

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: _____

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 5 - Octubre - 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 1:46 | 37.6 | 38.0 |
| | | |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Dia nublado - oscuro
 Se termino de lavar la salida del agua

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 6 octubre - 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|-------|
| 5:40 Pm | 105.1 | 100.0 |
| | | |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Se termino de adecuar algunas
 Tande nublada O Poca Filtros

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 7 - Octubre - 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|-------|
| 6: Pm | 101.1 | 102.1 |
| | | 100.1 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Tande nublada o poca

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 8 - Octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|-------|
| 4:20 Pm | 104.2 | 102.6 |
| | | 90.9 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Tande nublada o Poca

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 9 de octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|-------|
| 3:20 | 108.9 | 108-1 |
| | | 106-5 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Día lluvioso Muñedo
Rio Natural

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 10 de octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 5:20 | 96.8 | 95.0 |
| | | 96.5 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: tarde Muñedo Panamasa
Rio color amarillo

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 11 de octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 4:55 pm | 102.4 | 97.1 |
| | | 88.9 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: tarde Muñedo Panamasa
Rio Normal

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 12 de octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 7:51 am | 84.2 | 81.0 |
| | | 79.9 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: mañana Muñedo Panamasa
con espuma Rio normal

DMC

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 13 Octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 0 48 Pm | 79.7 | 79.0 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Rio Muisaca turbada
Rio Seco

DMC

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 14 Octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 05.05 Pm | 81.9 | 81.8 |
| | | 83.4 |
| | | |

OBSERVACIONES: Rio Muisaca despejado
Rio Muisaca

DMC

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 15 Octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|-------|
| 4 46 Pm | 108.7 | 108.9 |
| | | 102.4 |
| | | |

OBSERVACIONES: fosfo turbada turbosa
Tanque hacia la estufa de repelle

DMC

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 16 Octubre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|-------|
| 8 47 Pm | 108.4 | 109.4 |
| | | 110.8 |
| | | |

OBSERVACIONES: Rio turbada turbosa
Rio Seco Anarillo

ONM

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 10 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 4:30 PM | 42.7 | 40.6 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Tarde Muñada Paracas

Pio Masaval

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 11 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 7:30 AM | 42.8 | 38.1 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Dia Españado

Pio Masaval

ONM

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 12 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| 4 PM | 39.2 | 38.9 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Tarde Muñada

Pio Masaval

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 13 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | |
|--------------|------------------|------|
| | 39.3 | 38.9 |
| | | |
| | | |

OBSERVACIONES: Dia Españado

Pio Masaval

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 14 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 7:05 AM | 38.6 | 38.4 | 39.0 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Tanques hervido
Día Española
Rio Nacional

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 15 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 8:30 AM | 38.2 | 37.8 | 38.0 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Tanques hervido
Día Nublado
Rio Nacional

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 16 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 7:31 AM | 39.0 | 39.8 | 39.6 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Tanques hervido
Día Española
Rio Nacional

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: _____

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: _____

ONM

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 10 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 4:30 PM | 42.7 | 42.8 | 40.6 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Tarde Muñada Paracas

Pio Masaval

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 11 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 7:30 AM | 42.8 | 41.7 | 38.1 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Dia Españado

Pio Masaval

ONM

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 12 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 4 PM | 39.2 | 39.3 | 38.9 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Tarde Muñada

Pio Masaval

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 13 Noviembre 2018

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| | 39.3 | 40.6 | 38.9 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Dia Españado

Pio Masaval

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 14 Noviembre 2019

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 7:05 AM | 38.6 | 38.4 | 39.0 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Taques bañados
Día Español
Rio Normal

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 15 Noviembre 2019

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 8:30 AM | 38.2 | 37.8 | 38.0 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Taques bañados
Día Nublado
Rio Normal

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 16 Noviembre 2019

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|------|------|
| 7:31 AM | 39.0 | 39.8 | 39.6 |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Taques bañados
Día Español
Rio Normal

SEGUIMIENTO FUENTE TERMAL SALINAS GUACHICONO

FECHA: 17 Noviembre 2019

| HORA DE TOMA | TEMPERATURA (°C) | | |
|--------------|------------------|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

OBSERVACIONES: Taques bañados
Día Nublado
Rio Normal

Anexo H. Video Inédito

Anexo I, Evidencia difusión de resultados



UN VOLCÁN INACTIVO, UNA COMUNIDAD ACTIVA. COMUNIDAD INDÍGENA DE YANACONAS-GUACHICONO, CAMINANDO HACIA EL FUTURO, PROYECTO RECREATIVO SALINAS - FASE I.

