


	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 22 de Noviembre de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

Los suscritos:

María Alejandra Vargas Salas, con C.C. No. 1075268390, Oscar Jacob Luna González, con C.C. No. 1075261456, Carlos Fernando Pérez Cerquera, con C.C. No.1075280222





Autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado Estudio geofísico de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector centro del departamento del Huila – zona roja, mediante el método geoelectrico, presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniero de Petróleos; autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

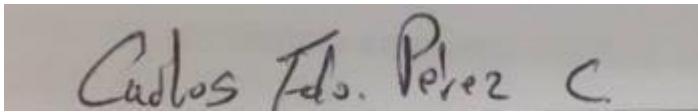
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

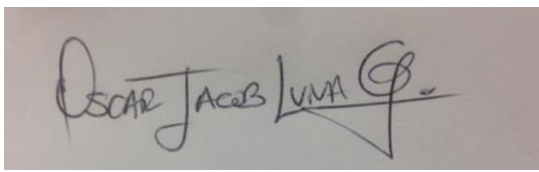
EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Carlos Fernando Pérez Cerquera

Firma: 

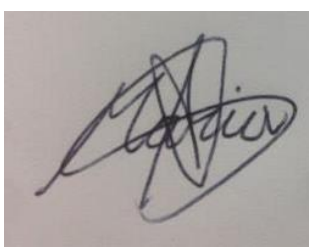
EL AUTOR/ESTUDIANTE:





Oscar Jacob Luna González

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

María Alejandra Vargas Salas

Firma: 

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Estudio geofísico de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector centro del departamento del Huila – zona roja, mediante el método geoelectrico

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Pérez Cerquera	Carlos Fernando
Vargas Salas	María Alejandra
Luna González	Oscar Jacob

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:





Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas Cuervo	Roberto
Rubio Luna	Carlos Adan

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero de Petróleos

FACULTAD: Ingeniería

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería de Petróleos

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 80

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X
 Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos X
 Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: AUTOCAD

MATERIAL ANEXO:

Plano 1. Mapa Geológico sector centro del departamento del Huila – zona Roja

Columna 1. Columna Estratigráfica Pozo Buenavista-1





Perfil 1. Perfil Geológico-Perfil Geoelectrico SEV1-SEV3

Perfil 2. Perfil Geoelectrico SEV1-SEV2

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Geoelectrica	Geoelectric
2. Resistividad	Resistivity
3. Perfil Geoelectrico	Geoelectric Profile

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)





De acuerdo a los resultados obtenidos en el proyecto "Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector centro del departamento del Huila – zona roja", el cual hace parte del proyecto de investigación "Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el departamento del Huila", liderado por el Museo Geológico y del Petróleo y el grupo de investigación de ECOSURC adscrito a la facultad de ingeniería, donde fueron descubiertos siete rezumaderos de hidrocarburos y de acuerdo a su caracterización geológica y geoquímica, fue considerado de gran importancia evaluar la continuidad de estos en el subsuelo y por los cual se ejecutó el presente proyecto con el objeto de definir el interés económico para su explotación.

Con base en los objetivos propuestos, la cartografía geológica existente fue ajustada a una escala más detallada con el fin de observar planimetricamente la distribución superficial de rezumaderos, también en el sector de la hacienda Buenavista fue perforado un pozo de agua por la compañía Rubio Asociados, el cual permitió la participación activa en la perforación del pozo a los ejecutores de este proyecto, se realizó el registro de los rípios de perforación a una profundidad de setenta y siete metros (77 m) con el fin de correlacionar la información geológica del subsuelo con la geología de superficie. Como objetivo central de este trabajo, se realizaron tres sondeos eléctricos verticales (SEV) mediante el arreglo Schlumberger, cuyos resultados permitieron elaborar perfiles geoelectrìcos y determinar el volumen de roca saturada por hidrocarburos.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

According to the results of the project "Geological characterization of the surface indications of hydrocarbons in the center sector of department of Huila- Roja zone", which is part of the research project "Geological characterization of the surface indications of hydrocarbons in Huila department", led by the Petroleum and Geological Museum and the research group ECOSURC attached to the Faculty of Engineering, where they discovered seven seeps of hydrocarbons and according to their geological and geochemical characterization, were considered of great importance to evaluate the continuity of these underground and by which this project was carried out in order to define the possible economic interest for exploitation of tar sands.

Based on the proposed objectives, the existing geological mapping was detailed and corrected at a scale 1: 7500, and recording drilling residues of a groundwater well drilled in the study area to a depth of seventy-seven meters (77 m) in order to correlate the geological subsurface with surface geology. The central objective for the development of

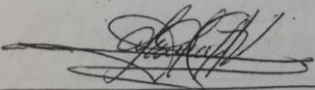
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

this work were performed four vertical electrical sounding (VES) by Schlumberger arrangement, whose results led to develop the geoelectric profiles and determine the amount of rock saturated with hydrocarbons.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Isauro Trujillo

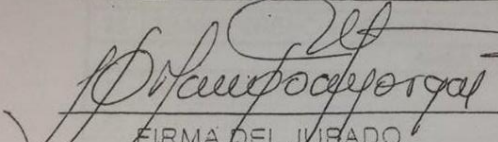
Firma:



FIRMA DEL JURADO

Nombre Jurado: Orlando Mayorga

Firma:



FIRMA DEL JURADO

2016



**ESTUDIO GEOFISICO DE LOS INDICIOS SUPERFICIALES DE
HIDROCARBUROS EN EL SECTOR CENTRO DEL DEPARTAMENTO DEL
HUILA – ZONA ROJA, MEDIANTE EL METODO GEOELECTRICO**

**CARLOS FERNANDO PEREZ CERQUERA
MARIA ALEJANDRA VARGAS SALAS
OSCAR JACOB LUNA GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
NEIVA
2016**

**ESTUDIO GEOFISICO DE LOS INDICIOS SUPERFICIALES DE
HIDROCARBUROS EN EL SECTOR CENTRO DEL DEPARTAMENTO DEL
HUILA – ZONA ROJA, MEDIANTE EL METODO GEOELECTRICO**

**CARLOS FERNANDO PEREZ CERQUERA
MARIA ALEJANDRA VARGAS SALAS
OSCAR JACOB LUNA GONZÁLEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos.

Director

**Geólogo Msc. ROBERTO VARGAS CUERVO
Profesor titular de la Facultad de Ingeniería Departamento de Petróleos
Universidad Surcolombiana**

Codirector

**Geólogo CARLOS ADAN RUBIO LUNA
Especialista en Hidrología Subterránea Universidad: Centro Internacional de
Hidrología Subterránea - España**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
NEIVA
2016**

Nota de aceptación

Director

Jurado

Jurado

Neiva, Huila
Octubre, 2016

AGRADECIMIENTOS

A dos grandes mentores y asesores como lo son Carlos Adán Rubio Luna y Roberto Vargas Cuervo agradecerles por la enseñanza, el esfuerzo y acompañamiento que tuvieron con nosotros a lo largo de la elaboración de este proyecto. A nuestros compañeros y amigos, Alejandro Silva, Mauricio Trujillo, Bob Sterling, Daniela Ramírez y Paula Gaitán quienes nos colaboraron y apoyaron.

DEDICATORIAS

A mi Madre María Edith Salas Torres y mi Padre José Alejandro Vargas Martínez quienes me apoyan y cuidan cada día. A mis hermanos Pahola Andrea, Luis Felipe y Javier Alejandro, y sobrinos Gian Lucas, Zharick Andrea, Thaliana y Andrea, mis motores para cumplir esta meta profesional. A las hermanas que el rugby me dio, con las cuales siempre cuento incondicionalmente. A todos los compañeros y amigos que aportaron tiempo, consejos y demás.

María Alejandra Vargas Salas.

A mis abuelos Jacobo y Marleny, mi madre Luz Dary González Suarez, mi padre Oscar Luna Saab, mi hermana Elizabeth Luna González y mi sobrina Luciana González Luna por brindarme siempre amor y quienes me han enseñado e inculcado buenos valores; mi familia, amigos y compañeros por ofrecerme también apoyo incondicional durante la realización de mi ciclo profesional

Oscar Jacob Luna González

A Dios por permitirme llegar hasta este punto lleno de salud y vida, por bendecirme e iluminarme todos los días a lo largo de esta carrera. A mis padres Juan Carlos y Mélida por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por los consejos, sus valores, su ejemplo y por su amor incondicional. A mis hermanos por su apoyo y motivación constante, a Ismael por ser el ejemplo de hermano mayor y a Camilo por ser un motivo por el cual salir adelante. A mi hija Eva por ser luz en mi vida llenándola de amor, ilusión e inspiración en el último trayecto de esta meta profesional. A Edna María por apoyarme, aconsejarme y animarme siempre a alcanzar mis metas. A familiares y amigos quienes siempre estuvieron ahí y me ayudaron a formarme como persona y me acompañaron en toda esta trayectoria.

Carlos Fernando Pérez Cerquera

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. MARCO CONCEPTUAL	19
3.1 INIDICIOS SUPERFICIALES DE HIDROCARBUROS	19
3.2 METODOS GEOELECTRICOS	20
3.2.1 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEV)	20
3.2.2 DISPOSITIVO SCHLUMBERGER	22
3.2.3 INTERPRETACION DE DATOS	23
3.3 RESISTIVIDAD DE LOS MATERIALES	25
3.3.1 RESISTIVIDAD DE LOS HIDROCARBUROS	27
3.4 SOFTWARE IPI2WIN	27
4. ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
4.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
4.2 GEOLOGIA REGIONAL	31
4.2.1 BASAMENTO ECONOMICO	31
4.2.2 COBERTURA PRODUCTIVA	32
4.2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	38
5. TRABAJO DE CAMPO	41
5.1 GEOLOGIA LOCAL	41
5.1.1 MIEMBRO NH1	42
5.1.2 MIEMBRO NH2	44
5.1.3 MIEMBRO NH3	46
5.1.4 DEPÓSITOS CUATERNARIOS	48
5.1.5 DEPÓSITOS DE TERRAZA	49

5.1.5.1 DEPÓSITOS COLUVIALES	50
5.1.5.2 DEPÓSITOS ALUVIALES	50
5.2 REZUMADEROS DE HIDROCARBUROS EN LA ZONA	51
5.2.1 REZUMADERO EL PATILLO	53
5.2.2 REZUMADERO EL GALLINAZO 1	54
5.2.3 REZUMADERO EL GALLINAZO 2	56
6. GEOLOGIA ECONOMICA	58
6.1 POZO BUENAVISTA-1	58
6.2 REGISTRO LOGGING	59
6.3 SONDEOS GEOELECTRICOS	60
6.3.4 LOCALIZACION DE LOS SONDEOS	61
6.3.5 EQUIPOS Y ADQUISICION DE DATOS	62
6.3.6 RESULTADOS	65
6.4 PERFIL GEOELECTRICO	73
6.5 CALCULOS DE RESERVA	75
6.5.1 ESTIMACION VOLUMEN DE ROCA IMPREGNADO	75
6.5.2 CÁLCULO DE LOS RECURSOS	76
CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización de los rezumaderos del sector centro-zona roja	29
Tabla 2. Ubicación y profundidad del pozo Buenavista-1	30
Tabla 3. Ubicación y tipos de rezumaderos en la zona de estudio	52
Tabla 4. Ubicación de los sondeos geoelectricos	62
Tabla 5. Datos tomados en campo para el SEV-1	65
Tabla 6. Resultado Sondeo Geoelectrico SEV-1	67
Tabla 7. Datos tomados en campo para el SEV-2	67
Tabla 8. Resultado Sondeo Geoelectrico SEV-2	69
Tabla 9. Datos tomados en campo para el SEV-3	69
Tabla 10. Resultado Sondeo Geoelectrico SEV-3	71
Tabla 11. Datos tomados en campo para el SEV-4	71
Tabla 12. Resultado Sondeo Geoelectrico SEV-4	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema Sonde Eléctrico Vertical (Fuente: Hürliman, 2010)	21
Figura 2. Líneas de corriente y superficies equipotenciales en las proximidades de los electrodos A y B (Fuente: Autores)	22
Figura 3. Dispositivo Schlumberger (Fuente: Autores)	23
Figura 4. Representación gráfica de un SEV para dos capas. (Fuente: Autores)	24
Figura 5. Ruta Universidad Surcolombiana – Hacienda Buenavista. (Fuente: Google Earth versión libre)	30
Figura 6. Ubicación zona roja, Espacio mapa plancha 323 IGAC.	31
Figura 7. Área del proyecto donde se observa la morfología del piedemonte de la cordillera central diferenciando el basamento de la cobertura productiva. (Fuente: Imagen satélite Landsat)	32
Figura 8. Localización de sub-zonas de estudio. (Fuente: Google Earth versión libre).	51
Figura 9. Ubicación y orientación de los Sondeos geoeléctricos. (Fuente: Google Earth versión libre)	61
Figura 10. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV1 (Tomada IPI2Win)	65
Figura 11. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV1 y Tabla de Resistividad y profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)	65
Figura 12. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV2 (Tomada IPI2Win)	67
Figura 13. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV2 y Tabla de Resistividad y profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)	67
Figura 14. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV3 (Tomada IPI2Win)	69
Figura 15. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV3 y Tabla de Resistividad y	69

profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)	
Figura 16. Grafica Log ρ_a vs. AB/2 para SEV4 (Tomada IPI2Win)	71
Figura 17. Grafica Log ρ_a vs. AB/2 para SEV4 y Tabla de Resistividad y profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)	71
Figura 18. Sentido de los perfiles geoelectricos. (Fuente: Google Maps versión libre)	72
Figura 19. Ubicación y distancia entre los sondeos geoelectricos (Fuente: Google Maps versión libre)	74

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1: Secuencia estratigráfica del cretácico	33
Fotografía 2: Areniscas medianamente fracturadas de la formación Caballos	34
Fotografía 3: Afloramiento de la Formación Caballos	35
Fotografía 4: Capas de arcillolitas intercaladas con areniscas cuarzosas y limolitas ferruginosas	36
Fotografía 5: Afloramiento de la Formación Villeta	37
Fotografía 6: Shales de la Formación Villeta	37
Fotografía 7: Toma de Muestras Pozo de Agua Buenavista-1	42
Fotografía 8: Rocas del Miembro Nh1 de la Formación Honda	44
Fotografía 9: Afloramiento del Miembro Nh2 de la Formación Honda	46
Fotografía 10: Afloramiento del Miembro Nh3 de la Formación Honda	48
Fotografía 11. Terrazas aluviales presentes en el área de estudio	49
Fotografía 12: Depósitos de terraza con cultivo de arroz vía Hacienda Buenavista	50
Fotografía 13: Depósitos aluviales en donde se presenta emanación de hidrocarburo	51
Fotografía 14: Ojo de emanación de hidrocarburos del rezumadero El Patillo	53
Fotografía 15: Impregnación sobre niveles conglomeráticos de la formación Honda	54

Fotografía 16. Rezumadero el Gallinazo 1	55
Fotografía 17. Afloramiento de la formación Honda	55
Fotografía 18. Rezumadero el Gallinazo 2	57
Fotografía 19. Afloramiento de areniscas de la formación Honda	57
Fotografía 20: Pozo Buenavista-1	
Fotografía 21. Equipo para sondeo geoelectrico C.A. Rubio	63
Fotografía 22. Equipo para sondeo geoelectrico C.A. Rubio, arreglo Schlumberger	64
Fotografía 23. Desarrollo de un sondeo geoelectrico.	64

LISTA DE ANEXOS

Plano 1. Mapa Geológico sector centro del departamento del Huila – zona Roja

Columna 1. Columna Estratigráfica Pozo Buenavista-1

Perfil 1. Perfil Geológico-Perfil Geoelectrico SEV1-SEV3

Perfil 2. Perfil Geoelectrico SEV1-SEV2

RESUMEN

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proyecto "CARACTERIZACION GEOLOGICA DE LOS INDICIOS SUPERFICIALES DE HIDROCARBUROS EN EL SECTOR CENTRO DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA –ZONA ROJA", el cual hace parte del proyecto de investigación "CARACTERIZACION GEOLOGICA DE LOS INDICIOS SUPERFICIALES DE HIDROCARBUROS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA", liderado por el Museo Geológico y del Petróleo y el grupo de investigación de ECOSURC adscrito a la facultad de ingeniería, donde fueron descubiertos siete rezumaderos de hidrocarburos y de acuerdo a su caracterización geológica y geoquímica, fue considerado de gran importancia evaluar la continuidad de estos en el subsuelo y por los cual se ejecutó el presente proyecto con el objeto de definir el posible interés económico para explotación de arenas asfálticas.

