

**CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA DE LA FORMACION LOS CUERVOS  
PARA LA DETERMINACIÓN DE RANGOS DE VALORES DE IDENTIFICACIÓN  
LITOLÓGICA A PARTIR DE REGISTROS GEOFÍSICOS, EN EL SECTOR "A",  
MINA CALENTURITAS.**

**AREA ANDINA**

*calenturitas*

**LAURA ANDREA VALERO MARTINEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS BÁSICAS  
INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**2017**

**CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA DE LA FORMACION LOS CUERVOS  
PARA LA DETERMINACIÓN DE RANGOS DE VALORES DE IDENTIFICACIÓN  
LITOLÓGICA A PARTIR DE REGISTROS GEOFÍSICOS, EN EL SECTOR “A”,  
MINA CALENTURITAS.**

**LAURA ANDREA VALERO MARTINEZ**

Informe de práctica empresarial para optar por el título de Ingeniera Geóloga

**COORDINADORES**

**LUIS CARLOS TAPIA VELA**

Geólogo y docente

Fundación Universitaria del Área  
Andina

**DUNOTH SUAREZ CUADRO**

Geólogo Sénior de Exploración

C.I Prodeco S.A

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS BÁSICAS  
INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**2017**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis agradecimientos van dirigidos a todas aquellas personas que contribuyeron con la realización de este proyecto de grado, a Carlos Acuña Mejía y mi asesor de proyecto David Serrano Ferreira, gracias por haberme brindado la oportunidad de contar con sus sabias orientaciones y conocimientos, a mi coordinador de proyecto por parte de la universidad, Luis Carlos Tapia por su paciencia y comprensión.

A la empresa C.I Prodeco S.A por contar con un programa que vincule a los estudiantes a experimentar durante seis meses las labores que se realizan diariamente, gracias por brindarme la oportunidad de realizar las prácticas universitarias; y en especial gracias a toda el área de geología, a Carolina Pérez, Dubier Cardona, Dunoth Suárez, Jesús Imbreth, Andrés Torres, Viviana Ramírez, Gustavo Britto, todos los geólogos y técnicos de control de calidad gracias por haberme acompañado durante ese proceso, compartiendo su experiencia y conocimiento, sin duda mi mejor experiencia.

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de grado primeramente a Dios, gracias mi señor, porque por tu grandeza y por tu amor he podido llegar hasta donde estoy, me levantaste, estuviste conmigo en los momentos más difíciles y me has dado la fortaleza que necesito para continuar cada día, te amo mi amigo fiel.

A mis padres, Javier y Karina gracias por su amor incondicional, al final todo su esfuerzo valió la pena, esta es su recompensa. A mis hermanos, Karina, Wendy y Javier Andrés por su compañía y comprensión, este triunfo también es de ustedes.  
Gracias familia, los amo.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTAS DE ANEXOS.....	II
INTRODUCCIÓN.....	3
1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.....	4
1.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	6
1.2 ASPECTOS ESTRATÉGICOS.....	6
1.2.1 Misión.....	6
1.2.2 Visión.....	7
1.3 VALORES.....	7
1.3.1 Seguridad.....	7
1.3.2 Espíritu empresarial.....	7
1.3.3 Simplicidad.....	7
1.3.4 Responsabilidad.....	8
1.3.5 Transparencia.....	8
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	8
2. INFORME DE PRÁCTICA.....	9
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA DEPENDENCIA DE LA PRÁCTICA.....	9
2.2. INFORME DE GESTIÓN.....	10
3. PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
3.1 TÍTULO.....	11
3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3.3 JUSTIFICACIÓN.....	12
3.4 OBJETIVOS.....	13
3.4.1 Objetivo General.....	13
3.4.2 Objetivo Específicos.....	13

4. MARCO DE REFERENCIA.....	14
4.1 MARCO DE ANTECEDENTES .....	14
4.2 MARCO TEÓRICO .....	16
5. MARCO GEOLÓGICO.....	28
5.1 TRIÁSICO-JURÁSICO .....	29
5.2 CRETÁCICO .....	29
5.3 PALEÓGENO .....	30
6. MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL .....	32
6.1 SINCLINAL DE LA LOMA.....	33
6.2 SINCLINAL DEL DESCANSO .....	33
6.3 ANTICLINAL DE BECERRIL .....	33
6.4 FALLAS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES .....	34
6.4.1 Falla de Santa Marta .....	34
6.4.2 Sistema de Fallas de Perijá.....	35
7. METODOLOGÍA .....	36
7.3 CRONOGRAMA .....	49
8. IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE .....	50
9. LIMITACIONES.....	50
10. RESULTADOS.....	51
CONCLUSIÓN.....	63
RECOMENDACIONES.....	66
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización y vías de acceso a la Mina Calenturitas. ....	4
<b>Figura 3.</b> Dependencia del practicante de geología del departamento de Servicios Técnicos. ....	9
<b>Figura 4.</b> Respuesta típica del registro Gamma Ray en formaciones sedimentarias. ....	18
<b>Figura 5.</b> Respuesta típica del registro Density en formaciones sedimentarias. ....	19
<b>Figura 6.</b> Respuesta típica del registro Sónico en formaciones sedimentarias. ....	21
<b>Figura 7.</b> Respuesta típica del registro Neutrón en formaciones sedimentarias.....	22
<b>Figura 8.</b> Version Information Section, LAS log. ....	23
<b>Figura 9.</b> Well information Section, LAS log. ....	24
<b>Figura 10.</b> Curve Information Section LAS log. ....	24
<b>Figura 11.</b> Parameter Section LAS log. ....	25
<b>Figura 12.</b> ASCII Log Data Section LAS log. ....	25
<b>Figura 13.</b> Representación gráfica del diagrama de caja y bigotes Boxplot. ....	27
<b>Figura 14.</b> Mapa geológico de la cuenca Cesar-Ranchería. ....	28
<b>Figura 15.</b> Columna generalizada para la formación Los Cuervos, cuenca Cesar- Ranchería. ....	31
<b>Figura 16.</b> Delimitación de la cuenca intramontana tipo Foreland Cesar-Ranchería. ....	32
<b>Figura 17.</b> Metodología gráfica de la investigación. ....	36
<b>Figura 18.</b> Inventario de pozos corazonados con sus respectivas coordenadas. ....	39
<b>Figura 19.</b> Códigos litológicos del miembro medio de la formación Los Cuervos. ....	40
<b>Figura 20.</b> Registros y parámetros definidos para el estudio. ....	40
<b>Figura 21.</b> Archivos LAS exportado a Microsoft Excel sin validar. ....	41
<b>Figura 22.</b> Archivo LAS exportado a Microsoft Excel y posteriormente validado. ....	42
<b>Figura 23.</b> Archivo de Excel del pozo PC1029, hoja 2: LITH_PC1029. ....	43
<b>Figura 24.</b> Archivo de Excel del pozo PC1029, hoja 3: PC_1029. ....	44
<b>Figura 25.</b> Archivo de Excel del pozo PC1029, hoja 4: INT_PC1029.....	44
<b>Figura 26.</b> Matriz de datos en Excel del pozo PC1027. ....	45
<b>Figura 27.</b> Matriz de profundidad de pozo en Excel. ....	46
<b>Figura 28.</b> Función BUSCARV en Excel. ....	47
<b>Figura 29.</b> Función MIN en Excel. ....	47
<b>Figura 30.</b> Función MAX en Excel. ....	48
<b>Figura 31.</b> Función PROM en Excel.....	48