Lucio Cruz¹, Michelle Pabón¹ y Andrea Arteaga¹

¹ Universidad del Cauca, lucruz@unicauca.edu.co

RESUMEN

La comunidad del Resguardo indígena de Guachicono, como muchas comunidades en el Cauca se prepara para los retos que se avecinan en el futuro, entre ellos el crecimiento de su población y por ende su sostenibilidad financiera. Particularmente, esta comunidad tiene un punto dentro de su resguardo donde existe una pobre fuente termal, a pesar de ello la comunidad persiste en el probable potencial que tuviera como proyecto recreativo (Proyecto recreativo Salinas). Se decide efectuar un estudio para determinar la factibilidad del sitio para aprovechamiento termal recreativo. Dentro de la metodología para el estudio, se incluyen mediciones de temperatura, calidad del agua, caudal y caracterización geológica-geotécnica. Los resultados obtenidos hasta el momento demuestran el desafío para configurar el proyecto, pero la comunidad persiste en continuar el estudio para encontrar alternativas de factibilidad total, debido al entorno natural y paisajístico del emplazamiento. Una de las conclusiones más importantes del avance del proyecto, es que mientras exista la voluntad de las comunidades involucradas (indígena), los proyectos de aprovechamiento termal, podrán finalmente configurarse aunque sea por medio de alternativas no convencionales.

INTRODUCCION

“En un principio, **Yana** era la noche, la oscuridad y ella cubría el universo completo porque no existía nada sobre la tierra. El Dios era **Wayya**, el viento, y sostenía la tierra con los soplidos y el Dios Inti, el sol, conciliaba el sueño al terminar el día. **Wayya** se encontraba muy preocupado por **Yana** entonces decidió soplar muy fuerte sobre los cabellos de Inti, para que ella se levantara y fijara su cuerpo sobre la tierra. Así, ella se iluminó y comenzó a calentarse. Con el calor, desde el fondo de la tierra surgieron los **Tayukus**, seres de vapor hembras y machos.” Es la historia que cuenta un cabildante Yanaconas para dar explicación al origen del imponente volcán Sotará.

La comunidad Yanaconas se refugia en la grandeza del Macizo Colombiano. El municipio de La Vega Cauca cuenta con el 24.24% de su población perteneciente a esta etnia. El corregimiento que más aporta a este porcentaje es el Resguardo indígena de Guachicono. Está localizado al sur-oriente del Departamento del Cauca; a 39 kilómetros al sur-oriente de la cabecera municipal La Vega y a 104 kilómetros de Popayán, capital del Departamento. Sus vías de comunicación y transporte son **carreterables**, caminos de herradura y telefonía satelital.



Este resguardo se estableció en la falda del volcán Sotará, se encuentra a 2670m.s.n.m y cuenta con una topografía accidentada, una geología inexplorada, fuentes hídricas impresionantes y una cultura arraigada.

Aunque el volcán Sotará esta categorizado como Activo no hay ningún registro de erupción histórica, su actividad actual se manifiesta por actividad sísmica y la presencia de campos **fumarólicos**. En el año 2016 presento actividad sísmica importante que fue asociada a eventos de fracturamiento de roca.



Figure 1, Resguardo Indígena de Rio Blanco

Sus nacimientos termales se encuentran entre los corregimientos de Rio Blanco- Sotará y Guachicono- La Vega. Estas fuentes son vírgenes y a éstas se les atribuyen poderes curativos para personas y animales.



Figure 2, Nacimiento salinas Rio Blanco

Por la influencia de la cultura hispana, la religiosidad yanacona es una tradición sintética que mezcla su tradición mítica con la religión católica. Su plan de salvaguarda implica ser una comunidad que se sirve mutuamente en el tiempo de la oscuridad.

ACERCAMIENTO CON LA COMUNIDAD

Llegamos a ellos hablando de energía geotérmica, de sus usos, cualidades y beneficios que podría traer a la comunidad. Debemos admitir que no nos cerraron sus puertas pero que el termino era demasiado apresurado para la comunidad. El reto había iniciado, contábamos con una comunidad curiosa pero temerosa.

En el Macizo Colombiano el miedo más tangible es que lleguen multinacionales y se “roben” sus recursos Naturales. La comunidad de Guachicono es consciente de los grandes recursos que a ellos

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO



les dio la **Pachamama**, es por esto que el primer miedo que sale y el primer rumor en formarse es que se van a llevar sus riquezas naturales. Desmentir este rumor ha sido muy complicado, su miedo ha llegado a tal punto que en algunas comunidades Yanacomas no permiten poner Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), por la simple argumento de que es con el fin de que una multinacional se lleve el agua.