Con base en los objetivos propuestos, la cartografía geológica existente fue revisada y ajustada a una escala más detallada con el fin de observar planimetricamente la distribución superficial de rezumaderos, así también en el sector de la hacienda Buenavista fue perforado un pozo de agua por la compañía Rubio Asociados, el cual permitió la participación activa en la perforación del pozo a los ejecutores de este proyecto, se realizó el registro de los rípios de perforación a una profundidad de setenta y siete metros (77 m) con el fin de correlacionar la información geológica del subsuelo con la geología de superficie.

Como objetivo central para el desarrollo de este trabajo, se realizaron tres sondeos eléctricos verticales (SEV) mediante el arreglo Schlumberger, cuyos resultados permitieron elaborar perfiles geoeléctricos y con ellos determinar el volumen de roca saturada por hidrocarburos.

ABSTRACT

According to the results of the project "GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SURFACE INDICATIONS OF HYDROCARBONS IN THE CENTER SECTOR OF DEPARTAMENT OF HUILA- ROJA ZONE", which is part of the research project "GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SURFACE INDICATIONS OF HYDROCARBONS IN HUILA DEPARTAMENT", led by the Petroleum and Geological Museum and the research group ECOSURC attached to the Faculty of Engineering, where they discovered seven seeps of hydrocarbons and according to their geological and geochemical characterization, were considered of great importance to evaluate the continuity of these underground and by which this project was carried out in order to define the possible economic interest for exploitation of tar sands.

Based on the proposed objectives, the existing geological mapping was detailed and corrected at a scale 1: 7500, and recording drilling residues of a groundwater well drilled in the study area to a depth of seventy-seven meters (77 m) in order to correlate the geological subsurface with surface geology. The central objective for the development of this work were performed four vertical electrical sounding (VES) by Schlumberger arrangement, whose results led to develop the geoelectric profiles and determine the amount of rock saturated with hydrocarbons.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del macro proyecto “Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el departamento del Huila” realizado por la Universidad Surcolombiana, con el apoyo del grupo de investigación ECOSISTEMAS SURCOLOMBIANOS (ECOSURC) y del Museo Geológico y del Petróleo, con base en la información oficial publicada por la ANH en la cual en el mapa de rezumaderos entrega un listado de cuarenta (40) rezumaderos, los cuales fueron estudiados y caracterizados geológicamente dando como resultado final la presencia física de diez (10) de estos cuarenta rezumaderos, como también fueron localizados quince (15) rezumaderos nuevos. Para estos treinta y cinco (35) rezumaderos se da su localización geográfica, descripción geológica, estratigráfica y análisis de las propiedades petroquímicas de los fluidos encontrados.

Dentro de la evaluación de estos treinta y cinco (35) puntos del departamento del Huila, fue escogido el proyecto “CARACTERIZACION GEOLOGICA DE LOS INDICIOS SUPERFICIALES DE HIDROCARBUROS EN EL SECTOR CENTRO DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA –ZONA ROJA” el cual muestra la presencia de siete (7) rezumaderos asociados a una red de drenajes impregnando rocas de la formación Honda Superior (Miembro Nh1) y depósitos Cuaternarios recientes; debido a la magnitud superficial de estos rezumaderos se propuso continuar investigando la zona Roja con este proyecto evaluando la continuidad de los rezumaderos por métodos geofísicos (Método Geoelectrico) como también conceptuar por volumetría las reservas del material asfáltico.

Hay diferentes tipos de exploración tanto directa como indirecta. El método que se desarrolló en este proyecto es un método indirecto que con la ayuda del equipo apropiado se inyecta corriente al subsuelo y mediante la interpretación de las resistividades detectadas de las diferentes estructuras geológicas del subsuelo se puede establecer la ubicación y profundidad las capas litológicas de interés.

La colaboración entre geólogo y geofísico es necesaria, ya que de esta colaboración depende la exactitud y confiabilidad de los resultados, Es por eso que para llevar a cabo este proyecto se contó con el apoyo del geólogo Roberto Vargas Cuervo y los geólogos y especialistas en hidrogeología Carlos Rubio Luna y Luis Restrepo, y sus correspondientes equipos de trabajo. Uno de los objetivos desarrollados fue el levantamiento de la columna estratigráfica y la realización de la geología superficial de la zona de estudio, para posteriormente ser usados como parámetros de guía y comparación en el análisis de los resultados de resistividad obtenidos mediante los sondeos geoelectricos. Se realizaron un total de cuatro (4) sondeos, los cuales fueron interpretados en el software IPI2WIN y finalmente con los datos obtenidos se determinaron las capas litológicas.

Dentro de este proyecto de grado se describen algunos de los métodos de prospección eléctrica existentes, aspectos generales sobre la resistividad de los materiales y el software empleado para la interpretación de los datos; la localización de la zona de estudio, junto con la geología regional y la geología estructural; también se realiza el levantamiento de la columna estratigráfica hecha mediante la caracterización de los ripios de perforación recolectados en el Pozo Hacienda Buenavista (Columna 1); se presentan las ubicaciones y los resultados de los sondeos realizados, el perfil geoelectrico y la interpretación de los diferentes elementos obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar las diferentes litologías en el subsuelo y la continuidad y profundidad de los rezumaderos presentes en la zona roja - centro mediante sondeos geoelectricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Correlacionar con la geología de superficie la información obtenida con los sondeos geoelectricos.
- ✓ Determinar hasta donde sea posible la continuidad y profundidad de impregnación de los rezumaderos presentes en la zona roja.
- ✓ Con la interpretación de los sondeos geoelectricos y la información geológica de superficie, realizar un estimativo volumétrico de la zona impregnada de hidrocarburos.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 INDICIOS SUPERFICIALES DE HIDROCARBUROS

Se designa bajo el nombre de indicios superficiales, todas las manifestaciones en la superficie de la presencia de hidrocarburos en profundidad. Entre los cuales se distinguen:

- Los indicios directos, producidos por la aparición en los afloramientos, de los mismos productos hidrocarburos.
- Los indicios indirectos, que son manifestaciones en superficie de la presencia de hidrocarburos, sin que sean visibles.

Los indicios directos se llaman activos o vivos, si los productos visibles se renuevan constantemente como consecuencia de una circulación subterránea activa; son las fuentes de petróleo o gas, los volcanes de lodo, etc. Por el contrario se llaman muertos o fósiles, si no hay renovación permanente que compense las pérdidas debidas a la oxidación en la superficie; son todos los indicios inmovilizados de hidrocarburos, más o menos difundidos en las arenas asfálticas por ejemplo, o concentrados en fisuras rellenas de resina o de asfalto.

El aspecto de los indicios, está ligado a la naturaleza del hidrocarburo, gas o petróleo, y entre los petróleos, a su composición química (petróleo con base parafínica o con base naftenica). Esta también ligado al tipo de yacimiento, que depende estrechamente de los caminos recorridos por los productos durante la circulación.

Los indicios superficiales, son el resultado de la dismigración, que será primaria si los hidrocarburos no han encontrado una trampa donde acumularse, o secundaria si escapan de un yacimiento ya constituido. En realidad aunque a veces es posible

hacerse una idea del camino que han recorrido los productos, frecuentemente su interpretación resulta delicada y exige mucha prudencia.

3.2 METODOS GEOELECTRICOS

Los métodos geoelectrónicos o geoelectrónica, es la rama de la geofísica que se encarga de estudiar el comportamiento de los componentes del subsuelo en relación a la corriente eléctrica.

Mediante este método se mide indirectamente desde la superficie los cambios de resistividad eléctrica ρ , siendo posible determinar características de los materiales del subsuelo como, (SIAPA, 2014):

- Tipos de material
- Profundidad del nivel de aguas freáticas.
- Espesor de los estratos.
- Profundidad de los estratos.
- Estructuras geológicas
- Cavernas

3.2.1 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEV)

Los sondeos eléctricos verticales determinan la variación de la resistividad con la profundidad en un punto O. El procedimiento consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB (electrodos de inducción de campo eléctrico) y medir la diferencia de potencial entre el par de electrodos MN (electrodos de potencial), como se indica en la Figura 1. Según la posición y espaciamiento de los cuatro electrodos existen diversos tipos de arreglos, entre los cuales se destacan el arreglo Wenner y el arreglo Schlumberger (Hürliman, 2010).

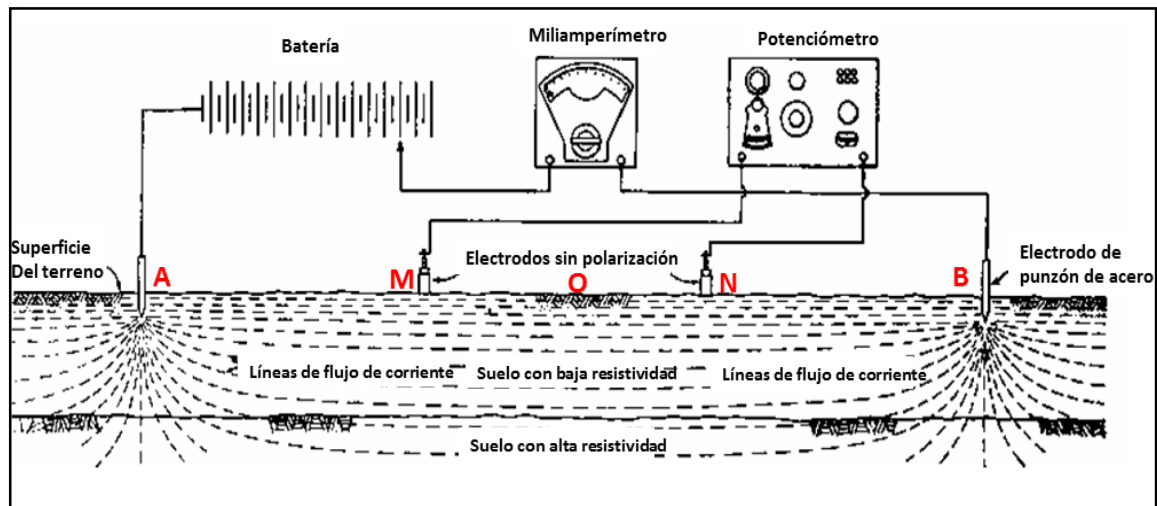


Figura 1: Esquema Sonde Eléctrico Vertical (Hürliman, 2010)

El flujo de la corriente eléctrica a través del subsuelo se rige bajo la Ley de Ohm, la cual expresa que la diferencia de potencial entre dos puntos por los que circula una corriente de intensidad I , es proporcional a esta y a la resistencia, R , del medio por el cual circula.

$$dV = R \cdot I \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde la resistencia R es función de la naturaleza del material y de la geometría del medio. En la ecuación 2, ρ representa la naturaleza del medio y se denomina resistividad, L la longitud y S el área transversal:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} \quad \text{Ecuación 2}$$

En un sondeo eléctrico vertical, los electrodos A y B están separados por una distancia considerable y se asume que el subsuelo es homogéneo e isótropo, por tanto, las líneas de corriente son radiales y divergentes y las superficies equipotenciales semiesféricas como se indica en la Figura 2 (Auge, 2008). En este caso la expresión de la resistividad, en ohm por metro ($\Omega \cdot m$) es:

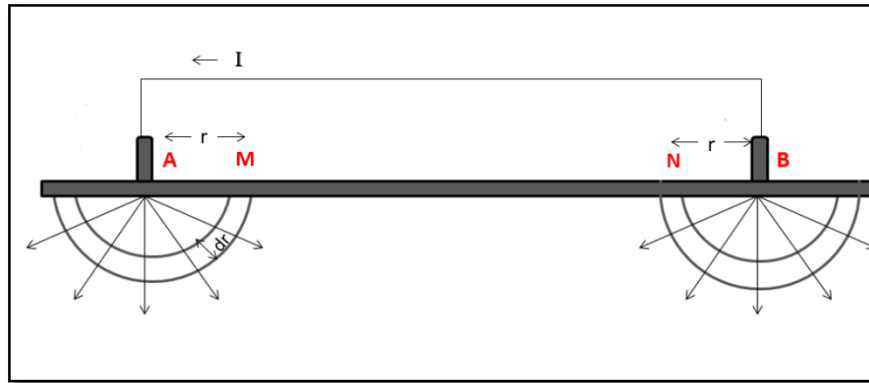


Figura 2: Líneas de corriente y superficies equipotenciales en las proximidades de los electrodos A y B (Fuente: Autores)

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde K es conocida como la constante geométrica y depende directamente de la geometría del dispositivo empleado. Dicha constante tiene unidades de longitud, generalmente metros (m) (Nieto, 2007).