<b>Figura 32.</b> Cronograma de actividades ejecutadas durante el desarrollo de la práctica empresarial.....	49
<b>Figura 33.</b> Campañas de perforación de pozos corazonados en el sector A, mina Calenturitas.....	51
<b>Figura 34.</b> Pozos corazonados de interés para el proyecto.....	52
<b>Figura 35.</b> Curva representativa de los registros Gamma Ray, Densidad y Porosidad del pozo PC1120 del sector A.....	53
<b>Figura 36.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes de la densidad para las areniscas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	54
<b>Figura 37.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro sónico (Time-Transit) para las areniscas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	54
<b>Figura 38.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Neutrón (Porosity) para las areniscas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	56
<b>Figura 39.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Density (Densidad) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	56
<b>Figura 40.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Gamma Ray para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	57
<b>Figura 41.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	57
<b>Figura 42.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	58
<b>Figura 43.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Density (Densidad) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	58
<b>Figura 44.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	59
<b>Figura 45.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	59
<b>Figura 46.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para la intercalación de arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	60
<b>Figura 47.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Tránsit-Time) para las intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	60
<b>Figura 48.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes de la resistividad para la intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	61
<b>Figura 49.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Density (Densidad) para la intercalación arenisca-arcillolita del medio de la formación Los Cuervos.....	61
<b>Figura 50.</b> Mapa de distribuciones estadísticas.....	62
<b>Figura 51.</b> Carta de rangos de valores de identificación de mantos, sector A mina Calenturitas.....	63
<b>Figura 52.</b> Carta de rangos de valores de identificación litológica, sector A mina Calenturitas.....	63
<b>Figura 53.</b> Promedio de valores de identificación litológica para el sector A de la mina Calenturitas.....	64

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	70
<b>Anexo 2.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Tránsit-Time) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	70
<b>Anexo 3.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	71
<b>Anexo 4.</b> Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	71
<b>Anexo 5.</b> Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	72
<b>Anexo 6.</b> Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	72
<b>Anexo 7.</b> Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	73
<b>Anexo 8.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	73
<b>Anexo 9.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	74
<b>Anexo 10.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.....	74
<b>Anexo 11.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para la intercalacion de arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos. ....	75
<b>Anexo 12.</b> Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para la intercalacion de arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos. ....	75
<b>Anexo 13.</b> Archivos LAS de los pozos de perforación exportados a Excel. ....	76



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la minería en el departamento del Cesar mediante la explotación de carbón a cielo abierto requiere de labores de exploración previas que involucra el procesamiento de datos provenientes de pozos exploratorios, registros geofísicos, cortes geológicos, perfiles de pozos, entre otros; esto se realiza con el fin de caracterizar y determinar la extensión lateral de los yacimientos para explicar detalladamente su geometría. Los registros geofísicos de pozos son una de las herramientas más útiles en la obtención continua de información petrofísica proporcionando un elevado índice de confiabilidad, la identificación de secuencias litológicas en profundidad son de gran importancia para la interpretación geológica del subsuelo sobretodo en áreas de interés como la cuenca tipo foreland Cesar-Ranchería pues conserva un gran atractivo económico debido a su potencial de reserva carbonífera.