Nosotros llevamos la idea de generar energía limpia, renovable y autosustentable a una comunidad donde muchas de sus veredas no se les proporciona red eléctrica. El objetivo era claro pero las dudas por lo novedoso del proyecto estaban muy marcadas.

En primera instancia nos tacharon de servidores de una multinacional que queríamos explotar sus territorios para nuestro bien y beneficio. Nos sirvió mucho conocer de su cultura y sus raíces para

explicarles desde el punto de vista de su comunidad los beneficios que conlleva la ubicación geográfica que poseen. En cuanto al tema ambiental persistían miedos en cuanto al agotamiento del recurso termal, en la llegada de muchos visitantes y el incremento de basuras, en la ocupación del territorio por plantas muy grandes y la sobre explotación de la zona.

Posteriormente se plantearon ideas menos alejadas de su comunidad, como los beneficios de la geotermia en la agricultura y piscicultura y la explotación turística y de recreación.

La información se les brindó, las preguntas se respondieron y la idea se dejó sembrada. Nuestro objetivo seguía siendo claro y la comunidad estaba entrando a sentir curiosidad por explorar sus territorios.

Algunos meses después, el Gobernador del Cabildo nos invitó a conocer su nacimiento termal.



Figure 3. primera visita-sobre vuelo con dron, nacimiento termal.

En la visita nos manifestó el interés de empezar a investigar sus recursos termales y con ello ir asegurando un futuro estable para su comunidad.

El proyecto se planteó bajo el objeto de "INVESTIGACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO RECREACIONAL DE UNA FUENTE TERMAL EN EL CAUCA-RESGUARDO INDÍGENA DE GUACHICONO-FASE PREFACTIBILIDAD". Este es impulsado y financiado por el resguardo indígena de Guachicono y la alcaldía Municipal de La Vega, Cauca.

Los retos crecieron al conocer que uno de los puntos fundamentales para la ejecución del proyecto sería tomar únicamente el nacimiento perteneciente a La Vega debido a que es un nacimiento que de por sí solo se considera pobre.

En este punto el entusiasmo de la comunidad había aumentado, confiaron en nosotros para dar ese primer paso en la geotermia y nos brindaron la oportunidad como grupo, de realizar una investigación donde nunca antes se había estudiado.

DESARROLLO Y METODOLOGÍA

El proyecto inicio en mayo del presente año y se espera acabar en el mes de octubre. Nuestras metas establecen los siguientes estudios:

- Estudió topográfico detallado de toda la zona
- Seguimiento biológico y químico a la composición del agua termal y del afluente cercano
- Estudios hidráulicos para la determinación del caudal existente

- Caracterización geológica de la zona con líneas de refracción sísmica y perforaciones

Con esas herramientas se desea determinar si la zona tiene potencial Geotérmico y ampliar su alcance creando pautas para otras comunidades que deseen dar ese primer gran paso.

Adicionalmente, con ayuda de la comunidad se está realizando un seguimiento constante a la temperatura de la fuente termal; Y al finalizar los estudios planteados se les hará entrega de los implementos adquiridos y una base de datos donde se almacene la información del nacimiento.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto a retos durante el proceso de investigación nos hemos encontrado con un afluente hídrico cercano (Río Salinas) con crecidas constantes, a tal punto de que ha invadido el nacimiento termal y alterado algunos resultados. El Salinas posee un gran caudal y aunque tiene elementos derivados del volcán su temperatura es de 2°C. Adicionalmente en esta zona encontramos



Figure 4. toma de temperatura por la comunidad

INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO



un nacimiento antiguo que está seco, lo que nos da una idea de lo delicado del trato a la fuente.

La comunidad se ha mostrado muy interesada en el proyecto, en aprender e informarse. Como ya se mencionó tienen a su cargo el seguimiento de temperatura a la fuente y registrar cualquier suceso anormal.

Durante el mes de agosto se realizaron distintas mediciones de la temperatura y se estableció como dato promedio 39°C. Según la literatura la temperatura óptima para una piscina climatizada a cielo abierto oscila entre 32°C-34°C.



Figure 5. registro de temperatura realizado por la comunidad

Aunque la verdadera incertidumbre está en si es suficiente la cantidad de agua naciente. Para ello se está realizando una obra de medición de caudal donde de igual manera será la comunidad quien se encargue de hacer el seguimiento.

CONCLUSIONES

Para noviembre de este año se espera tener listo el proyecto y compartir en RENAG 2018 los resultados de la investigación y el proceso completo, planteándonos la meta que para el año 2030 la comunidad indígena de Guachicono sea pionera en el uso del recurso geotérmico en el Cauca e impulsadora en Colombia y el mundo.