En la práctica el subsuelo que es el medio de propagación del flujo de corriente no es isotrópico ni homogéneo, por lo que las líneas de corriente y las superficies equipotenciales no son regulares, haciendo que la propiedad medida sea la resistividad aparente, ρ_a .

3.2.2 DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

En este arreglo los cuatro electrodos se disponen linealmente, manteniendo la separación entre los electrodos de potencial MN, mientras los electrodos de corriente AB se van alejando del punto O, cumpliendo con la condición de que la

distancia que separa A de B debe ser igual o mayor que cinco veces la distancia que separa M de N. (Figura 3)

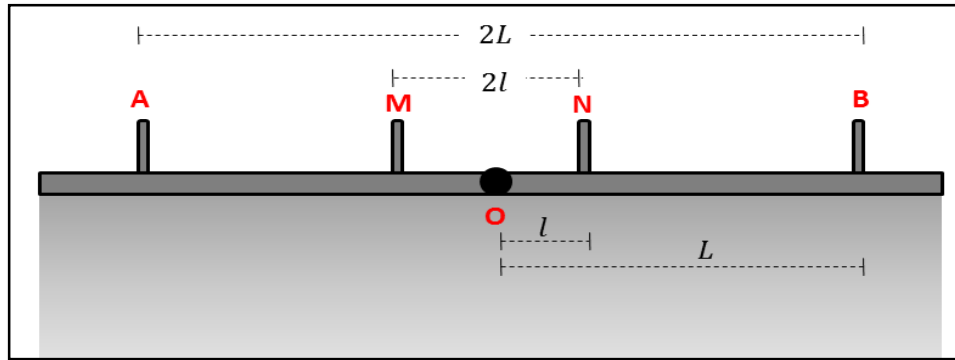


Figura 3: Dispositivo Schlumberger (Fuente: Autores)

En este tipo de arreglo la constante geométrica, K es:

$$K = \frac{\pi L^2}{2l} = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) \text{ Ecuación 5}$$

3.2.3 INTERPRETACION DE DATOS

Para la realización de un SEV se requiere de un operador y mínimo tres ayudantes. La metodología consiste en localizar los instrumentos de medición en el punto a investigar, decidir la dirección de las alas y ubicar los cuatro electrodos según el dispositivo a utilizar. Se compensa el potencial natural del terreno hasta dejar la lectura del potenciómetro en cero, se enciende la fuente de poder que hace pasar una corriente de intensidad I en miliamperios, mA (electrodos AB) y se lee el diferencial de potencial ΔV en milivoltios, mV (electrodos MN). Se registran los valores de las distancias $AB/2$ y MN , junto con los valores de I y ΔV para posteriormente calcular la constante mediante la ecuación 5 para el dispositivo Schlumberger y finalmente la resistividad aparente, $\rho_a(\Omega \cdot m)$, mediante la ecuación 4.

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyector AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad, pero su densidad disminuye. Sin embargo, no es posible fijar una profundidad límite, empíricamente se dice que la profundidad de penetración corresponde a la tercera parte de la distancia AB/2.

Para la interpretación de los datos se grafican las resistividades aparentes, $\rho_a(\Omega.m)$ en función de las distancias AB/2 en escala logarítmica para ambos ejes. Para un SEV realizado en un subsuelo de dos capas geoelectricas en la separación inicial corta de A_1B_1 la corriente eléctrica solo circula por la primera capa de resistividad ρ_1 y espesor h , en esta capa la resistividad efectiva ρ_e será igual a la resistividad aparente, ρ_1 . Al ir incrementando la distancia a A_2B_2 la corriente inyectada por los electrodos circulara por la primera capa de resistividad ρ_1 y la segunda capa de resistividad ρ_2 , por lo tanto en el valor de ρ_2 también incide el valor de ρ_1 lo que hace que la resistividad efectiva de esta capa no sea igual a su resistividad aparente. Los valores de ρ_1 y ρ_2 se obtienen de las asíntotas en la gráfica log-log, como se muestra en la Figura 4.

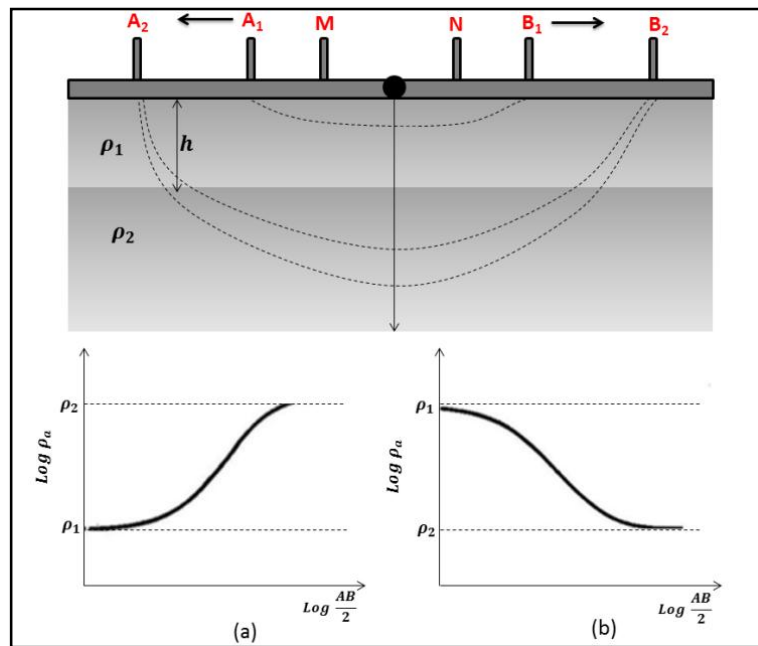


Figura 4: Representación gráfica de un SEV para dos capas (Fuente: Autores)

En la Figura 4 (a) se observa el comportamiento de la curva de resistividad aparente para dos capas geológicas en un terreno en el que la resistividad de la capa superior, ρ_1 es menor a la resistividad de la capa inferior, ρ_2 . Mientras que la Figura 4 (b) representa el caso contrario, es decir $\rho_1 > \rho_2$.

El objetivo final de la prospección geoelectrica es identificar las profundidades de las capas con diferentes resistividades, para esto se deben comparar las curvas de resistividad obtenidas en campo con una serie de curvas teóricas. Este procedimiento puede realizarse manualmente para el caso de dos y tres capas, pero se complica cuando la cantidad de capas involucradas es cuatro o más. Problema que se soluciona con el uso de un software que realizan la comparación de manera rápido mediante métodos iterativos.

3.3 RESISTIVIDAD DE LOS MATERIALES

La resistividad eléctrica de un material es la propiedad que tiene este para impedir el flujo de corriente eléctrica a través de él. Se expresa en unidades de ohmios metro ($\Omega \cdot m$).

La mayoría de las rocas tienen valores de resistividad altos ya que actúan como conductores o semiconductores, a excepción de aquellas compuestas por minerales metálicos como la calcopirita, pirita, magnetita, galena, etc.

En una formación la resistividad no depende solamente de su litología, sino también de otros factores como (Sanchez, 2012):

- Porosidad
- Saturación
- Salinidad del fluido
- Temperatura
- Presión

La porosidad es la relación entre el volumen de poros y el volumen total, entendiendo los poros como el espacio interno de la roca capaz de almacenar algún fluido. En terrenos someros, los poros están ocupados con soluciones acuosas, permitiendo el paso de corriente eléctrica debido a los iones disueltos, presentando valores de resistividad bajos. Este valor disminuye aún más si estos poros están interconectados. En términos generales, a mayor porosidad efectiva (relación entre el volumen de poros conectados y volumen total de roca) menor la resistividad (Nieto, 2007).

La saturación de una formación se define como el porcentaje de volumen poroso de la roca que es ocupado por un fluido. Si los poros no están ocupados por una solución acuosa la roca tendrá una mayor resistividad, por lo tanto a mayor saturación menor es el valor de resistividad del medio.

La cantidad y el tipo de sales disueltas en las soluciones acuosas presentes en las formaciones dependen de la naturaleza de las rocas que estas hayan encontrado en su recorrido hasta la superficie del terreno o hasta alojarse subterráneamente. A mayor cantidad de iones disueltos, mayor la salinidad y menor la resistividad.

La temperatura afecta drásticamente algunas propiedades de los fluidos presentes en una roca. Al aumentar la temperatura, la viscosidad de una solución acuosa disminuye por lo que aumenta la movilidad de los iones, y disminuye la resistividad.

Una alta presión, implica una alta compactación de las rocas, una baja porosidad y por ende una alta resistividad. El caso es contrario para rocas muy compactas como las rocas ígneas y metamórficas, ya que una alta presión ocasiona fracturamiento, disminuyendo la resistividad.

La resistividad eléctrica es el resultado de la suma de dos componentes, la conductividad electrónica, asociada al movimiento de los electrones presentes en la roca debido al paso de la corriente y la conductividad electrolítica relacionada

con la cantidad y tipo de iones presentes en los fluidos presentes en los poros de la roca (Nieto, 2007).

Los valores de resistividad varían según la región en la cual se lleve a cabo alguna investigación. En la interpretación de los sondeos debe tenerse en cuenta que el valor de resistividad puede variar ampliamente para un mismo material según la saturación y la calidad del fluido presente en la roca, por lo que es necesario el conocimiento de la geología superficial de la zona y la experticia de quien realice la interpretación de los sondeos para correlacionar los valores de resistividad con el tipo de formación.

3.3.1 RESISTIVIDAD DE LOS HIDROCARBUROS

La resistividad de las formaciones con impregnación de hidrocarburos puede presentar rangos muy variables, ya que depende del tipo de material en el cual están contenidos los hidrocarburos y del grado de degradación de estos.

El aceite y/o el gas desplazan el agua intersticial, pero debido al fenómeno de tensión superficial una parte de esta agua queda contenido en los poros de la roca, debido a que los hidrocarburos son sustancias altamente resistivas, la resistividad de una roca que está parcialmente saturada de estos fluidos es proporcional a la saturación de aceite.

La resistividad de una formación con presencia de hidrocarburos aumenta en comparación a la resistividad de la misma roca saturada solamente con agua. (Camargo, 2008)

3.4 SOFTWARE IPI2WIN

IPI2Win es un software, propiedad de © Alexei A. Bobachev, Igor. N. Modin, Vladimir A. Shevnin, 1990 – 2000; todos derechos reservados (Geoscan-M, 2000),

fue utilizado para este proyecto para apoyar la interpretación dada a las curvas de resistividad eléctrica.

El procedimiento consiste en ingresar los datos directos de campo (distancia AB/2, voltaje, corriente y constante geométrica) o indirectos (distancia AB/2 y resistividad aparente). Luego se realiza la corrección o normalización de los datos y por último la interpretación de las gráficas y tablas pertinentes (Kurniawan, 2009).

Dentro de los alcances y resultados de IPI2Win se encuentran:

- Creación de curvas de sondeo eléctrico vertical a lo largo de un perfil.
- Determinación de capas de resistividad
- Grafica logarítmica de resistividad
- Calculo de profundidad de las capas litológicas

Los cuales se pueden exportar en diferentes tipos de formato, para su posterior interpretación. Vale la pena aclarar que este software nos entrega datos que fueron interpretados por el grupo ejecutor de este proyecto de grado con el apoyo del Geólogo Carlos Rubio.

IPI2Win permite ajustar los resultados de las curvas de sondeos teórica y calculada mediante inversión automática, disminuyendo en la mayor medida el porcentaje de error. De igual manera permite al usuario cambiar la solución de tal manera que se correlacione con la información geológica recolectada en la zona investigada y al criterio de quien interpreta los datos.

Otra de las ventajas de esta herramienta es que permite la interpretación de sondeos verticales aislados así como también la interpretación de un conjunto de estos realizados en una misma zona, mostrando la distribución y comportamiento de la resistividad en el subsuelo (Geoscan-M, 2000).

4. ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se realiza en la denominada zona Roja localizada en el sector centro del departamento del Huila, municipio de Palermo, corregimiento el Juncal, Hacienda Buenavista; ubicada en la sub-cuenca de Neiva del Valle superior del Magdalena en la plancha topográfica 323 IV-A y 323 IV-C a escala 1:25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C.). A la zona se accede por vía pavimentada que de Neiva conduce al municipio de Yaguará hasta el Kilómetro 13 y de ahí se gira a costado derecho para tomar un carreteable destapado en el corregimiento del Juncal (Vereda La Sardinata), el cual va paralelo a los canales del distrito de riego de este corregimiento, este carreteable conduce hasta los predios de la Hacienda Buenavista. (Figura 5).

Específicamente el sector estudiado se encuentra dentro de la cuenca de la quebrada La Gallina localizado en la parte central del área de estudio y según el trabajo de la zona Roja fueron ubicados y descritos tres (3) sitios asociados a la presencia de rezumaderos de hidrocarburos (Mapa 1).