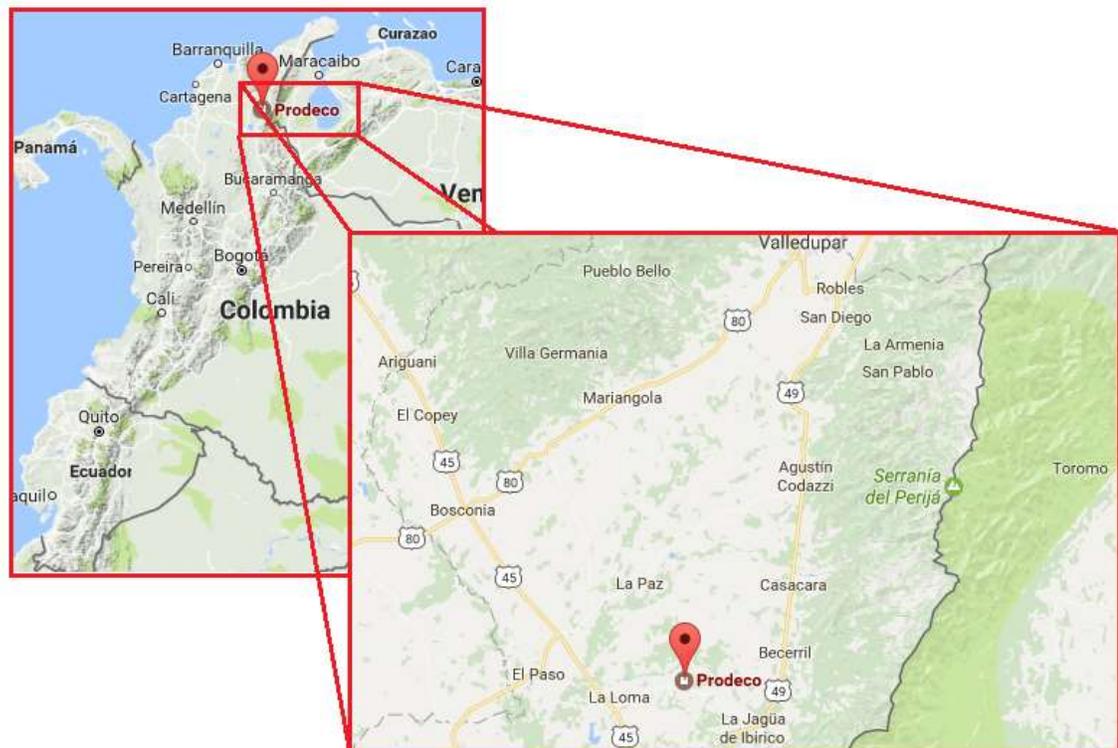
El presente proyecto corresponde al trabajo de grado en la modalidad práctica empresarial, desarrollada en la empresa carbonífera C.I PRODECO S.A Seccional Calenturitas, cuyo objetivo principal consiste en caracterizar petrofísicamente el miembro medio de la Formación Los Cuervos (E2c) para determinar los rangos de valores de identificación litológica de este a partir del análisis y procesamiento de datos procedentes de archivos LAS aplicando el método estadístico denominado diagrama de caja y bigotes Boxplot con el fin de representar las distribuciones de datos generados durante las mediciones de los registros en campo para posteriormente realizar una correlación con los resultados obtenidos en el software TechLog.

## 1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

C.I. Prodeco S.A. es una empresa carbonífera que desarrolla la explotación de la mina Calenturitas, la cual se ubica geográficamente hacia la parte oriental del departamento del Cesar entre los municipios de La Jagua de Ibirico, El paso y Becerril, al norte de Colombia. (Véase Figura 1-2)

El Grupo Prodeco está conformado por: C.I. Prodeco S.A., propietario de la mina Calenturitas y de la operación ferroviaria de transporte de carbón; Carbones de la Jagua S.A., Consorcio Minero Unido S.A. y Carbones El Tesoro S.A., propietarias de la mina La Jagua; y Sociedad Portuaria Puerto Nuevo S.A., propietaria del puerto de exportación de carbón Puerto Nuevo.

**Figura 1.** Localización y vías de acceso a la Mina Calenturitas.



Tomado de: Google Maps.



## **1.1 RESEÑA HISTÓRICA**

En el año 1995 Glencore adquiere a Prodeco, incluyendo Puerto Zúñiga, la mina de Calenturitas y la mina de Cerrejón Central. En el año 2004 el Grupo Prodeco inicia operaciones en la mina Calenturitas. En el año 2005 Glencore adquiere la mina de Carbones de La Jagua y en el año 2006 Glencore adquiere el 36% de la red ferroviaria del norte de Colombia concesionada a Fenoco S.A y por último, en el mismo año Glencore adquiere la mina Consorcio Minero Unido.

En el año 2007 Glencore adquiere la mina de Carbones El Tesoro, completando así la adquisición del 100% de la mina La Jagua. En el año 2008 Prodeco inicia el transporte de carbón por tren, en el año siguiente, se inicia la construcción en Ciénaga del puerto de exportación de carbón Puerto Nuevo. En el año 2010 el Grupo Prodeco produce 10 millones de toneladas de carbón. Finalmente en el año 2013 El Grupo Prodeco produce 18 millones de toneladas de carbón y Puerto Nuevo inicia operaciones en Ciénaga con el sistema de cargue directo.

## **1.2 ASPECTOS ESTRATÉGICOS**

### **1.2.1 Misión**

“Contribuir con la viabilidad de la operación, previniendo, mitigando y compensando los impactos y riesgos sociales y ambientales de manera articulada con las diferentes áreas de la Compañía, para promover el desarrollo sostenible de las comunidades ubicadas en el área de influencia de nuestras operaciones, con el fin de mantener y fortalecer la licencia social para operar y crecer.”

## **1.2.2 Visión**

“Ser reconocidos como aliados del desarrollo sostenible de las comunidades ubicadas en el área de influencia de nuestras operaciones y agentes del fortalecimiento institucional y social, por haber contribuido a mejorar los indicadores de desarrollo y promovido esfuerzo para el progreso de comunidades más vulnerables.”

## **1.3 VALORES**

### **1.3.1 Seguridad**

“Nuestra máxima prioridad en el lugar de trabajo es proteger la salud y el bienestar de nuestra gente. Adoptamos un enfoque proactivo en las áreas de salud y seguridad. Por ello, nuestro objetivo es introducir mejoras continuas para evitar lesiones y enfermedades laborales”

### **1.3.2 Espíritu empresarial**

“Nuestro enfoque fomenta en nuestra gente el más alto nivel de profesionalismo, responsabilidad personal y espíritu empresarial, pero sin poner en riesgo su seguridad y bienestar. Este aspecto es importante para nuestro éxito y para lograr los rendimientos superiores que pretendemos alcanzar para todos nuestros grupos de interés.”

### **1.3.3 Simplicidad**

“Aspiramos a alcanzar nuestros objetivos principales de manera eficaz, con miras a conseguir rendimientos líderes en la industria, pero sin dejar de centrarnos en la excelencia, la calidad, la sostenibilidad y la mejora continua en todo lo que hacemos.”