El entusiasmo de la comunidad y el deseo de convertirse en un pueblo sostenible en todos los sentidos, es lo que nos impulsa como investigadores a encontrar soluciones alternativas a los problemas presentados.

Colombia tiene una posición geográfica privilegiada y una topografía favorable ya que hacemos parte del Cinturón de Fuego del Pacífico.

Alrededor de nuestros volcanes se ubican comunidades indígenas ancestrales quienes tiene



como objeto salvaguardar los recursos naturales. Muchas veces ellos impiden el proceso de investigación de estas zonas debido a la desconfianza que se ha creado durante el desarrollo de la historia de nuestro país.

Como interesados en estudiar estas áreas debemos ser conscientes que lo primordial ante todo es contar con su apoyo, explicar y aclarar cada una de las dudas que se pueda generar durante el proceso y trabajar en conjunto para avanzar.

Invitamos a tomar como ejemplo la comunidad indígena de Yanaconas quien después de tener sus dudas claras fueron los que tomaron la iniciativa de empezar el proyecto.

Logrando interesar a mas comunidades en caracterizar sus riquezas naturales es como la Universidad del Cauca invita a que "CONSTRUYAMOS JUNTOS LA HOJA DE RUTA 2030 PARA EL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA EN COLOMBIA"

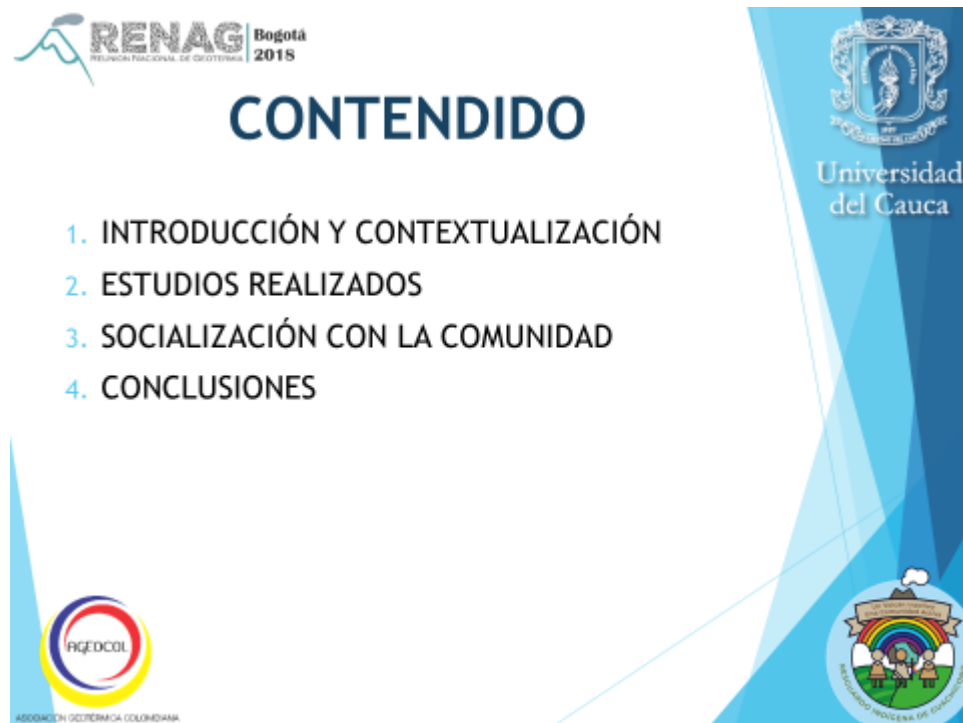
REFERENCIAS

Cabildo mayor Yanaconas. (2001). Proyecto integral de desarrollo pueblo indígena de Yanaconas. Programa de educación Yanaconas.

Ministerio de Cultura. (2016). Yanaconas reconstruyendo la casa. Obtenido de Caracterización de los pueblos indígenas de Colombia : <http://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Documents/Poblaciones/PUEBLO%20YANACONA.pdf>

Paz Anaconda, S. (29 de Mayo de 2015). Reseña histórica sobre el resguardo indígena de Guachicono.

Servicio Geológico Colombiano . (s.f.). Portal sserviceo Geologico Colombiano .