En la Tabla 1 se presenta la localización geográfica de los rezumaderos trabajados para este proyecto, con las especificaciones de tipo de rezumadero y zona y formación encontrados

Tabla 1. Localización de los rezumaderos del sector centro-zona roja

REZUMADERO	COORDENADAS		SUB ZONA	TIPO DE REZUMADERO	FORMACION
	NORTE	ESTE			
Patillo	808791	856727	Centro	Activo	Honda
Gallinazo 1	808704	856612	Centro	Activo	Honda
Gallinazo 2	808632	856471	Centro	Activo	Honda

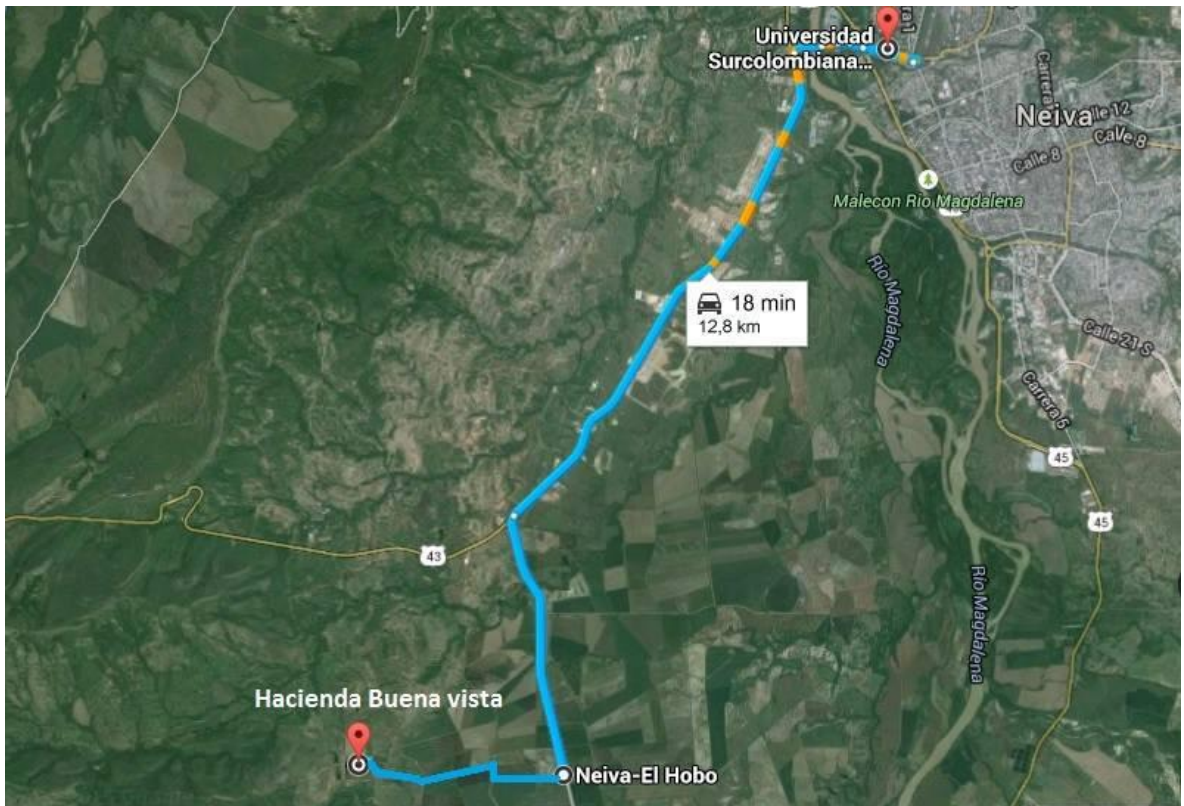


Figura 5: Ruta Universidad Surcolombiana – Hacienda Buenavista. (Fuente: Google Maps Web)

Así también el pozo Buenavista-1 perforado por la empresa Rubio & Asociados, para prospección de aguas subterráneas y a la cual para este trabajo se tuvo acceso a toda la información geológica, se encuentra localizado en los predios de la casa mayor de la hacienda y posee las siguientes coordenadas geográficas.

Tabla 2. Ubicación y profundidad del pozo Buenavista-1.

POZO	COORDENADAS		ZONA	PROFUNDIDAD	FORMACION
	NORTE	ESTE			
BUENAVISTA-1	807881	857417	Centro	78 Metros	Honda

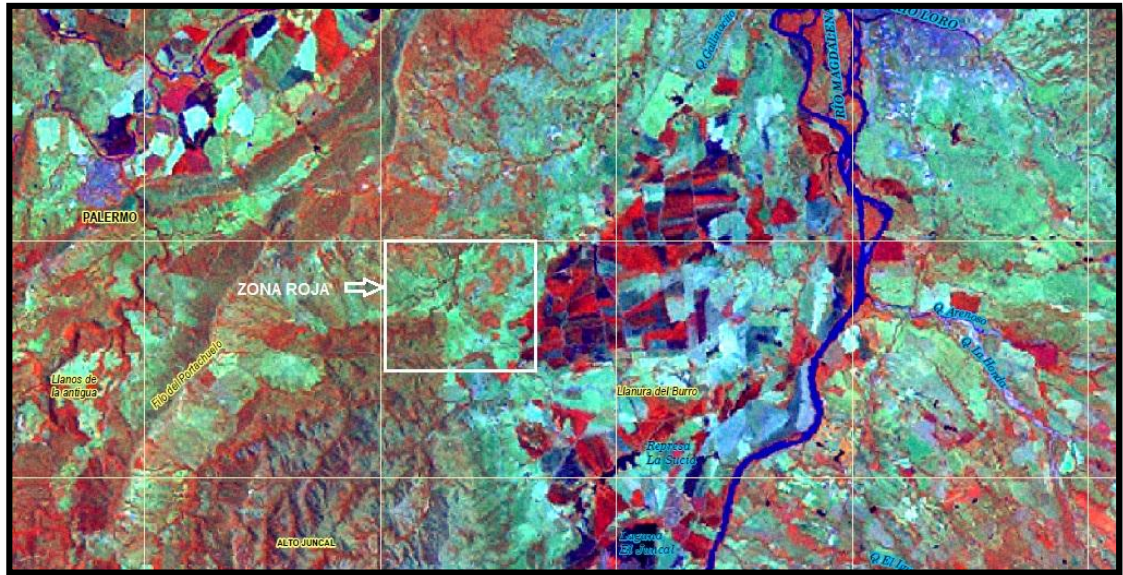


Figura 6: Ubicación zona roja, Espacio mapa plancha 323 IGAC.

4.2 GEOLOGIA REGIONAL

4.2.1 BASAMENTO ECONOMICO

En el Valle Superior del Magdalena el basamento económico corresponde a formaciones geológicas que van en edades desde el Precámbrico hasta el Jurásico, y está conformado por rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida correspondientes al batolito de Ibagué y la formación Saldaña y rocas de metamorfismo regional correspondiente al llamado Macizo de Garzón localizado al este del área. Esta unidad litológica está conformada por un núcleo de rocas precámbricas constituidas por migmatitas y gneises, anfibolitas e intrusiones de granitos y cuarzodioritas jurásicas.

En el sector sur-occidente de la zona de estudio afloran rocas volcánicas de la formación Saldaña conformadas por flujos de lavas de composición riolítica a dacítica con delgadas intercalaciones de tobas y aglomerados, estas rocas se encuentran altamente meteorizadas dando una morfología abrupta con tonalidades violáceas a moradas, Figura 7.

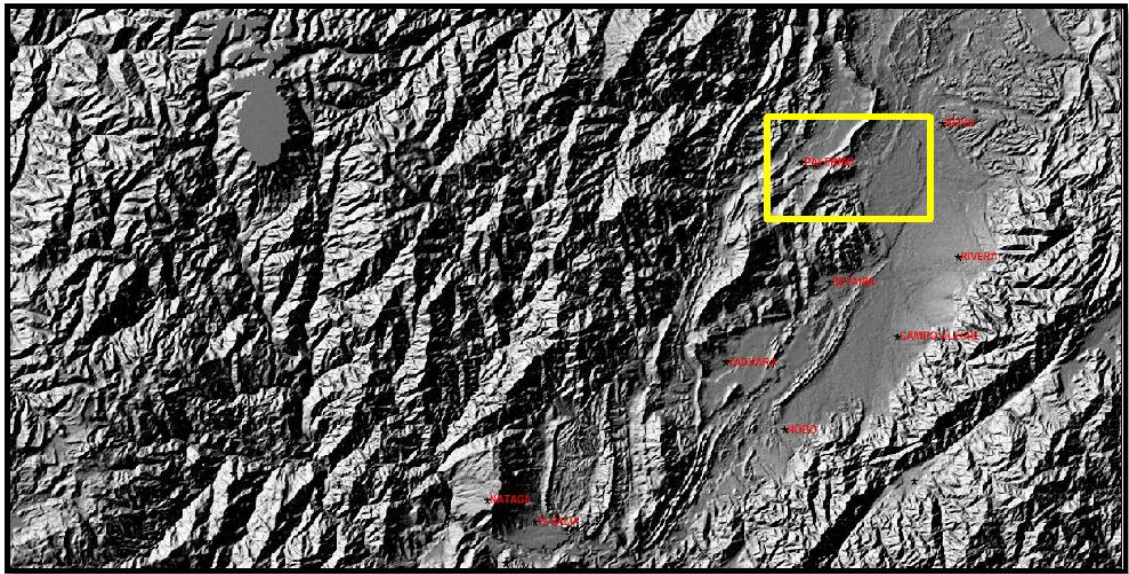


Figura 7: Área del proyecto donde se observa la morfología del piedemonte de la cordillera central diferenciando el basamento de la cobertura productiva. (Fuente: Imagen satélite Landsat)

4.2.2 COBERTURA PRODUCTIVA

La cobertura productiva de carácter sedimentario está determinada por dos secuencias deposicionales diferentes, caracterizada por presentar rocas de origen clástico y químico.

La primera se trata de una secuencia clástica marina depositada discordantemente sobre el basamento, va desde el Cretáceo Medio (Aptiano - Albiano) hasta la base del paleógeno (Paleoceno), en un ambiente marino a transicional desarrollando un ciclo regresivo depositándose en el área, las formaciones Yaví, Caballos, Villeta, Monserrate y Guaduala respectivamente (Fotografía 1).



Fotografía 1: Secuencia estratigráfica del cretácico

La segunda secuencia discordante está compuesta por rocas sedimentarias de origen continental, comprendidas desde el Eoceno hasta los depósitos recientes del Cuaternario, que correspondiendo así estratigráficamente a las formaciones Guaduala, Gualanday, Doima, Potrerillos, Honda, Gigante y Depósitos Cuaternarios.

Cada una de las formaciones que comprende la secuencia sedimentaria productiva en el VSM y que afectan sobre el área de estudio serán descritas a continuación.

En el área reconocida y cartografiada afloran las formaciones Caballos, Villeta, Honda y depósitos aluviales cuaternarios asociados a los drenajes de las quebradas de la zona. A continuación se presenta una descripción de los afloramientos presentes en las formaciones Caballos y Villeta reconocidas en campo.

4.2.2.1 FORMACION CABALLOS (Kc)

En el sector occidental del área de estudio se encuentra aflorando la formación Caballos Superior (Fotografía 3) con una potencia de aproximadamente 10 metros presentándose como un conjunto de estratificación media a gruesa compuesto por capas tabulares a localmente lenticulares conformadas por intercalaciones de areniscas y delgados niveles de arcillolitas y limolitas ferruginosas (Fotografía 4).



Fotografía 2: Areniscas medianamente fracturadas de la Formación Caballos.

Hacia la base se presenta una secuencia de areniscas de color gris claro a blancuzco duras, frescas y texturalmente conformadas por granos de tamaño fino a muy fino de formas sub-redondeadas a sub-angular, los granos están bien seleccionados, composicionalmente están conformadas por cuarzo de aspecto hialino traslucido y localmente lechoso (98%), presentan trazas de minerales pesados de tipo inmenita y oxidos de hierro, las rocas se encuentran cementadas con sílice. Las intercalaciones de arcillolitas se presentan en capas de

estratificación fina de textura arenosa y semiplástica y están parcialmente oxidadas. La lodolita es de color rojo, dura, compacta y fresca las partículas son de tamaño limo medio a fino y se compone por óxido de hierro.

Estructuralmente estas rocas hacen parte de una estructura monoclinal con una orientación de N25W / 21° SW.



Fotografía 3: Afloramiento de la Formación Caballos.



Fotografía 4: Capas de arcillolitas intercaladas con areniscas cuarzosas y limolitas ferruginosas.

4.2.2.2 FORMACION VILLETA (Kc)

Esta unidad aflora en la zona Noroccidente del área de estudio, presentándose como un conjunto de estratificación gruesa a media, conformado por intercalaciones de calizas y niveles de shales (Fotografía 5). Las calizas son duras, frescas, de color gris oscuro a negruzco y con un armazón conformado por fósiles embebidos en una matriz micrítica, se clasifica según folk como una biomicrita y según Dunham como Wackstone. Suprayace a esta secuencia un conjunto de estratificación fina a muy de Shales de color negro, blandos, frescos y muy fisiles. (Fotografía 6).

Estructuralmente estas rocas hacen parte de una estructura monoclinal con una orientación de N 80 W / 35° NE.



Fotografía 5: Afloramiento de la Formación Villeta



Fotografía 6: Shales de la Formación Villeta

4.2.2.3. FORMACIÓN HONDA (Nh)

Definido originalmente por Hettner (1892) con el nombre de Honda Sandstein, en cercanías a la población de Honda (Departamento del Tolima), sobre el río Magdalena (Valle Medio del Magdalena).

En el Valle Superior del Magdalena, el nombre de Series de Honda fue introducido por Stille (1907, 1938) en el área entre Coyaima y Natagaima. Es Royo y Gómez (1942) quien propone el nombre de Formación Honda, para la secuencia aflorante al norte de Villavieja (Huila), y divide la Formación en Honda superior, caracterizada por guijos de roca volcánica en los conglomerados, y Honda inferior, donde no se encuentra material volcánico, y es más arcillosa y de colores abigarrados.

Se puede dividir en dos unidades las cuales son:

Honda Inferior: Constituida por intercalaciones de arcillolitas rojas, cafés rojizos y grises verdosos, interestratificadas con arenitas, algunas veces conglomeráticas, grises a grises verdosas.

Honda Superior: Conformada predominantemente por arenitas grises a blancas con algunas intercalaciones de lodolitas cafés rojizos a gris verdosas. Se depositó en ambientes fluviales, con facies de canal, abanicos de rotura (crevassessplay), llanura de inundación y lagos pantanosos. En algunos campos como Dina Terciarios es una formación productora.

4.2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Estructuralmente la subcuenca de Neiva se encuentra afectada por pliegues de tipo anticlinal y sinclinal y fallas geológicas. A continuación, se hace una breve descripción de las principales estructuras geológicas presentes y reconocidas en el área para este proyecto y que son considerados de gran importancia.

4.2.3.1 PLIEGUES

Los pliegues observados en el área son de carácter regional y local, afectan las rocas sedimentarias e ígneas presentes en el área. Los pliegues en general tienen una orientación N-S y N-E.

Anticlinal El Indio: Es una estructura alargada, localizada en el occidente de la zona, siendo un pliegue asimétrico con dirección N-S cabeceando hacia el norte. En su núcleo se encuentran rocas jurásicas de la formación Saldaña, afectando unidades cretácicas como la formación Caballos. Es extraído por acción de la falla de Betania.

Sinclinal de Nazaret: Corresponde a una estructura estrecha y apretada orientada en dirección N17°E, con un fuerte cabeceo hacia el norte. Nucleada por la formación Villeta (Olini y Tabla), a lo largo del flanco occidental y parcialmente en el núcleo. Se encuentra afectado por las fallas de cabalgamiento.

Pliegues menores: Sinclinal La Floresta Localizado al noroccidente del área de estudio, se comporta como una pequeña estructura simétrica de rumbo N35°E el cual afecta rocas de la Formación Villeta.

4.2.3.2 FALLAS

Se identifican en la zona fallas regionales y locales asociadas principalmente al sistema de fallas de Buenavista y Betania.

Falla Betania: La Falla Betania tiene vergencia al suroriente con inclinación del plano hacia el noroccidente con un rumbo de N15°W, localizada al occidente del área de estudio afectando las rocas de la cobertura productiva y depósitos cuaternarios; Esta estructura geológica se constituye en una de las más destacadas en la geología del Departamento del Huila, después de las fallas que conforman los límites de las cordilleras con el valle del río Magdalena. Dio lugar al

levantamiento que conforma un cinturón de cabalgamiento de escamación gruesa, que asociado al Piedemonte de la cordillera central pone en contacto principalmente rocas antiguas del Jurásico con las rocas sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno del VSM.