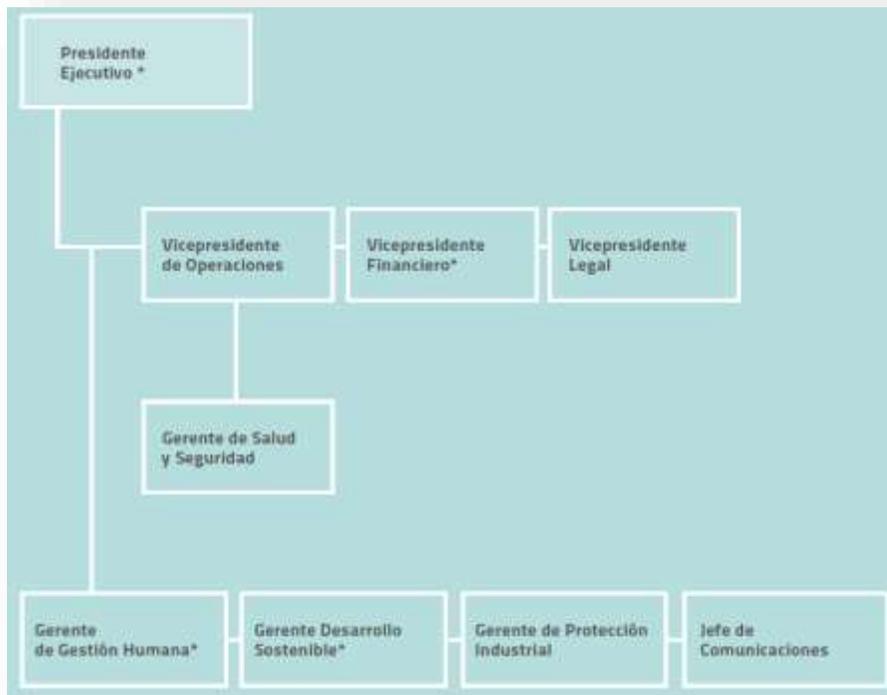
### 1.3.4 Responsabilidad

“Reconocemos que nuestras actividades pueden repercutir en la sociedad y el medioambiente. Nos preocupamos enormemente por nuestro desempeño en lo que respecta a la protección del medioambiente, los derechos humanos, la salud y la seguridad.”

### 1.3.5 Transparencia

“Valoramos las relaciones y comunicación abiertas con nuestra gente, los clientes, los proveedores, los gobiernos y la sociedad en general, siempre basadas en la integridad, la cooperación, la transparencia y el beneficio mutuo.”

## 1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL



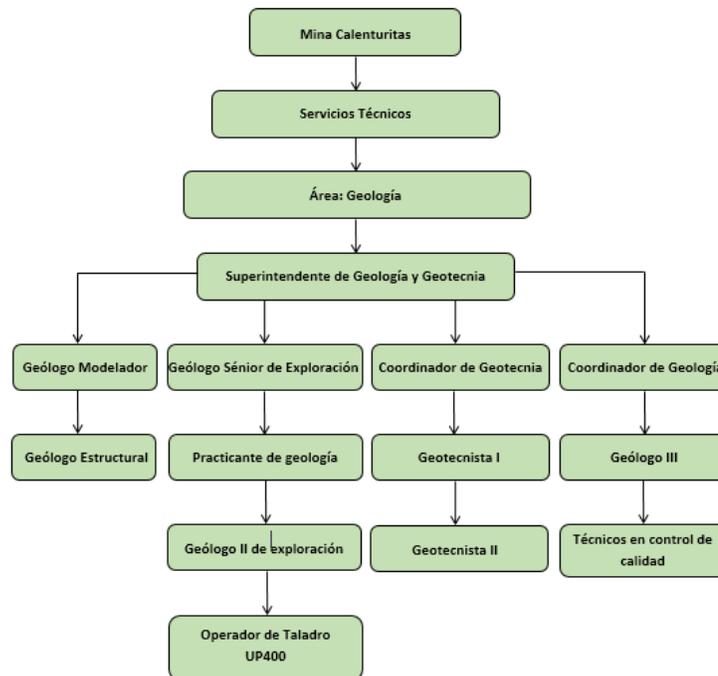
Fuente: C.I Prodeco S.A

## 2. INFORME DE PRÁCTICA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA DEPENDENCIA DE LA PRÁCTICA

Servicios Técnicos es uno de los departamentos fundamentales dentro de la estructura organizacional de la mina Calenturitas pues es el encargado de realizar la planificación minera, llevar a cabo las labores exploración para la estimación de recursos, velar por la seguridad de los trabajadores y la sustentabilidad de los procesos productivos a través de la geotecnia, entre otras cosas. Este departamento se encuentra conformado por el área de geología y planeación, siendo la geología el área de interés (*Figura 3*); el orden jerárquico se conforma de la siguiente manera, un superintendente de Geología y Geotecnia tanto para la mina La Jagua como para la mina Calenturitas. Este, a su cargo tiene un geólogo modelador para ambas minas y un geólogo estructural; los procesos exploratorios son liderados por el geólogo sénior de exploración teniendo a su cargo al practicante de geología, un geólogo II, un operador de taladro y sus auxiliares, en cuanto a las operaciones y procedimientos del minado de carbón existe un coordinador de geólogos de campo y técnicos en control de calidad, finalmente para el monitoreo geotécnico hay un coordinador de geotecnia y dos geotecnistas.