RENAG Bogotá 2018
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

Universidad del Cauca

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

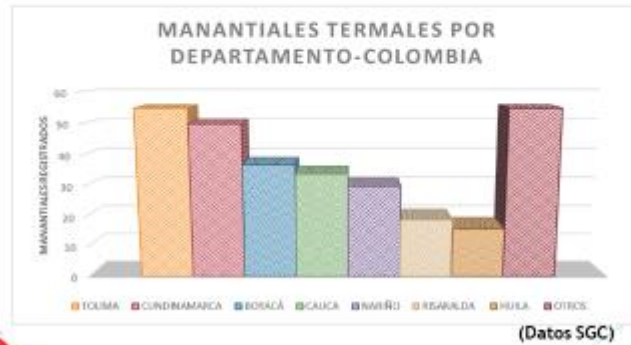
RENAG Bogotá 2018
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

UBICACIÓN DEL CAUCA EN COLOMBIA

Universidad del Cauca



¿Cuál es el departamento con mayor cantidad de nacimientos termales estudiados?



Universidad del Cauca



Termales en el Departamento del Cauca



VOLCÁN PURACÉ



VOLCÁN SOTARÁ.

(Fotos SGC)



NEVADO DEL HUILA.

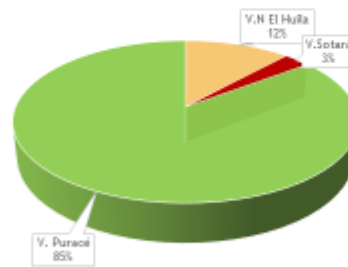


Universidad del Cauca





Distribución de manantiales termales en el departamento del Cauca caracterizados por el S.G.C. según el volcán más cercano



Porcentaje de Manantiales estudiados por el S.G.C según el Volcán más cercano. Fuente Propia, datos SGC.



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca



Experiencias previas - Inicio del interés de la Geotermia.

- ▶ Formulación del Proyecto “Cuantificación, del potencial geotérmico en el Cauca” en colaboración con el SGC”, estudio que solo se basaría en datos previos ya recopilados por el SGC.



- ▶ Apoyo total de 3 de las comunidades mas importantes aledañas a los volcanes Puracé y Sotará para la realización del estudio planteado.



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca



INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO



Universidad
del Cauca

Comentarios importantes de las comunidades indígenas del Cauca.





Solicitud de la comunidad de Guachicono

- ▶ Conocían del proyecto no concluido, habían conocido un poco de la geotermia.
- ▶ La comunidad de Guachicono, como otras comunidades en el Cauca, abre la posibilidad de estudiar alternativas para generar trabajo e ingresos al Cabildo y a su población.
- ▶ El Cauca en el proceso de PAZ, la ha apostado dentro de su plan de desarrollo al turismo.
- ▶ La comunidad de Guachicono históricamente ha tenido manantiales termales. Por esta razón le solicita a la Universidad del Cauca que realice, con un muy pequeño presupuesto, una pre-factibilidad de la zona para un desarrollo turístico.



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca



Condiciones necesarias para la explotación termal

En Colombia no existen normativas que establezcan parámetros para el uso recreativo de las fuentes termales. Sin embargo hay ciertas características que la fuente debe cumplir para garantizar seguridad y estabilidad a lo largo del tiempo:

- ▶ Cantidad de agua
- ▶ Temperatura agradable
- ▶ Disponibilidad de terreno



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca





RENAG Bogotá 2018
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA



Universidad del Cauca

2. ESTUDIOS REALIZADOS (CON PRESUPUESTO ASIGNADO)



ASOCIACION GEOTERMICA COLOMBIANA



UN GUACHICÓ INDÍGENA
POR COMUNITARISMO AVANZADO
REVISANDO INDÍGENA DE GUACHICÓN



RENAG Bogotá 2018
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

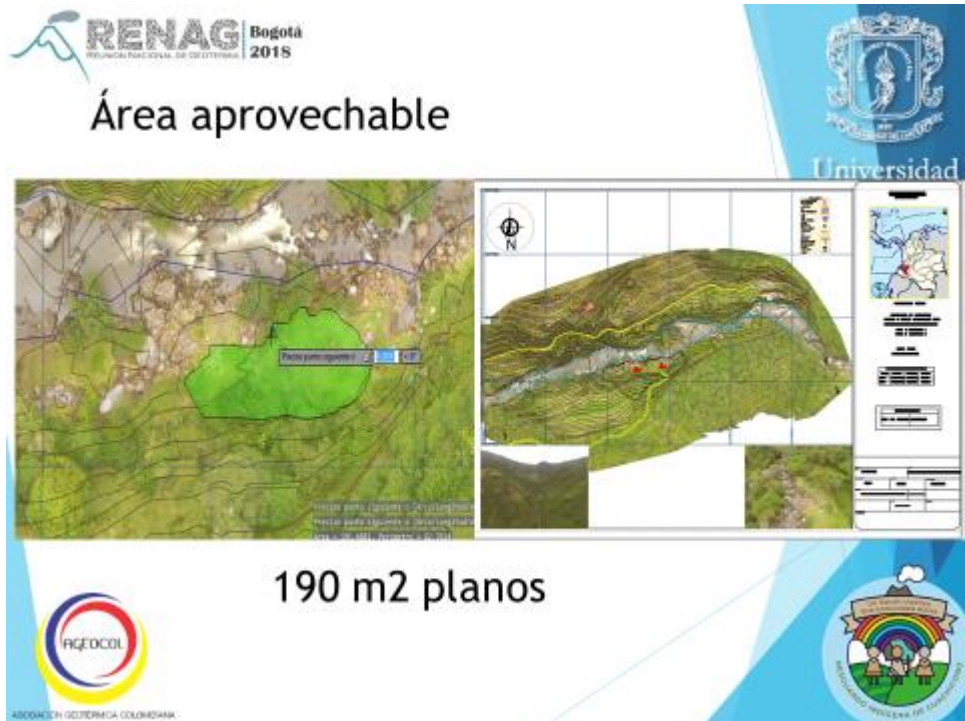
2.1 Estudios Topográficos



ASOCIACION GEOTERMICA COLOMBIANA



UN GUACHICÓ INDÍGENA
POR COMUNITARISMO AVANZADO
REVISANDO INDÍGENA DE GUACHICÓN



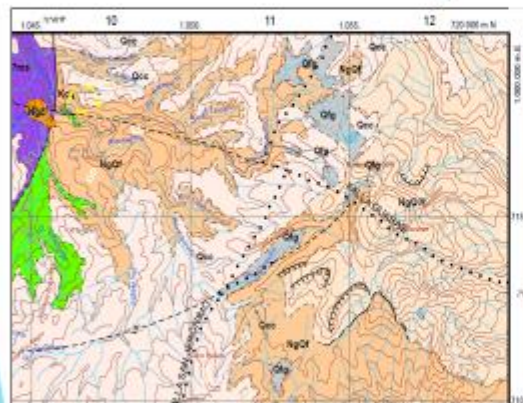
Área aprovechable



190 m2 planos



MAPAS GEOLÓGICOS EXPLIC.
 PLANCHA 387-BOLIVAR (SGC)



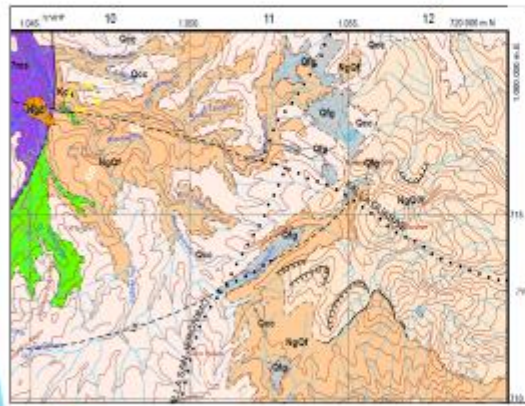
Como se puede observar en el acercamiento al mapa (Figura 6-2), El tipo de Entatografía que predomina es Qcc, NgQ, Qfg y Kq, Explicado Visualmente en la Figura 4-4.

- Depósitos paralicólicos de ceniza (Qcc)
- Depósitos de Bajos piroclásticos, de lodo y espaluzitas (NgQ, NgQc, NgQo) : Los depósitos de Bajos (NgQ), están conformados principalmente por flujos de cenizas y bloques con intercalaciones de flujos de cenizas, talas volcánicas y Bajos de lodo.
- Complejo Quindiguano (Kq). La unidad se compone de una sucesión Volcánica – sedimentaria de tefalíticas, arenitas hílicas, flujos de metadelta y un conjunto de sedimentitas conformadas por granitas, areniscas, limolitas, arcillas y cherts.





MAPAS GEOLÓGICOS EXPLIC PLANCHA 387-BOLIVAR (SGC)



ASOCIACIÓN GEOTERMICA COLOMBIANA

Cuando se puede observar en el acercamiento al campo (Figura 4-3), El tipo de Estratigrafía que predomina es Qcc, NgQ, Qf y Kc, Explicado Visualmente en la Figura 4-4.

- Depósitos piroclásticos de cenizas (Qcc)
- Depósitos de flujos piroclásticos, de lava y epiclásticas (NgQ, NgQf, NgQp) : Los depósitos de flujos (NgQf), están conformados principalmente por flujos de cenizas y lavas con intercalaciones de flujos de cenizas, talas volcánicas y flujos de lava.
- Complejo Quimbodagado (Kc): La unidad se compone de una sucesión Volcánica – sedimentaria de lavas, tefalitos, cenizas, depósitos de cenizas y en conjunto de sedimentarías conformadas por granitas, areniscas, limolitas, arcillitas y chert.