Falla Buenavista: Se considera como una de las fallas más importantes del área del estudio, dirección aproximada N 35 E, girando para volverse casi N-S. Buza al oeste. Su traza se localiza al occidente de Neiva a una distancia mínima de 2,5 km aproximadamente y al oriente del área de estudio. Pone en contacto rocas de la Formación Gigante con rocas del Grupo Honda. Afectando depósitos cuaternarios en los cuales ha manifestado actividad reciente. (Gonzalez Letrado, Gonzalez Lopez, & Sterling Cabrera, 2015)

5. TRABAJO DE CAMPO

En el presente capítulo se describe todas las actividades realizadas en campo entre las cuales se destacan:

- Revisión y ajuste de la cartografía geológica de la zona 2 Roja a escala 1:5000.
- Registro de *Loggin* del pozo Buenavista-1 y realización de la columna estratigráfica.
- Realización de 4 sondeos geoelectricos verticales.

5.1 GEOLOGIA LOCAL

Basados en la información cartográfica procesada por el grupo Roja en la zona de influencia directa del proyecto fue realizado el levantamiento geológico del área de interés a escala 1:5000 (véase tabla TRACKS) y el levantamiento de columnas estratigráficas. La formación Honda fue dividida informalmente en tres miembros de acuerdo a sus características litológicas y relación estratigráfica con los rezumaderos, que de base a techo fueron designadas como Nh1, Nh2 y Nh3 respectivamente.

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias correspondientes estratigráficamente a la formación Honda y depósitos cuaternarios asociados a terrazas del río Magdalena y los drenajes locales. De acuerdo a la cartografía geológica de la zona representada en el mapa 1:5000 (Véase Plano 1)

La realización de este proyecto se complementó con la toma de muestras de ripios de perforación en el desarrollo del pozo Buenavista-1. La perforación de dicho pozo tuvo una duración de un mes (1), en los cuales se recolectaron y describieron las muestras cada metro para la realización de la Columna Estratigráfica Pozo de Agua Buenavista-1. (Fotografía 7). Por lo que permitió la descripción litológica a detalle del miembro Nh1 de la formación Honda. (Véase Columna 1).



Fotografía 7: Toma de Muestras Pozo de Agua Buenavista-1.

5.1.1 MIEMBRO NH1

Morfológicamente esta unidad se expresa como una topografía baja pero irregular con escalones y pendientes estructurales cortas siguiendo un control litológico sobre unidades competentes.

Esta formación aflora en el sector noroccidental de área, siendo disectada por la quebrada el Gallinazo quien la corta en dirección S-N. Para el trabajo (Nh1) este paquete es correlacionable con la base de la Formación La Victoria definida por Guerrero (1991) y también denominada Formación Cervatana definida por Takai et, Al (1992).

El miembro Nh1 con un espesor de 82 metros, se encuentra representado por conglomerados (70%), areniscas e intercalaciones de limolitas (20%), lodolitas y arcillolitas (10%).

Hacia la base y en contacto cubierto y/o discordante con las formaciones cretácicas aflora una secuencia de 45 metros de espesor de rocas sedimentarias clásticas conformadas por conglomerados con delgadas intercalaciones de

areniscas, areniscas conglomeráticas, y limolitas en capas de estratificación gruesa a media de conglomerados gris claro a oscuro, matriz-soportada a clastosoportada. Los conglomerados de colores gris amarillentos a gris claros y oscuros, cuando se encuentran impregnados, están conformados por fragmentos de Cantos (20%), Guijas (50%), Guijarros (20%), Granos y gránulos (10%) denominando el tamaño guija, guijarro de forma subredondeadas a subangulares y muy fracturados embebidos en una matriz de arena gruesa. Los conglomerados son de carácter olimictico conformados por fragmentos de cuarzo, limolitas síliceas, areniscas y minerales silíceos. La roca esta regularmente seleccionada y presenta buenas características de porosidad y permeabilidad; esta secuencia muestra hacia la base del Nh1 algunas capas lenticulares de areniscas y areniscas conglomeráticas, como también estructuras sedimentaria de tipo paliocanales.

Suprayaciendo a esta unidad conglomerática se observa una secuencia de 12 metros de areniscas de grano fino a grueso con buena selección. Estas areniscas se denominan en la literatura geológica de acuerdo a su presentación como “sal y pimienta” por sus tonos claros con motes gris oscuros ya que predomina en sus granos el cuarzo lechoso y el chert. Se visualizan estructuras sedimentarias de estratificación graduada normal y estratificación cruzada planar.

Suprayaciendo se presentan 25 metros de una secuencia de rocas clásticas fina conformada principalmente de lodolitas y arcillolitas 70%, frente a un 30% de areniscas y areniscas conglomeráticas. Las lodolitas y arcillolitas son de colores gris claros a verdosos y en general se encuentran totalmente cubiertas por depósitos cuaternarios aflorando en la disección de los drenajes, se exhiben en capas de estratificación fina a gruesa en bancos de 0.5 a 1.5 metros. Las areniscas y las areniscas conglomeráticas presentan notoria lenticularidad en capas de hasta 1.5 metros. Es común observar en el tope de esta secuencia que las areniscas graden lateralmente a limolitas

Este miembro dividido litológicamente para este trabajo es considerado el más importante ya que en él se encuentran los rezumaderos e impregnaciones de rocas objeto de este estudio. (Véase fotografía 8)



Fotografía 8: Rocas del Miembro Nh1 de la Formación Honda.

5.1.2 MIEMBRO NH2

Con un espesor real de 60 m, aflora parcialmente en el sector central de Buenavista, La Esperanza; se presenta una secuencia de rocas sedimentarias clásticas, conformadas por arcillolitas con intercalaciones de conglomerados y areniscas, hacia la base se presenta diez metros (10m) de arcillolitas en capas de estratificación fina a muy fina, de colores rojos a verdes claros y rojos moteados de blanco (abigarrado) estas son plásticas, localmente se observan lentes de limolitas y arenitas, suprayace capas de 15 metros de areniscas de estratificación media a gruesa de color gris verduzco y conformada por granos de tamaño medio a grueso, de formas sub redondeadas a tamaños sub angulares, conformada por cuarzo, fragmentos de lutitas, y feldespatos embebidos en una matriz limo-

arcillosa y de cementación regular. Presenta estratificación cruzada de bajo ángulo en su base y hacia el tope estratificación gradada inversa.

La parte media de esta sección se encuentra representada por arcillolitas con un espesor de diez metros (10 m), estas son semiplásticas en capas de estratificación media a gruesa; hacia el tope de Nh2 hay predominio de rocas clásticas, gruesas, representada por conglomerados con lentes de areniscas; los conglomerados son de color gris claro a amarillo, naturalmente fracturados y conformados texturalmente por fragmentos de tamaño guijas, gujarros y gránulos de formas subredondeadas y regularmente seleccionados. Composicionalmente los conglomerados es de carácter olimictico, conformado por fragmentos de cuarzo hialino (30%), chert negro a gris claro (35%), fragmentos de roca: limolitas y areniscas (10%) y minerales silíceos (25%), representados por ágatas, jaspes, jades y puntualmente xilópalos.

Las propiedades petrofísicas de esta sección muestran altos grados de impermeabilidad en las arcillolitas sin embargo, las areniscas y conglomerados presentan buenos valores de porosidad y permeabilidad.

En el nivel estratigráfico Nh2 no se encuentran trazas de hidrocarburos. Es común en el área donde aflora en Nh2 que en el suelo se presente con pantanos y charcos localmente formando lagunas, dando como producto niveles freáticos colgados debido a la presencia de lentes de arcillas. (Véase fotografía 9)



Fotografía 9: Afloramiento del Miembro Nh2 de la Formación Honda.

5.1.3 MIEMBRO NH3

Esta unidad aflora en la región sur-centro del área en contacto fallado con la falla Buenavista y en algunos otros sectores en contacto cubierto con depósitos cuaternarios. (Véase fotografía 10) Con un espesor real de nueve metros la secuencia se inicia con un conjunto de estratificación grueso de tres metros de espesor conformada litológicamente por conglomerados de color gris claro a blancuzco con tonalidades rojizas cuando esta semi-meteorizado, son duros, medianamente fracturados, texturalmente están conformados por fragmentos de tamaños que van desde guijas 30%, guijarros 50%, y gránulos 20%; de forma subredondeadas a redondeadas y embebidos en una matriz de arena de color blanco amarillento de grano medio a grueso; los conglomerados se encuentran cementados por sílice, en los planos de estratificación se observan Óxidos de Hierro; se observan lentes de areniscas de tamaño reducido.

Suprayaciendo a este nivel se encuentra una capa de estratificación media a gruesa de tres metros (3 m) conformadas por: conglomerados con delgadas intercalaciones de areniscas en capas medias a finas de carácter lenticular; composicionalmente. Las areniscas se presentan en capas de forma lenticular, pinchándose con los niveles conglomeráticos. Las areniscas son friables, poco, cementadas y los conglomerados de carácter polimictico, estos lentes son porosos y permeables.

Por encima de este nivel de conglomerados con lentes de arena se encuentran tres metros (3 m) de una unidad litológica con dominio de arcillolitas (1 m) que son de colores gris, verde a rojizas; en capas de estratificación fina a muy fina y de comportamiento semiplastico. Los últimos dos metros (2 m) están conformados por conglomerados polimicticos de color gris claro a blancuzco con tonalidades rojizas cuando esta semi-meteorizado, son duros, medianamente fracturados, y de acuerdo al análisis granulométrico realizado por el *Museo Geológico y del Petróleo* por el método de Boyucos, arenas 55%, limo 15% y 30% arcillas texturalmente están conformados por fragmentos de tamaños que van desde guijas 35%, guijarros 50%, y gránulos 15%; de forma subredondeadas a redondeadas y embebidos en una matriz de arena de color blanco amarillento de grano medio a grueso; los conglomerados se encuentran cementados por sílice, en los planos de estratificación se observan Óxidos de Hierro.

Composicionalmente los conglomerados son de carácter polimicticos, conformado por fragmentos predominantemente de cuarzo lechoso, cuarzo hialino, chert negro, y ágatas. También se observan fragmentos de tipo ígneo como las riolitas y las dacitas.

Las arcillolitas en los últimos tres metros de la unidad crean un sello estratigráfico, además se encontró que tiene una porosidad y permeabilidad buena con transmisibilidad de agua comportándose como un acuífero local, no se observan trazas de hidrocarburos asociados a estas rocas. (Véase fotografía 10).



Fotografía 10: Afloramiento del Miembro Nh3 de la Formación Honda.

5.1.4 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

En el área de estudio se han identificado varios tipos de depósitos cuaternarios, los cuales se han diferenciado en: depósitos de terraza asociados a la dinámica del río Magdalena, depósitos coluviales asociados a los piedemontes y laderas y depósitos aluviales (Véase fotografía 11)



Fotografía 11. Terrazas aluviales presentes en el área de estudio.

5.1.5 DEPÓSITOS DE TERRAZA

En el análisis realizado a imágenes de elevación digital y de satélite en el área de estudio se reconocieron algunos depósitos aluviales antiguos caracterizados por una morfología de terreno plano donde está condicionada al sistema de riego del Juncal y utilizada para el cultivo de arroz y sorgo. Esta unidad se localiza al oriente del área y en los predios de la casa de la Hacienda Buenavista se presentan algunos afloramientos en los cuales se pueden observar la presencia de conglomerados olomicticos bien consolidados (Véase fotografía 12)



Fotografía 12: Depósitos de terraza con cultivo de arroz vía Hacienda Buenavista.

5.1.5.1 DEPÓSITOS COLUVIALES

Estos depósitos están asociados a los piedemontes y patas de taludes en zonas de alto fracturamiento o zonas de falla. Debido a su poca magnitud no se representan en la cartografía presentada en este proyecto.

5.1.5.2 DEPÓSITOS ALUVIALES

Están representados por los depósitos recientes asociados a los drenajes de las quebradas El Gallinazo, La Sardinata y el Paraíso. De acuerdo al análisis realizado se considera que los depósitos aluviales de la quebrada el Gallinazo y Sardinata son los más importantes ya que parte de ellos se encuentran impregnados de hidrocarburos (Veáse fotografía 13).



Fotografía 13: Depósitos aluviales en donde se presenta emanación de hidrocarburo.

Deposito aluvial de la quebrada el Gallinazo

Este depósito fue reconocido a lo largo de 200 metros y está conformado por capas de limo y arena, y fragmentos de bloques y cantos de rocas adyacentes al drenaje principal.

5.2 REZUMADEROS DE HIDROCARBUROS EN LA ZONA

En la zona de estudio se encuentran siete (7) rezumaderos de petróleo tanto activos como fósiles, por practicidad y basándose en a la localización de estos rezumaderos, asociados a las cuencas de las quebradas La Gallina y Sardinata, el área de estudio se dividió en tres sub-zonas, la zona norte, centro y sur. De acuerdo a la valoración de estas zonas fue escogido para este proyecto la zona central con los rezumaderos El Gallinazo 1, Gallinazo 2 y el Patillo (Véase figura 8 y Tabla 3).

Tabla 3. Ubicación y tipos de rezumaderos en la zona de estudio.