**Figura 2.** Dependencia del practicante de geología del departamento de Servicios Técnicos.



## 2.2. INFORME DE GESTIÓN

INFORME DE FUNCIONES			
FUNCIONES ESPECÍFICAS	TIEMPO	RECURSOS EMPLEADOS	RESULTADOS OBTENIDOS
Asistencia a entrenamientos del programa Yo Trabajo Seguro "YTS" . Control y manejo de estratos	3 meses	Elementos de protección personal, libreta de campo, listas de chequeo	Conocimientos respecto a la identificación y manejo de fallas de estratos que se pueden presentar en la mina
Seguimiento y análisis a la Data Base Coal Mining Report	6 meses	Base de datos Coal Mining Report, computador, reportes del minado de carbón en campo y reportes de Base1	Auditorías actualización del mapa de trazas y modelo geológico de la mina
Elaboración de columnas estratigráficas de pozos geotécnicos corazonados	2 semanas	Computador, software PROLOG, descripciones litológicas de los pozos de geotecnia	Complementar la información existente de los pozos geotécnicos corazonados
Georeferenciar pozos piezométricos del sector "A" y "CD" en DraftSight	2 semanas	Computador, DraftSight, coordenadas geográficas de los pozos piezométricos	información correspondiente a los pozos piezométricos abiertos y de hilo vibrátil
Asistencia en perforación e instalación de piezómetros	5 días	Elementos de protección personal, GPS, libreta de campo, calculadora, UP400	Conocimientos en perforación, instalación, y calibración de los sensores de los piezómetros de hilo vibrátil
Levantamiento de información en campo para reconciliaciones de volúmenes y espesores de manto	3 semanas	Elementos de protección personal, flexómetro, GPS, libreta de campo, cinta métrica, estacas	Reconciliación entre volúmenes obtenidos con información de campo respecto información topográfica y a los tiempos de cargue de carbón
calibrar y obtener información procedente de un inclinómetro situado en botadero norte, sector A	1 día	inclinómetro, tubo inclinométrico, cables y aparatos de medición	conocimientos en utilización de inclinómetros para medir los desplazamientos horizontales en taludes y terrenos inestables
Caracterización litológica y petrofísica de archivos LAS (Log ASCII Standar) de pozos exploratorios del sector A	6 meses	Computador, archivos LAS, archivos LITH, Excel	Determinación de rangos litológicos de pozos exploratorios del sector A

### **3. PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 TÍTULO**

“CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA DE LA FORMACIÓN LOS CUERVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE RANGOS DE VALORES DE IDENTIFICACIÓN LITOLÓGICA A PARTIR DE REGISTROS GEOFÍSICOS, EN EL SECTOR “A” MINA CALENTURITAS.”

#### **3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, el desarrollo de la minería y la prospección de yacimientos carboníferos involucran el procesamiento de datos provenientes de pozos exploratorios, registros geofísicos, cortes geológicos, perfiles de pozos, entre otros; esto se realiza con el fin de caracterizar y determinar la extensión lateral de los yacimientos para explicar detalladamente su geometría. Los registros geofísicos de pozos son una de las herramientas más útiles en la obtención continua de información petrofísica proporcionando un elevado índice de confiabilidad, la identificación de secuencias litológicas en profundidad son de gran importancia para la interpretación geológica del subsuelo.

En la Mina Calenturitas, según lo expresa el Geólogo Sénior de exploración, se han perforado 825 pozos exploratorios; el desarrollo de la minería, la gran expectativa económica que representa la continuidad lateral de los mantos de carbón en los diferentes sectores de la mina (A y CD) y la gran cantidad de datos existentes de registros geofísicos procedentes de pozos ha despertado el interés de llevar a cabo estudios que contribuyan a la utilización de la información obtenida en los registros puesto que se ve la necesidad de realizar aportes investigativos que permitan determinar los rangos de valores de identificación litológica puesto que existe un número considerable de pozos perforados en los diferentes sectores de la mina de los cuales se tienen sólo los registros Gamma Ray pero no se tiene la interpretación de los mismos ni la caracterización de las secuencias estratigráficas debido a la gran cantidad de pozos existentes, por lo tanto con la determinación de los rangos de valores de identificación litológica a partir del análisis de las respuestas de los registros (archivos LAS) la Mina Calenturitas pretende principalmente utilizar esta investigación como estudio base para conocer las características litológicas y petrofísicas de las secuencias estratigráficas en profundidad de los pozos que no cuenten con información ya sea del sector “A” u otros sectores de la Mina y/o futuras áreas de concesión.

### **3.3 JUSTIFICACIÓN**

Este estudio será un aporte al conocimiento petrofísico de la secuencia carbonífera de la Formación Los Cuervos ya que surge como respuesta a la necesidad de utilizar la información disponible procedente de los registros geofísicos que no se le ha dado un tratamiento adecuado. La “caracterización petrofísica de la Formación Los Cuervos para la determinación de rangos de valores de identificación litológica a partir de registros geofísicos, en el sector “A” de la Mina Calenturitas” pretende ser el estudio base para la descripción de pozos a corto, mediano y largo plazo; una vez que se hayan determinado los rangos de identificación litológica se pueden utilizar como criterio cuantitativo para interpretar los demás registros utilizando los archivos LAS y fórmulas de condicionamiento en Excel que también se desarrollarán en este estudio, optimizando el laborioso proceso manual de interpretación, reduciendo el tiempo de ejecución que implica ese proceso y obteniendo mayor conocimiento de las áreas de la mina que han sido perforadas pero no se tiene la información plasmada en el modelo geológico. Por consiguiente, este estudio es considerado por su autor como un aporte a la investigación ya que su contenido contribuye a la realización de estudios a futuro pertinentes al campo de la geofísica y temáticas afines.

## **3.4 OBJETIVOS**

### **3.4.1 Objetivo General**

- ✓ Caracterizar petrofísicamente la Formación Los Cuervos para determinar rangos de valores de identificación litológica a partir de registros geofísicos en el sector "A", Mina Calenturitas.

### **3.4.2 Objetivo Específicos**

- ✓ Definir variables litológicas (composición litológica, grado de meteorización, intercalaciones etc.) y petrofísicas (porosidad, resistividad, densidad, etc.) a partir del análisis de las respuestas obtenidas en los registros geofísicos (Archivos LAS) del pozo PGC5082 del sector A de la Mina Calenturitas.
- ✓ Establecer rangos de valores de identificación litológica a partir del análisis y procesamiento de datos aplicando funciones de condicionamiento estadístico a los archivos LAS procedentes de los registros geofísicos.
- ✓ Realizar un modelo de correlación litológica de la secuencia carbonífera de la Formación Los Cuervos del sector A de la Mina Calenturitas en el software TechLog teniendo en cuenta la caracterización petrofísica y los rangos de identificación litológica determinados durante la investigación.
- ✓ Contrastar los rangos de valores de identificación litológica obtenidos y establecidos para la formación Los Cuervos en el sector A de la mina Calenturitas, con un estudio bibliográfico existente con el fin de analizar las similitudes y variaciones en los mismos.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Con la finalidad de ampliar los fundamentos teóricos, sobre la caracterización petrofísica para la determinación de rangos de valores de identificación litológica a partir del análisis de archivos LAS, se hizo necesario la revisión de diversos trabajos desarrollados con anterioridad relacionados con el tema de investigación, encontrándose una serie de estudios que contemplan enfoques relacionados con el objetivo propuesto en este estudio. Con base en lo anteriormente descrito, se presentan los siguientes antecedentes:

Higuera N.<sup>1</sup> en el año 2012, presentó a la facultad de ingenierías fisicoquímicas de la Universidad Industrial de Santander su trabajo de grado en modalidad práctica empresarial, titulado “Interpretación y análisis estadístico de registros geofísicos en la mina de carbón El Hatillo, corregimiento La Loma, Cesar.” Se reitera que este estudio se concentró en el área de influencia de la mina El Hatillo en el departamento del Cesar, que a su vez hace parte de la cuenca Cesar- Ranchería. Metodológicamente se tomó como base la interpretación de 19 registros de pozos del año 2004 con el fin de realizar las descripciones litológicas y elaborar las columnas estratigráficas a escala 1:200, también se realizó un análisis estadístico de las curvas de rayos Gamma Ray y Resistividad con el fin de realizar una comparación con los registros existentes que tienen la información completa. Esta investigación representa un buen aporte para la zona minera del departamento del Cesar, por ello se contempla la posibilidad de llevar a cabo un análisis comparativo entre este estudio y los resultados obtenidos en la presente investigación.

---

<sup>1</sup> HIGUERA N., Interpretación y análisis estadístico de registros geofísicos en la mina de carbón El Hatillo, corregimiento La Loma –Cesar. Bucaramanga 2012.

Dentro de esta perspectiva, Betancourt G<sup>2</sup>, en el año 2009 presenta en la Universidad Central de Venezuela su tesis para optar por el título de Ingeniero Geólogo, llamada: “Análisis de registros de pozos para la correlación de secuencias estratigráficas mediante técnicas estadísticas multivariantes.” Dicho estudio se basó en el análisis de registros de pozos para complementar y mejorar el proceso de correlación de secuencias estratigráficas mediante la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes en los estudios de yacimientos.

Para lograr el objetivo principal de este trabajo de grado, la metodología empleada contiene la evaluación y aplicación de diversas técnicas de análisis multivariante de datos con la finalidad de optimizar el razonamiento cualitativo de los intérpretes de registros, a través de procesos estadísticos que determinen cuantitativamente las secuencias geológicas que se encuentran presentes dentro de un perfil de pozo, y establecer posteriormente su relación espacial con otros pozos. Las técnicas estadísticas anteriormente mencionadas fueron el Análisis de Cluster, el Análisis de la Varianza y un método de Análisis Geométrico, que fueron aplicados en datos sintéticos para determinar su aplicabilidad al problema planteado, y posteriormente se evaluó el procedimiento con datos reales en dos campos petrolíferos de Venezuela, teniendo como resultado varias secciones estratigráficas por casos, con las diferentes correlaciones obtenidas a partir de la correlación de los contactos detectados por cada técnica, este estudio ha sido fundamental, una de las bases para el desarrollo de la presente investigación ya que proporciona información confiable y útil a tener en cuenta tanto para la aplicación como para la mejora de lo que se pretende llevar a cabo.

Siguiendo la misma labor de investigación y consulta se encontró el trabajo especial de grado de Ayala L y Chang C<sup>3</sup> de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil-Ecuador, desarrollado en el año 2006, el cual lleva como título “Sistema de computación para análisis de registro de pozos con la automatización de resultados” la cual se enfocó en incorporar sistemas computacionales para el procesamiento de información obtenida a partir de registros geofísicos mediante el uso de un software matemático en lenguaje Fortran.

---

<sup>2</sup> BETANCOURT M.G., Análisis de registros de pozos para la correlación de secuencias estratigráficas mediante técnicas estadísticas multivariantes. Caracas 2009.

<sup>3</sup> AYALA. R, CHANG C, ESPARZA. J, SALAZAR. M, “Sistema de computación para el análisis de registros de pozos con la automatización de resultados” Guayaquil, 2006.

De igual manera, se tuvo en cuenta el proyecto desarrollado por Estevez Y, Quintero D<sup>4</sup>, presentado a la facultad de ingenierías fisicoquímicas de la Universidad Industrial de Santander, el cual se tituló: “Determinación del ambiente de depósito de la Formación Los Cuervos miembro medio, aplicado a la variabilidad de la calidad del carbón y a las asociaciones litofacies obtenidas de los núcleos de perforación, en el sector del Hatillo, La Loma –Cesar.” El cual consistió en determinar con base a propiedades geoquímicas del carbón características relacionadas con su ambiente de depósito mediante el análisis de asociación de litofacies y descripción de pozos exploratorios en el sector del Hatillo –Cesar, ya que las propiedades geoquímicas de un manto reflejan características geoquímicas relacionadas con su ambiente de depósito pues dichas propiedades varían dependiendo de la influencia marina o continental a la que haya estado expuesta la turba durante su deposición. Este informe se tuvo en cuenta porque es uno de los estudios que existen como base que indican que el ambiente de depósito de la formación Los Cuervos es un ambiente deltaico con subambientes pantanos costeros con llanura deltaica.

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

Los registros geofísicos o registros de pozo son la representación gráfica de un conjunto de datos que contiene la información de una o varias propiedades físicas medidas en profundidad a lo largo de un pozo, éstos surgieron como una necesidad de tener un medio a través del cual se pudiera obtener información de los estratos dispuestos a diferentes profundidades en el subsuelo una vez perforado un pozo, Firht. D, 1999, Reeves<sup>5</sup>. El paso de los años y el desarrollo de la tecnología trajeron consigo la automatización de los procesos y mejoras en la toma de la información de manera continua y con mayor precisión.