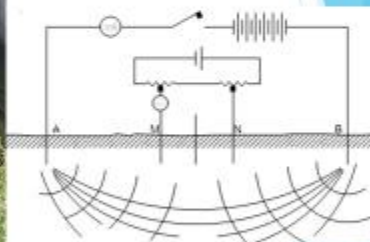


30



Equipo Geo-eléctrico - SEV (Sondeo eléctrico vertical)

GEO-ESTRATIGRÁFICOS



ASOCIACIÓN GEOTERMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca



32

RENAG Bogotá 2015
 REUNIÓN NACIONAL DE GEOTERMIA

Localización de las líneas de refracción geoelectricas y sondeo eléctrico vertical



Universidad del Cauca




21

RENAG Bogotá 2015
 REUNIÓN NACIONAL DE GEOTERMIA

Resultados SEV



Universidad del Cauca

| Profundidad (m.) | Resistividad (ohmios/metro) | Correlación Geológica |
|------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 0.00 - 0.30 | 180 | Depósitos coluviales. |
| 0.30 - 0.60 | 1130 | |
| 0.60 - 39.00 | 24 | Roca fracturada. |
| > 39.00 | 2630 | Roca densa. |

SEV 1, MUNICIPIO DE LA VEGA
 RESGUARDO DE GUACHICONO
 Fuente Propia

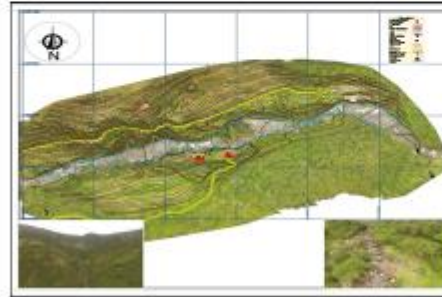
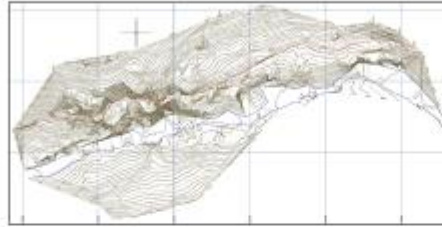
| Profundidad (m.) | Resistividad (ohmios/metro) | Correlación Geológica |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0.00 - 0.50 | 61 | Suelos rojizo-amarillentos. |
| 0.50 - 1.30 | 216 | |
| 1.30 - 7.50 | 48 | Depósitos de flujos piroclásticos |
| 7.50 - 21.00 | 40 | |
| 21.00 - 60.00 | 14 | Roca fracturada. |
| > 60.00 | 2250 | Basamento rocoso. |

SEV-2, MUNICIPIO DE SOTARÁ
 RESGUARDO RÍO BLANCO
 Fuente Propia.

24

Interpretación



2.3 Estudios de caudales

PROTECCIÓN CONTRA EL
RIO



AFORO





2.4 Caracterización bacteriológica, física y química.



Análisis Físico

Temperatura

- Nacimiento termal : 39.22 °C
- Río Guachicono : 5 °C
- Ambiental : 10 °C

Color Aparente

- Nacimiento Termal : 20.3 UPC
- Río Guachicono: 53.6 UPC

Turbiedad

- Nacimiento Termal : 18.3 UNT
- Río Guachicono: 3.66 UNT

Análisis Químico



Universidad del Cauca

Conductividad Eléctrica

- Nacimiento Termal: 7.8 Ms/cm
- Río Guachicono: 101.2 Ms/cm

pH

- Nacimiento Termal: 6.7
- Río Guachicono : 7.3

Minerales

- Nacimiento Termal: 1103.3 mg/L Cl
- Río Guachicono: 13.4 mg/L Cl



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA

31



Análisis Bacteriológicos

Análisis bacteriológicos particulares

| | NACIMIENTO TERMAL | RÍO GUACHICONO |
|--|----------------------|-------------------|
| COLIFORMES TOTALES NMP/ml | 241.96 | 72.70 |
| ENSAYO CONFIRMATIVO PARA E. COLI NMP/ml | 5.46 | 1.89 |

Nota: fuente propia



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA

32



Universidad del Cauca



RESUMEN CARACTERIZACIÓN

Caracterización termales Las Chizas

| | |
|------------------|-------|
| CAUDAL (L/s) | 0.84 |
| TEMPERATURA (°C) | 39.22 |

CLASIFICACIONES

| | |
|-----------------------------|------------|
| Según su temperatura | Mesotermal |
| Según su sensación térmica | Caliente |
| Según se Ph | Ácida |
| Según su Componente químico | Clorurada |