REZUMADERO	COORDENADAS		SUB ZONA	TIPO DE REZUMADERO	FORMACION
	NORTE	ESTE			
Patillo	808791	856727	Centro	Activo	Honda
Gallinazo 1	808704	856612	Centro	Activo	Honda
Gallinazo 2	808632	856471	Centro	Activo	Honda
Candileja	809687	856405	Norte	Activo	Honda
Ultimo	809174	856458	Norte	Fósil	Honda
Niño	807408	856514	Sur	Activo	Honda
Oscuro	807411	856469	Sur	Activo	Honda

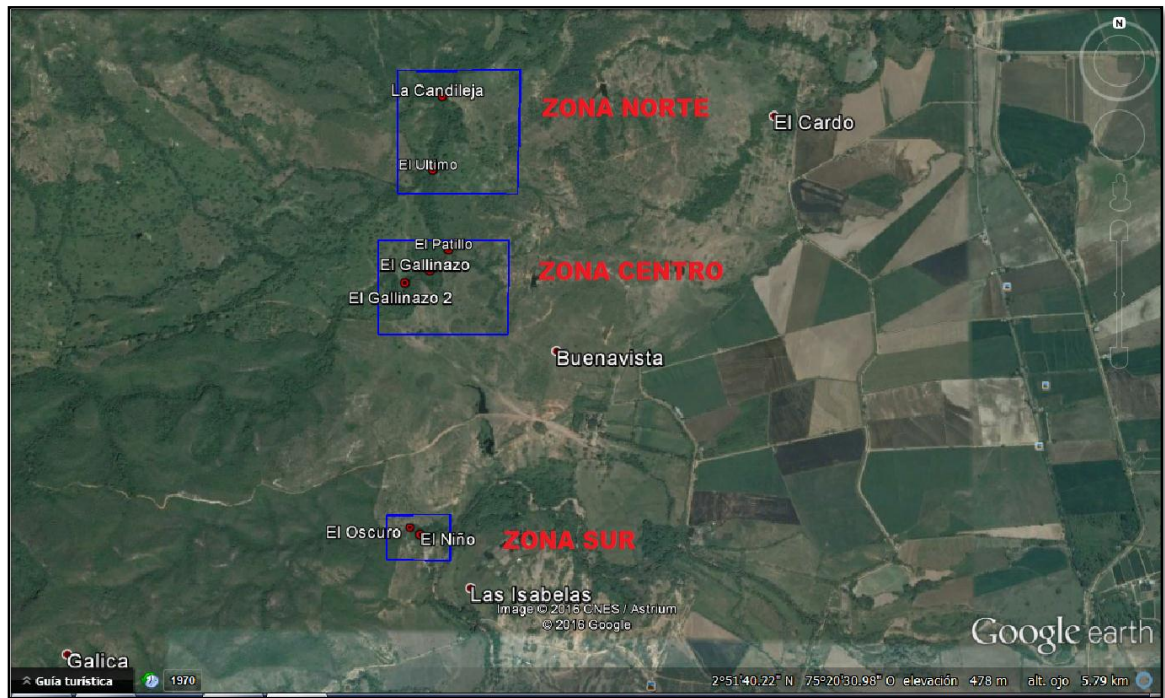


Figura 8. Localización de sub-zonas de estudio. (Fuente: Google Earth versión libre)

5.2.1 REZUMADERO EL PATILLO

Ubicado en un drenaje a aproximadamente a 118 metros a mano derecha del cauce principal de la quebrada la Gallina, es un rezumadero activo presentándose en forma de ojos impregnando así niveles conglomeráticos, pertenecientes al miembro Nh1 de la formación Honda y también depósitos cuaternarios aluviales asociados al cauce de la quebrada. (Véase Fotografía 14 y Fotografía 15).



Fotografía 14: Ojo de emanación de hidrocarburos del rezumadero El Patillo.



Fotografía 15: Impregnación sobre niveles conglomeráticos de la formación Honda.

5.2.2 REZUMADERO EL GALLINAZO 1

Localizado a un costado de la quebrada La Gallina, es un rezumadero activo que se presenta como un encharcamiento de dimensiones de 2 metros de ancho por aproximadamente 6 metros de largo. (Véase fotografía 16).

El rezumadero emana sobre depósitos cuaternarios aluviales de la quebrada e impregna rocas del miembro Nh1 que allí afloran. Sobre la quebrada se encuentra un afloramiento de estratificación media a gruesa de 3 metros de potencia presentando una secuencia de rocas clásticas conformadas por conglomerados de carácter olimictico, areniscas líticas ligeramente conglomeraticas e intercalaciones de arcillolitas. (Véase fotografía 17).



Fotografía 16. Rezumadero el Gallinazo 1.



Fotografía 17. Afloramiento de la formación Honda.

5.2.3 REZUMADERO EL GALLINAZO 2

Localizado al costado izquierdo de la quebrada La Gallina, es un rezumadero activo de dimensiones de 2 metros de ancho por 12 metros de largo, presentando un punto de emanación de hidrocarburos que impregna el ambiente que lo rodea. (Véase fotografía 18).

Este rezumadero está ubicado sobre depósitos cuaternarios de tipo aluvial y están conformados por fragmentos de tamaños cantos, guijas, guijarros y gránulos embebidos en una matriz limo-arenosa no consolidada. Sobre la quebrada se encuentra un afloramiento de la formación Honda de areniscas impregnadas de hidrocarburos (Véase Fotografía 19), con orientación de N25E y una inclinación de 16°SE. Las areniscas de color café oscuro, son blandas, friables y semi-meteorizadas, con granos de tamaño medio a fino de forma sub-redondeada a sub-angular, muy bien seleccionados, con una matriz limosa. Presenta estratificación cruzada, y la impregnación se denota con mayor dominio sobre esta estructura sedimentaria.



Fotografía 18. Rezumadero el Gallinazo 2.



Fotografía 19. Afloramiento de areniscas de la formación Honda.

6. GEOLOGIA ECONOMICA

Para la valoración económica de prospecto de asfaltos naturales se realizaron dos actividades las cuales son el registro *Loggin* del pozo de agua Buenavista-1 con el objetivo de hacer el registro estratigráfico y determinar si existían impregnaciones de hidrocarburo a profundidad. También fueron realizados cuatros sondeos geo eléctricos en áreas asociadas a los rezumaderos con el objetivo de determinar la impregnación a profundidad y así poder evaluar el volumen y las reservas del material asfáltico con el fin de determinar la viabilidad económica del prospecto.

6.1 POZO BUENAVISTA-1

La compañía Rubio y asociados perforó el pozo Buenavista-1 de acuerdo a la solicitud del Señor Eufracio Collazos Alarcon con el objetivo de prospectar aguas subterráneas para abastecer la demanda ganadera de la hacienda. El geólogo Carlos Adán Rubio Luna, Co-director del presente trabajo, autorizo a los ejecutores del proyecto a participar en la perforación y tomar las muestras de los ripios para realizarles un análisis petrográfico posterior en el Laboratorio de Rocas de la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana. Los datos del pozo son los siguientes:

- ⇒ Equipo: CHICAGO NEUMATIC-T7000 montado en camión doble troque de 60 toneladas. Torre de trece metros, con cuatro bombas hidráulicas y tres motores
- ⇒ Fecha de inicio: 19 Diciembre 2015
- ⇒ Fecha de terminación: 26 Diciembre 2015
- ⇒ Datos técnicos (profundidad completamiento): Profundidad total de 77 metros, completado con grava y tubería PVC de 6 pulgadas. Filtros ubicados a 47 metros, 53 metros y 65 metros.
- ⇒ Volumetría del agua: 2.3 L/s

6.2 REGISTRO LOGGING

La descripción estratigráfica del pozo Buenavista-1 se presenta en el Plano 1 en el cual se muestra la descripción petrográfica detallada de los ripios extraídos de la perforación y tomados cada metro, almacenados y empacados debido a las normas técnicas establecidos para esto.



Fotografía 20: Pozo Buenavista-1

Estratigráficamente el pozo fue perforado en las unidades Nh1 y Nh2 sin observar en su registro ninguna traza de hidrocarburos o roca impregnada. A continuación se describe de forma general de techo a base la litología perforada en este pozo (Fotografía 20)

El Miembro Nh2 en el cual se inicia la perforación, presenta un espesor real de 19 metros, su descripción geológica se presenta en este texto de tope a base y

presenta un espesor geoestratigráfico de 18 metros y está conformado hacia el tope principalmente por arcillolitas de color gris claro a rojizo, localmente moteadas, es común a medida que profundiza la perforación encontrar niveles de areniscas de color gris claro amarillento y de grano medio a grueso y de tipo litoarenitas. Infrayace a esta secuencia 4 metros de arcillolitas abigarrreadas semiplásticas homogéneas con esporádicos lentes de litoarenitas.

Infrayace a esta secuencia de arcillolitas una secuencia monótona de areniscas líticas de color gris claro, predominando hacia el tope lentes arcillosos y hacia la base lentes conglomeraticos.

De acuerdo a las características litológicas observadas y el cambio de facies manifestado en un aumento progresivo en el régimen de flujo, se determina el contacto entre Nh2 y Nh1.

El miembro Nh1 en el pozo perforado, presenta un espesor de 58 metros y se presenta como una frecuencia monótona de areniscas líticas hacia el tope y hacia la base niveles de conglomerados de carácter polimictico con delgadas intercalaciones de areniscas líticas.

El registro detallado de la unidad Nh1 se presenta en la Columna 1 y siendo el objetivo principal detectar y determinar la zona impregnada de hidrocarburos aflorantes en los rezumaderos El gallinazo 1, gallinazo 2 y El Patillo no fue cumplido ya que no se observó ninguna litología impregnada de hidrocarburos.

Aunque, este sector estratigráfico asociado a los conglomerados es de gran importancia en el campo hidrológico ya que aquí fue donde se encontraron los acuíferos que serán explotados como objetivo central en la perforación del pozo.

6.3 SONDEOS GEOELECTRICOS

Hasta el momento no se tiene ningún registro bibliográfico en el cual se apliquen sondeos geoeléctricos para determinar la presencia de hidrocarburos o material asfáltico presentes en el subsuelo. De acuerdo a consultas técnicas y con el apoyo

del codirector de este proyecto Geólogo Carlos Adán Rubio Luna, se consideró viable la ejecución de 4 sondeos geoelectricos.

A continuación se describe la metodología con la cual se desarrolló el trabajo de campo, desde la localización de los sondeos hasta la obtención de los resultados.

6.3.4 LOCALIZACION DE LOS SONDEOS

En total se realizaron cuatro (4) sondeos geoelectricos ubicados específicamente dentro de la cuenca de la quebrada La Gallina localizada en la parte central del área de estudio (véase figura 8), donde se encuentran asociados los rezumaderos ya mencionados anteriormente. Los sondeos se llevaron a cabo en orientación paralela tanto al cauce de la quebrada como al rumbo de las capas de la formación Honda que afloran en la zona, cada sondeo tuvo una extensión total de 150 metros. La ubicación de los sondeos se puede observar en la Tabla 4 y en la Figura 9.



Figura 9. Ubicación y orientación de los Sondeos geoelectricos. Fuente: Google Earth versión libre.

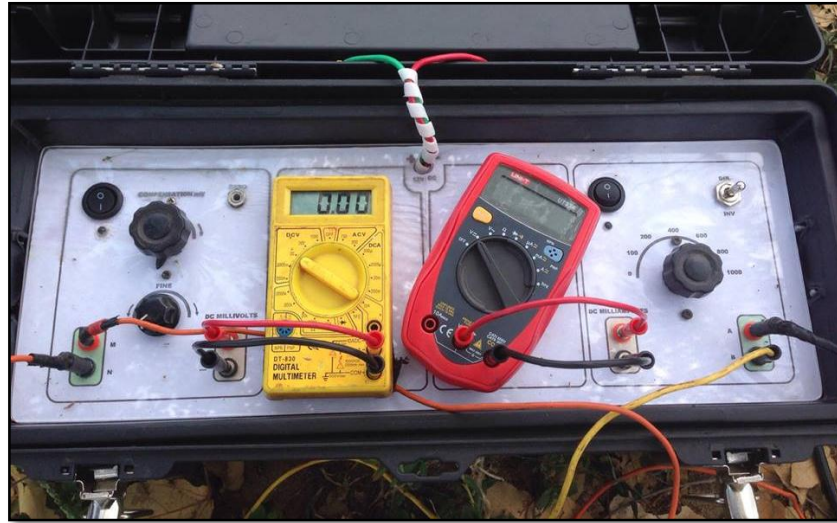
Tabla 4. Ubicación de los sondeos geoelectricos

SONDEO	LOCALIZACION		ALTURA
	ESTE	NORTE	
SEV 1	856658	808733	509 m
SEV 2	856545	808464	524 m
SEV 3	856761	808667	513 m
SEV 4	856686	808668	515 m

6.3.5 EQUIPOS Y ADQUISICION DE DATOS

Para la elaboración de los sondeos Geoelectricos se contó con el equipo “Terrameter” de la empresa Carlos Rubio y Asociados, el cual consta de una

fuente de poder, conectada a la caja de mando, dos multímetros, para leer el diferencial de potencial y la corriente eléctrica aplicada, los cuales se acoplan en la caja de mando o control, cuatro electrodos y varios cables. véase fotografía 17, se muestra el equipo de medición geoelectrica.



Fotografía 21. Equipo para sondeo geoelectrico C.A. Rubio

Una vez se determinó la mejor ubicación para realizar el sondeo, se desplazó el equipo a el punto escogido y se procede ubicar los electrodos enterrándolos con un martillo en la primera posición según la configuración Schlumberger, el arreglo en general está compuesto por cuatro varillas metálicas, las cuales cumplen la función de electrodos, cuatro carretes de cable de longitud aproximada a quinientos metros, cada uno, cuatro pinzas que se usan para conectar los cables de los carretes a las varillas, y cuatro cables de aproximadamente un metro de largo que son utilizados para conectar el cable de los carretes a la caja de mando. (Fotografía 21). Es importante revisar que todos los puntos del sistema estén bien conectados y tengan continuidad. Una vez se acciona el interruptor se registran los valores de voltaje y corriente para cada medida $AB/2$; para este estudio la amplitud máxima de $AB/2$ fue de 75 metros.



Fotografía 22. Equipo para sondeo geoelectrico C.A. Rubio, arreglo Schlumberger



Fotografía 23. Desarrollo de un sondeo geoelectrico.

6.3.6 RESULTADOS

Los datos recolectados en campo, correspondientes al voltaje (mV) y corriente (mA) para cada longitud AB/2 (m), se procesan en el software IPI2WIN el cual arroja valores de resistividades aparentes y una serie de gráficas para su posterior interpretación y así poder elaborar un perfil Geoeléctrico.

Para la determinación de la litología fue necesario realizar un levantamiento estratigráfico en la zona tanto para realizar el perfil como para determinar los valores base de resistividad correspondiente a cada capa

6.3.6.1 SONDEO ELECTRICO VERTICAL 1

Tabla 5. Datos tomados en campo para el SEV-1.