---

<sup>4</sup> ESTEVEZ Y, QUINTERO D, “Determinación del ambiente de depósito de la Formación Los Cuervos miembro medio, aplicado a la variabilidad de la calidad del carbón y a las asociaciones litofacies obtenidas de los núcleos de perforación, en el sector del Hatillo, La Loma –Cesar.” Bucaramanga 2008.

<sup>5</sup> FIRTH, D. Log Analysis for Mining Applications. Reeves by Peter Elkington, 1994.

Los registros empleados en esta investigación corresponden a los registros Gamma Ray, Density, Neutrón y Sónico; cada uno de éstos responde de manera distinta cuando entran en contacto con los diferentes tipos de rocas, minerales o fluidos presentes en los espacios de los poros ya sea agua, petróleo o gas (BENDECK, 1992)<sup>6</sup>. A continuación se mencionarán las definiciones planteadas por Reeves, en su guía práctica de registros de perforación titulada “Log Analysis for Mining Applications” para cada uno de los registros geofísicos utilizados en esta investigación.

- **Registro Gamma Ray (GR):**

Es un método utilizado para medir la radiactividad natural de las rocas que conforman el subsuelo (*Figura 4*), los isótopos radioactivos primarios en las rocas son el potasio K-40 y la serie de isótopos asociados con la desintegración del Uranio (U) y el Torio (Th). El potasio es un elemento abundante que está ampliamente distribuido en las arcillas, los feldespatos y las micas pues son componentes comunes en las rocas ígneas y metamórficas. El Uranio y el Torio, por otra parte, son mucho menos comunes. Tanto U como Th se encuentran en arcillas por absorción, cenizas volcánicas y minerales pesados. La unidad de medida utilizada en este estudio para determinar la resistividad de las rocas es Ohmio-metro<sup>2</sup>/metro, generalmente expresada como ohm-m.

- **Registro Density:**

Es utilizado para determinar la densidad total y/o densidad primaria de una formación como lo muestra la (*Figura 5*), se emplea en pozos vacíos, pozos con lodo o pozos con agua; en combinación con otros registros estos proporcionan información útil para determinar litologías, carbones, tipo de fluido e interpretar datos sísmicos.

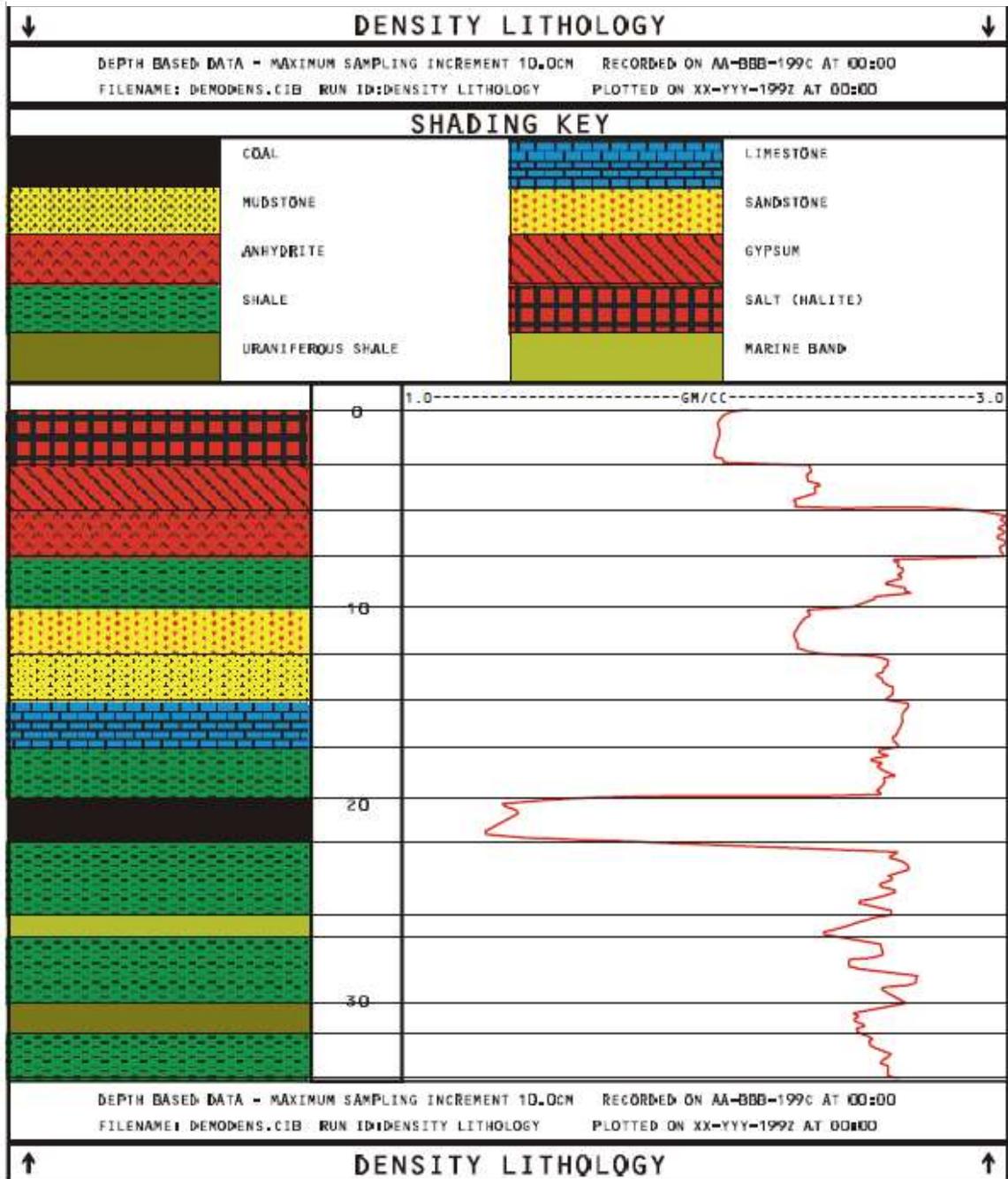
En este estudio la densidad se encuentra representada en los archivos LAS con el código GRDE (Gamma From Density Tool) y CODE (Compensated Density) en unidades de G/C3 (gr/cm<sup>3</sup>).