Nota: Fuente propia



Clasificación del agua Mineralógica

Clasificación del agua mineralógica según la sensación que produce -Aplicaciones hidroterápicas.

| CLASIFICACIÓN | TEMPERATURA (°C) | SENSACIÓN |
|----------------------|------------------|---|
| Muy frías o heladas | < 12 | Produce Dolor |
| Frias | 12-18 | Sensación de frío molesto pero tolerable |
| Frescas | 18-27 | Sensación agradable en aplicaciones cortas |
| Tibias | 27-32 | Sensación agradable |
| Neutras ² | 32-36.5 | Sensación confortable |
| Calientes | 37-40 | Sensación de calor y enrojecimiento de piel |
| Muy calientes | 40-43 | Tolerable en aplicaciones cortas |

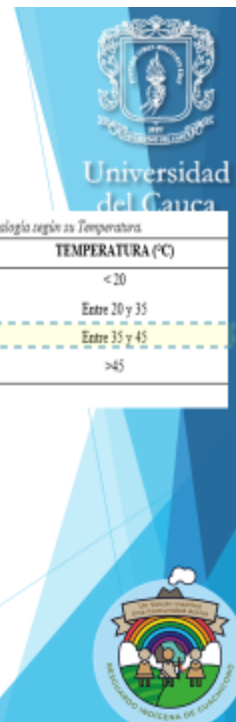
Nota: Tomado de Otero, 2007.



Clasificación del agua mineralógica según su Temperatura

| CLASIFICACIÓN | TEMPERATURA (°C) |
|---------------|------------------|
| Frias | < 20 |
| Hipotermales | Entre 20 y 35 |
| Mesotermales | Entre 35 y 45 |
| Hipertermales | > 45 |

Nota: Tomado de Rojas Scalet, 2015.



Clasificación del agua Mineralógica

Clasificación de las aguas mineralógicas según sus componentes químicos

| CLASIFICACIÓN | CARACTERÍSTICA |
|-----------------------|---|
| Sulfatadas | Aguas con más de 1g/l de sustancias mineralizantes, donde predomina el anión sulfato y están influidas fuertemente en sus propiedades terapéuticas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro. |
| Cloruradas | Aguas con más de 1g/l de sustancias mineralizantes, donde el ion cloruro suele estar acompañado de sodio en proporciones. |
| Bicarbonatadas | Aguas con más de 1g/l de sustancias mineralizantes, donde el ion bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros. |

Nota: Tomada de Reyes Secades, 2011.



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca

Clasificación de aguas mineralógicas según su pH

| CLASIFICACIÓN | pH |
|------------------|-----------------|
| Ácidas | < 6.8 |
| Neutras | Entre 6.8 y 7.2 |
| Alcalinas | > 7.2 |

Nota: Tomada de Reyes Secades, 2011.

11



6. SOCIALIZACIÓN CON LA COMUNIDAD



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



Universidad del Cauca

16



INVESTIGACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO RECREACIONAL
CABILDO INDÍGENA DE GUACHICONO



6. CONCLUSIONES Y PUNTOS IMPORTANTES



CONCLUSIONES (COMUNIDAD)

- ▶ Las características propias obtenidas del nacimiento termal poseen alto potencial geotérmico turístico. Es por ello que se le da paso a la continuación del proyecto en sus siguientes etapas.
- ▶ Las recomendaciones técnicas, de manejo, próximos estudios, etc. y el documento final fueron entregados y explicados claramente a la comunidad. Comunidad contenta.
- ▶ Las características propias de la zona son ideales para el desarrollo de actividad turística sin alterar el equilibrio del medio ambiente.
- ▶ A pesar de que Colombia cuenta con una riqueza geotérmica gigante, no posee normas que reglamenten características propias de los centros balnearios termales.



CONCLUSIONES (COMUNIDAD)

- ▶ Sin lugar, es una oportunidad excelente de acercamiento a la comunidad para poder abrir la puerta para el desarrollo de más usos directos que beneficien a la comunidad, a la zona, y al Departamento (renglón económico). Es posible en un futuro hablar de producción de energía, teniendo ya un interés formado, expectativa y conocimiento de la comunidad.
- ▶ Finalmente el interés y la presión de la comunidad, pensamos que harán posible el apoyo de los diferentes entes gubernamentales e inclusive privados (gran temor de las comunidades).



Universidad
del Cauca

43



Datos de Contacto

Entidad: Universidad del Cauca
Email: lucruz@unicauca.edu.co
Website: www.unicauca.edu.co



Universidad
del Cauca