SEV 1					
AB/2 (m)	MN (m)	V (mV)	I (mA)	Kte (m)	ρ_a (Ω m)
1.5	1	2950	1900	6.2832	9.75
2.5	1	870	1900	18.85	8.6
4	1	340	1910	49.48	8.7
6	1	155	1920	112.31	9.1
8	1	94	1920	200.28	9.8
10	1	62	1900	313.37	10.2
12	1	42	1900	451.6	10
15	1	28	1850	706.07	10.7
20	1	15	1770	1256	10.7
25	1	8.4	1780	1963	9.2
30	1	4.95	1700	2827	8.2
30	20	136	1720	125.66	10
40	20	71	1750	235.62	9.6
50	20	40.5	1760	376.99	8.7
60	20	26.5	1800	549.78	8.1
75	20	16.5	1820	867.86	7.9

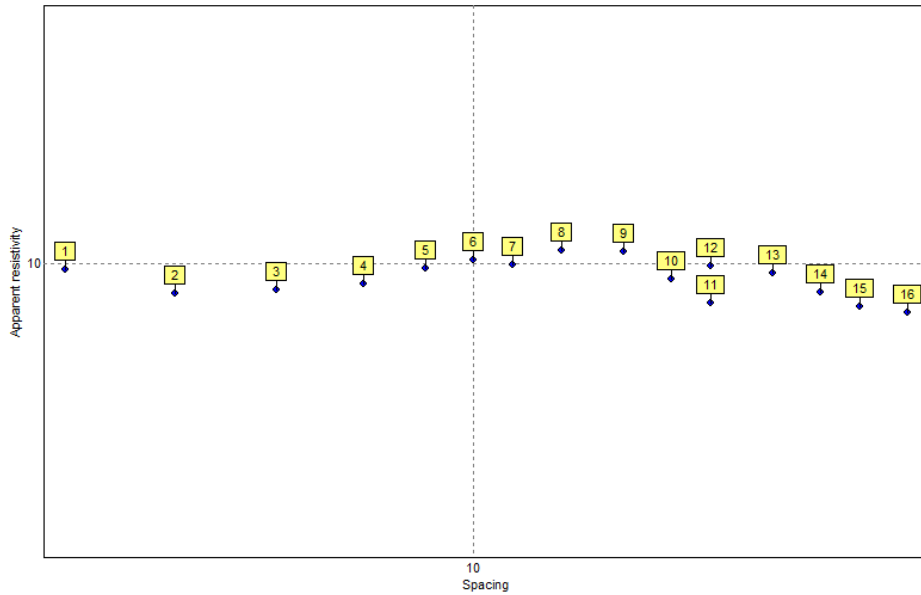
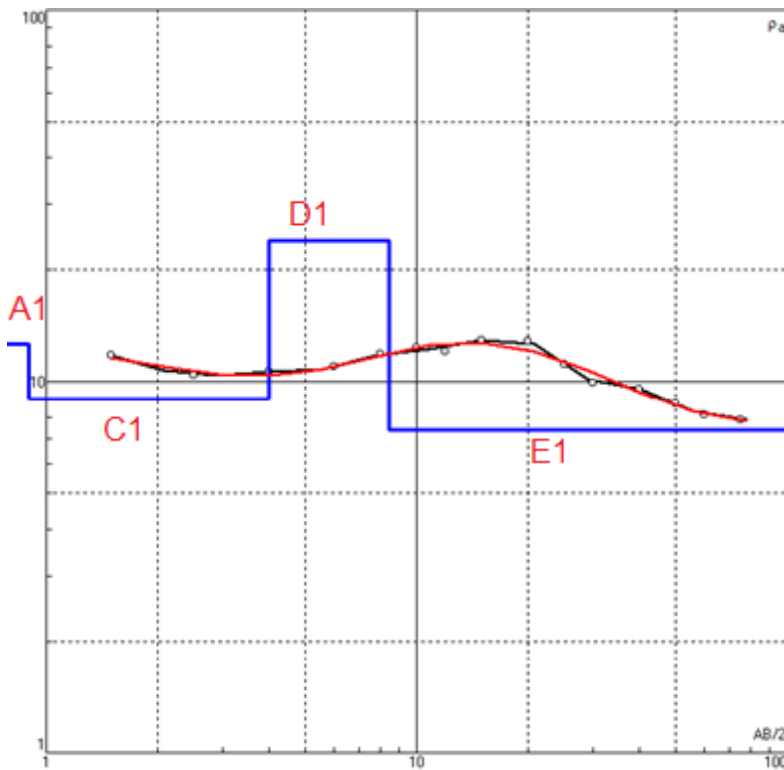


Figura 10. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV1 (Tomada IPI2Win)



N	ρ	h	d	Alt
1	12.6	0.9	0.9	-0.9
2	8.97	3.1	4	-4.003
3	23.9	4.43	8.44	-8.437
4	7.37			

Figura 11. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV1 y Tabla de Resistividad y Profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)

Tabla 6. Resultado Sondeo Geoeléctrico SEV-1.

CAPA	RESISTIVIDAD ohm-m	PROFUNDIDAD M	ESPESOR M	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
A ₁	12.6	0.9	0.9	Suelo residual
C ₁	8.97	4.0	3.1	Capa de arcillolitas
D ₁	23.9	8.44	4.43	Capa de conglomerados con impregnación de hidrocarburos
E ₁	7.37			Capa de arcillolitas

6.3.6.2 SONDEO ELECTRICO VERTICAL 2

Tabla 7. Datos tomados en campo para el SEV-2.

SEV 2					
AB/2 (m)	MN (m)	V (mV)	I (mA)	Kte (m)	ρ_a (Ω m)
1.5	1	1840	134	6.28	86.3
2.5	1	330	105	18.85	59.2
4	1	104	113	49.48	45.5
6	1	19	62.5	112.31	34.1
8	1	8.2	63	200.28	26.1
10	1	5.8	104	313.37	17.5
12	1	4.3	125	451.6	15.5
15	1	2.3	138	706.07	11.7
20	1	1.2	167	1256	9
25	1	0.5	131	1963	7.5
30	1	0.2	116	2827	4.87
30	20	10.1	126	125.66	10.1
40	20	3.6	114	235.62	7.4
50	20	2.3	120	376.99	7.2
60	20	2.1	150	549.78	7.7
75	20	1.1	130	867.86	7.3
75	50	3.2	123	314.16	8.2

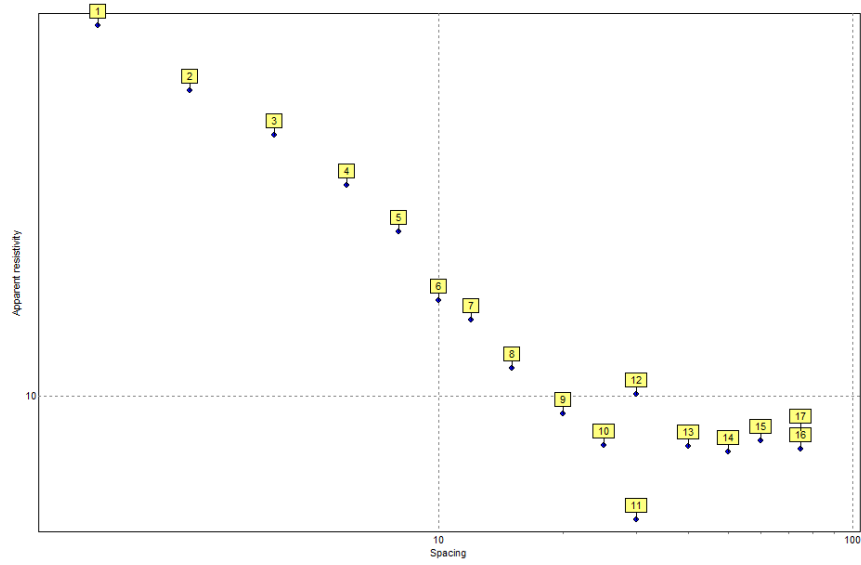
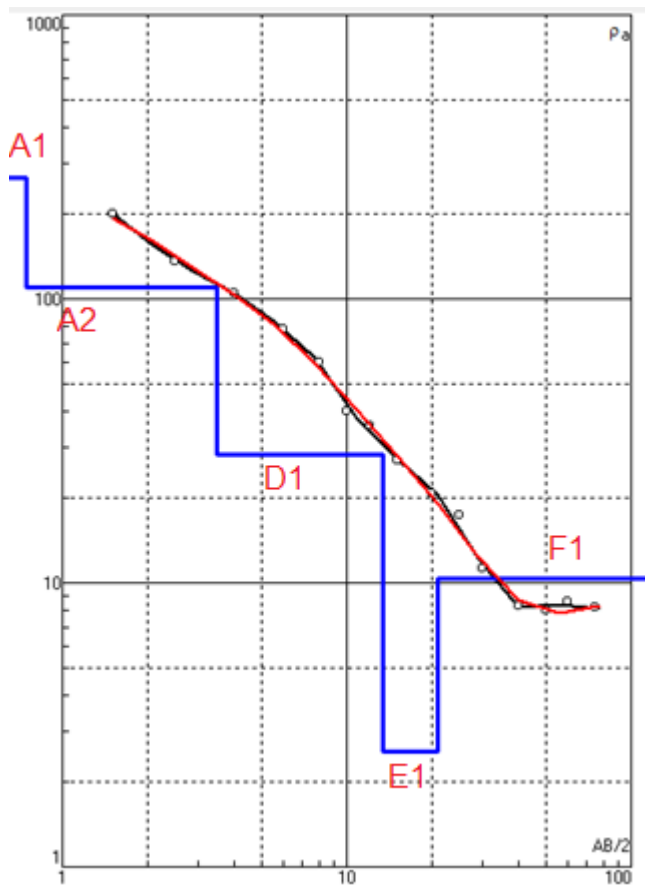


Figura 12. Grafica Log ρ_a vs. AB/2 para SEV2 (Tomada IPI2Win)



N	ρ	h	d	Alt
1	266	0.75	0.75	-0.75
2	110	2.76	3.51	-3.511
3	28.4	9.89	13.4	-13.4
4	2.54	7.58	21	-20.97
5	10.3			

Figura 13. Grafica Log ρ_a vs. AB/2 para SEV2 y Tabla de Resistividad y Profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)

Tabla 8. Resultado Sondeo Geoeléctrico SEV-2.

CAPA	RESISTIVIDAD ohm-m	PROFUNDIDAD m	ESPESOR m	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
A ₁	266	0.75	0.75	Suelo residual
A ₂	110	3.51	2.76	Suelo residual
D ₁	28.4	13.4	9.89	Capa de conglomerados con impregnación de hidrocarburos
E ₁	2.54	21	7.58	Capa de arcillolitas
F ₁	10.3			Capa de areniscas

6.3.6.3 SONDEO ELECTRICO VERTICAL 3.

Tabla 9. Datos tomados en campo para el SEV-3.

SEV 3					
AB/2 (m)	MN (m)	V (mV)	I (mA)	Kte (m)	ρ_a (Ω m)
1.5	1	370	169	6.2832	13.7
2.5	1	120	208	18.85	10.87
4	1	60	233	49.48	12.7
6	1	18	145	112.31	13.9
8	1	10	135	200.28	14.8
10	1	8.9	178	313.37	15.6
12	1	4.1	156	451.6	11.8
15	1	2.9	169	706.07	12.1
20	1	1.9	197	1256	12.1
25	1	0.9	190	1963	9.3
30	1	0.5	165	2827	8.5
30	20	12.3	164	125.66	9.4
40	20	4.4	139	235.62	7.5
50	20	2	95	376.99	7.9
60	20	2.2	148	549.78	8.2
75	20	1.5	136	867.86	9.5
75	50	3.6	134	314.16	8.4

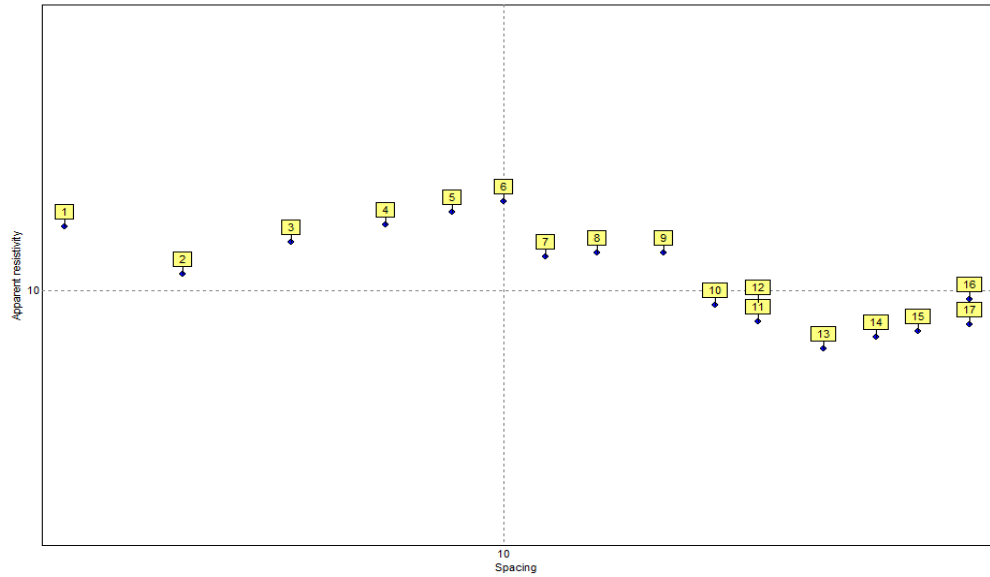


Figura 14. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV3 (Tomada IPI2Win).

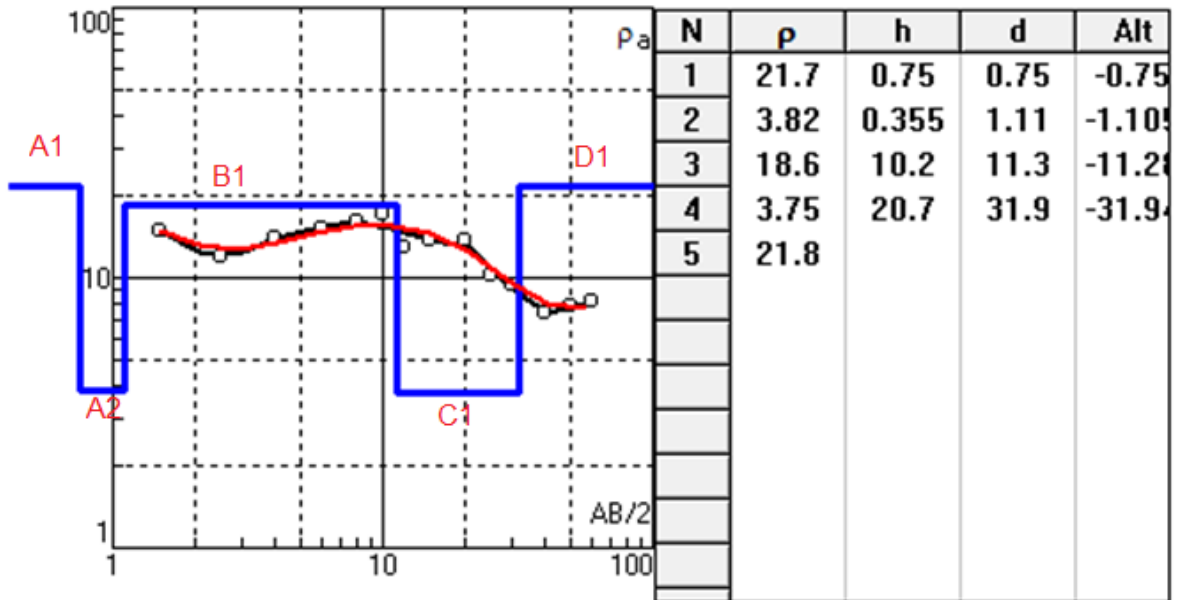


Figura 15. Grafica Log ρ_a vs. $AB/2$ para SEV3 y Tabla de Resistividad y Profundidad de las capas.
(Tomada IPI2Win)

Tabla 10. Resultado Sondeo Geoeléctrico SEV-3.

CAPA	RESISTIVIDAD ohm-m	PROFUNDIDAD m	ESPESOR m	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
A ₁	21.7	0.75	0.75	Suelo residual
A ₂	3.82	1.11	0.33	Suelo residual con características arcillosas
B ₁	18.6	11.3	10.2	Capa de areniscas gruesas
C ₁	3.75	31.9	20.7	Capa de arcillolitas
D ₁	21.8			Capa de conglomerados con impregnación de hidrocarburos

6.3.6.4 SONDEO ELECTRICO VERTICAL 4

Tabla 11. Datos tomados en campo para el SEV-4.

SEV 4					
AB/2 (m)	MN (m)	V (mV)	I (mA)	Kte (m)	ρ_a (Ω m)
1.5	1	1180	460	6.2832	16.11
2.5	1	370	499	18.85	13.97
4	1	165	510	49.48	16.00
6	1	65	502	112.31	14.54
8	1	32	454	200.28	14.12
10	1	26	547	313.37	14.89
12	1	17	530	451.6	14.48
15	1	11	553	706.07	14.04
20	1	6.2	510	1256	15.26
25	1	4.2	570	1963	14.46
30	1	2.8	555	2827	14.26
30	20	68	550	125.66	15.53
40	20	28	502	235.62	13.24
50	20	17	515	376.99	12.44
60	20	10	531	549.78	10.35
75	20	5.5	465	867.86	10.26
75	50	17	467	314.16	11.44

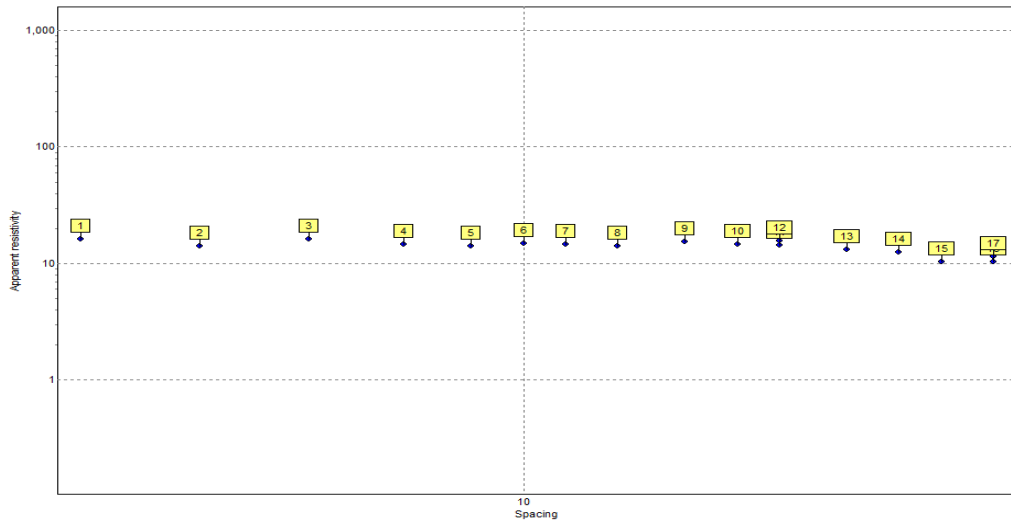
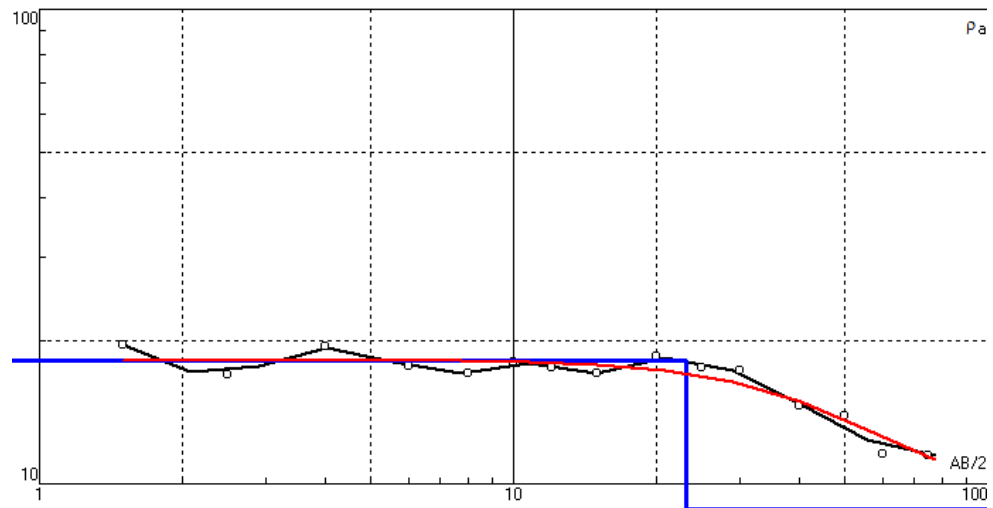


Figura 16. Grafica Log ρ_a vs. AB/2 para SEV4 (Tomada IPI2Win)



N	ρ	h	d	Alt
1	18.2	23.1	23.1	-23.15
2	8.81			

Figura 17. Grafica Log ρ_a vs. AB/2 para SEV4 y Tabla de Resistividad y Profundidad de las capas. (Tomada IPI2Win)

Tabla 12. Resultado Sondeo Geoeléctrico SEV-4.

CAPA	RESISTIVIDAD ohm-m	PROFUNDIDAD M	ESPESOR M	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
D ₁	18.2	23.1	23.1	Capa de conglomerados con impregnación de hidrocarburos
E ₁	8.81			Capa de arcillolitas

6.4 PERFIL GEOELECTRICO

Con base en los sondeos realizados se elaboraron dos perfiles geoelectricos, el Perfil 2 en sentido noreste, y el Perfil1 en sentido noroeste. (Véase Figura 18).



Figura18. Sentido de los perfiles geoelectricos. (Fuente: Google Maps versión libre)

A continuación se realiza la descripción de cada una de las capas encontradas en dichos perfiles, a partir de la interpretación geoelectrica y su relación con la geología.

-Capas A: se correlacionan con el material del suelo residual y niveles arcillosos. Estas capas no están saturadas de agua y su espesor se interpreta menor de 4 metros.

-Capa B: se interpretan como capas de areniscas de grano grueso. Con un espesor aproximado de diez metros. Presentes solamente en el SEV 3 debido a la dirección y buzamiento de las capas.

-Capas C: se correlaciona con una capa de arcillolitas, con un valor de resistividad bajo. En el SEV 1 el valor de la resistividad de esta capa está influenciado por los hidrocarburos, mostrando un valor mayor.

-Capa D: correspondiente a una capa de conglomerados o gravas, impregnada de hidrocarburos. Esta capa se encuentra en los tres sondeos realizados con un espesor promedio de siete metros, siendo esta la capa de interés para la realización del estimativo volumétrico de asfalto.

-Capa E: correspondiente a una capa de arcillolitas, haciéndose notoria en los sondeos 1 y 2.

-Capa F: pertinente a una capa de arenisca nuevamente encontrada en el sondeo número dos.

En total se identifican seis capas litológicas correspondientes a rocas sedimentarias clásticas pertenecientes a la formación Honda más específicamente al miembro Nh1; comienzan con una capa de arenas (Capa F) de espesor desconocido ya que los sondeos no fueron tan amplios para llegar a más profundidad, suprayacente a esta capa se encuentra la capa D correspondientes a conglomerados impregnados con un espesor promedio de siete metros en medio de dos capas de arcilla (E y C respectivamente), que actúan como sellos provocando que esta sea una capa de preferencia de flujo de fluidos. Ubicado por encima de la capa C, se encuentra la capa B de arenisca gruesa y por último, en el tope se encuentra el suelo residual correspondiente a la capa A.

El sentido del rumbo de las capas se observa en el Perfil 2, mientras que el Perfil 1 se realizó en el sentido del buzamiento. La disposición de estas capas fue corroborada posteriormente con la realización del SEV4, el cual fue localizado en un punto intermedio en el Perfil 2, cuyos resultados (Tabla 12) lo confirman, indicando que con el método geoelectrico es posible obtener datos con un alto porcentaje de confiabilidad.

6.5 CALCULOS DE RESERVA

6.5.1 ESTIMACION VOLUMEN DE ROCA IMPREGNADO

Para estimar el volumen de roca impregnada se determinó el área por medio de la fórmula de Heron ya que la figura delimitada por los sondeos es un triángulo irregular, para así multiplicarla por el espesor promedio de la capa. (Véase la figura 19).



Figura 19. Ubicación y distancia entre los sondeos geoelectricos (Fuente: Google Maps versión libre)

Calculo del área:

$$A_T = \sqrt{S * (S - A) * (S - B) * (S - C)}$$

$$S = \frac{A + B + C}{2}$$

Donde,

A = 292 m
B = 112 m
C = 294 m

Entonces,

$$S = \frac{292m + 112m + 294m}{2}$$

$$S = 349 m$$

$$A_T = \sqrt{349m * (349m - 292m) * (349m - 112m) * (349m - 294m)}$$

$$A_T = 16103 m^2$$

Para el volumen, se multiplica el área por el espesor promedio;

$$V = A_T * E$$

$$V = 16103m^2 * 7m$$

$$V = 112721 m^3$$

6.5.2 CÁLCULO DE LOS RECURSOS

Para cuantificar las reservas y recursos de un material del área que se pretende explotar, se procede al cálculo de los recursos aplicando la siguiente ecuación:

$$T_{Asfalto} = \frac{A * e * d}{\text{Cos } \varphi} * S$$

Donde,

A= Área (m²).

E= Espesor del bloque de mineral (m).

D= Peso específico del material (Ton/m³).

Φ= Inclinación del Bloque de mineral.

T= Toneladas del material.

S= Saturación de hidrocarburos del bloque.

$$T_{Asfalto} = \frac{112721 \text{ m}^3 * 2,4 \text{ Ton/m}^3}{\text{Cos } 15^\circ} * 0,8$$

$$T_{Asfalto} = 224.073 \text{ Toneladas}$$

Según los valores de la tabla de Precios y variaciones anuales para los minerales no metálicos actuales brindados por el UPME, se realizó un estimativo económico.

$$\text{Valor Economico} = 224.073 \text{ Ton} * \frac{\text{m}^3}{2,4 \text{ Ton}} * \frac{107.170,31 \text{ COP}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Valor Economico} = 10.005.822.030,00 \text{ COP}$$

CONCLUSIONES

El método geoelectrico permite determinar las diferentes capas litológicas en el subsuelo y la continuidad de los rezumaderos.

La cantidad de asfalto en el área delimitada por los sondeos geoelectricos es de 216.424 toneladas, lo que lo hace un prospecto de yacimiento interesante de material asfaltico para explotación ya sea a cielo abierto o explotación subterránea, ya que la proyección puede ser mucho mayor debido a la continuidad de la capa saturada por hidrocarburos. Se recomienda hacer un estudio más técnico y detallado para la elaboración de un proyecto minero.

Reuniendo la información encontrada en campo, la geología de superficie y la interpretación de los perfiles geoelectricos se deduce que los rezumaderos de la zona centro pertenecen a una misma capa y están alineados en el sentido del rumbo como se ve en el Plano 1 y los perfiles anexos

A través de los sondeos geoelectricos se puede identificar materiales y/o minerales de interés dentro de un área específica con diferentes fines como ambientales, económicos, etc.

El espesor promedio de la capa impregnada de hidrocarburos dentro del área delimitada por los sondeos es de siete (7) metros y el volumen aproximado es de 11.2721 metros cúbicos.

Se concluye con este trabajo que para la secuencia de rocas sedimentarias clásticas, pertenecientes a la formación Honda encontradas en este sector, los valores de resistividad real se encuentran en el siguiente rango:

Roca	Rango Resistividad (ohm-m)
Arcillolitas	2.54 – 8.97
Areniscas	10.3 – 18.6
Conglomerados con impregnación de hidrocarburos	18.2 – 28.4

BIBLIOGRAFÍA

- Auge, G. M. (2008). *Metodos Geoelectricos para la Prospeccion de Agua Subterranea*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Apuntes de Clase.
- Camargo, P. J. (2008). *Introduccion a la Interpretacion de Perfiles de Pozo Abierto*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Estrada, I. L. (2012). *Prospeccion Geoelectrica*. San Miguel de Tucuman (Arg.): Universidad Nacinal de Tucuman, Apuntes de Clase.
- Gama Geofisica. (24 de Agosto de 2016). *GAMA GEOFISICA, S.L.* . Obtenido de Gama Geofisica: <http://www.gama-geofisica.com/web14/code/htmldocs/es/metodosgeofisicos/2-metodos-sismicos.html>
- Geoscan-M. (2000). IPI2Win. *Guia de Usuario*. Moscu: Universidad Estatal de Moscu.
- Gonzalez Letrado, N. A., Gonzalez Lopez, K. A., & Sterling Cabrera, B. G. (2015). *Caracterizacion geologica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector centro del departamento del Huila-Zona Roja*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Hürliman, M. (2010). *Metodos Indirectos Geofisicos, Tema 7*. Barcelona: Barcelona Tech UPC, Apuntes de Clase.
- Kurniawan, A. (2009). *BASIC IP2 WIN, Basic Principles in Using IP 2 Win Software*. Hydrogeology World.
- Nieto, O. H. (2007). *Caracterizacion geoelectrica del Subsuelo en los Valles del Ri Mamo y Quebradas Topo y Tacagua para prospeccion de Aguas Subterraneas. Tesis de Pregrado*. Sartenajas., Venezuela: Universidad Simon Bolivar.
- Sanchez, C. (2012). *Evolucion de los registros de resistividad y su aplicacion en la estimacion de la saturacion de fluidos (Agua e hidrocarburos)*. Mexico, D.F.: Universidad Autonoma de Mexico.
- SIAPA, S. I. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la AMG, Cap 7*. Mexico DF.: Gobierno de Mexico.