---

<sup>6</sup> BENDECK, J. Perfiles Eléctricos, Una herramienta para la evaluación de yacimientos. Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo. Bogotá, Colombia (1992).



**Figura 4.** Respuesta típica del registro Density en formaciones sedimentarias.



Fuente: Firht. D, 1999, Reeves.

### - Registro Sónico

La porosidad de las formaciones puede obtenerse a partir del registro sónico, el registro de densidad o el registro neutrón (*Figura 6*). En su forma más sencilla una herramienta sónica consiste de un transmisor que emite impulsos sónicos y un receptor que capta y registra los impulsos, el registro sónico es un registro en función del tiempo que requiere una onda sonora para atravesar un pie de formación, éste es conocido como tiempo de tránsito  $\Delta t$ ; siendo  $t$  el inverso de la velocidad de onda, el tiempo de tránsito para una formación determinada depende de su litología y su porosidad, cuando se conoce su litología, esta dependencia de la porosidad hace que el registro sónico sea útil como registro de porosidad. (Schlumberger, 1975)<sup>7</sup>. El tiempo de tránsito o tiempo de recorrido es lo que demora la onda acústica en realizar el recorrido entre la zona, la pared del pozo y de regreso a la sonda. El sonido emitido por el transmisor choca contra las paredes del agujero, esto genera ondas de compresión y de cizallamiento dentro de la formación.

Las variables a estudiar en esta investigación respecto al registro sónico corresponden a los tiempos de tránsito cada 20 US/M, 40 US/M y 60 US/M (Microsegundo/Metro), y velocidad de onda cada 20 M/S, 40 M/S y 60 M/S (Metro/Segundo).

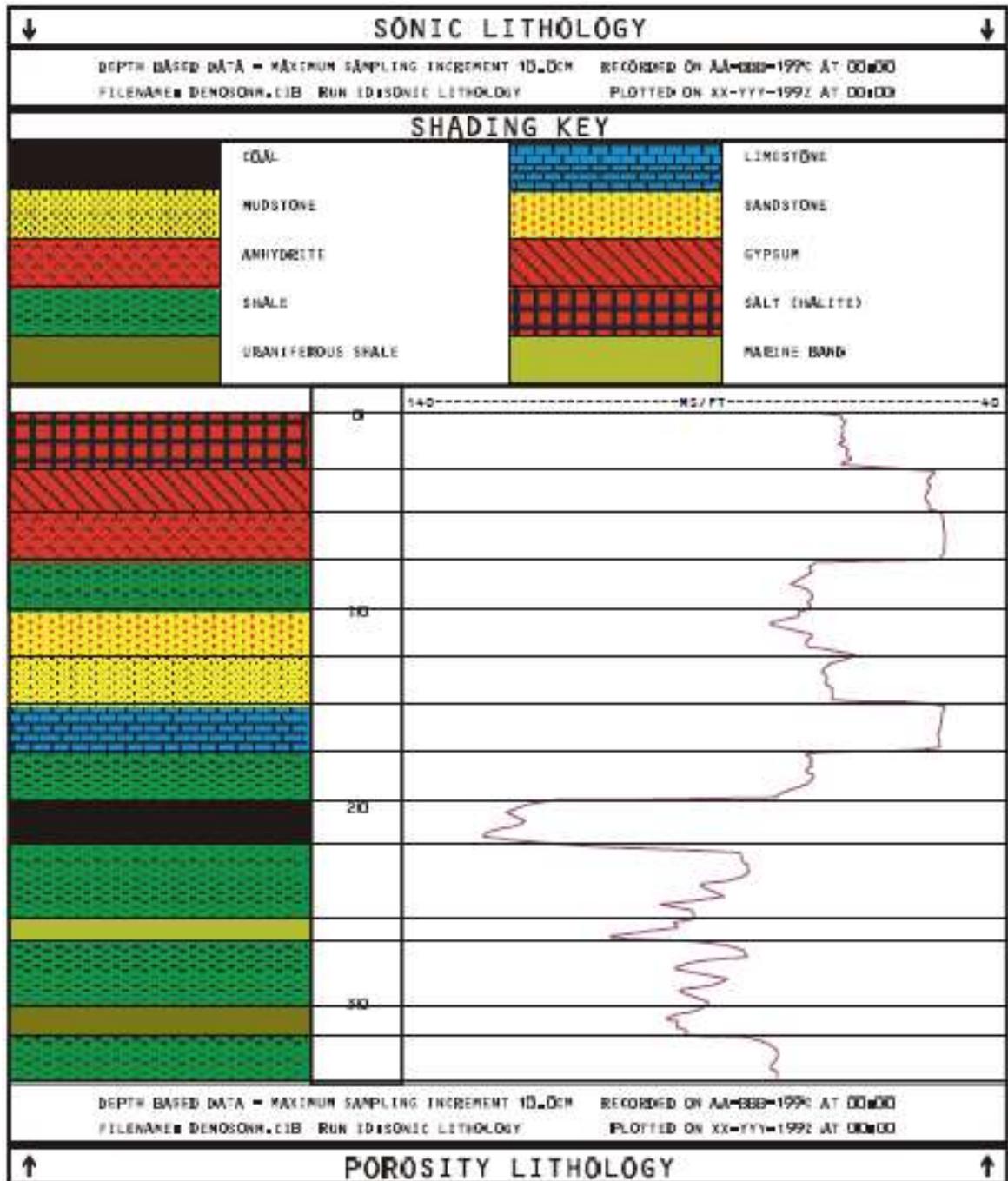
### - Registro Neutrón

El registro Neutrón permite evaluar la porosidad de las rocas midiendo el índice de hidrógeno (H) del fluido en la formación, la respuesta típica de este registro se muestra en la *Figura 7*, éste registro suele utilizarse en conjunto con otros registros de porosidad para la interpretación litológica de una formación. Los registros neutrónicos responden principalmente a la cantidad de hidrogeno presente en la formación, en esta investigación éste registro se representa con el código CPOR (Compensated Dual Neutrón) y es expresada en CDNU.

---

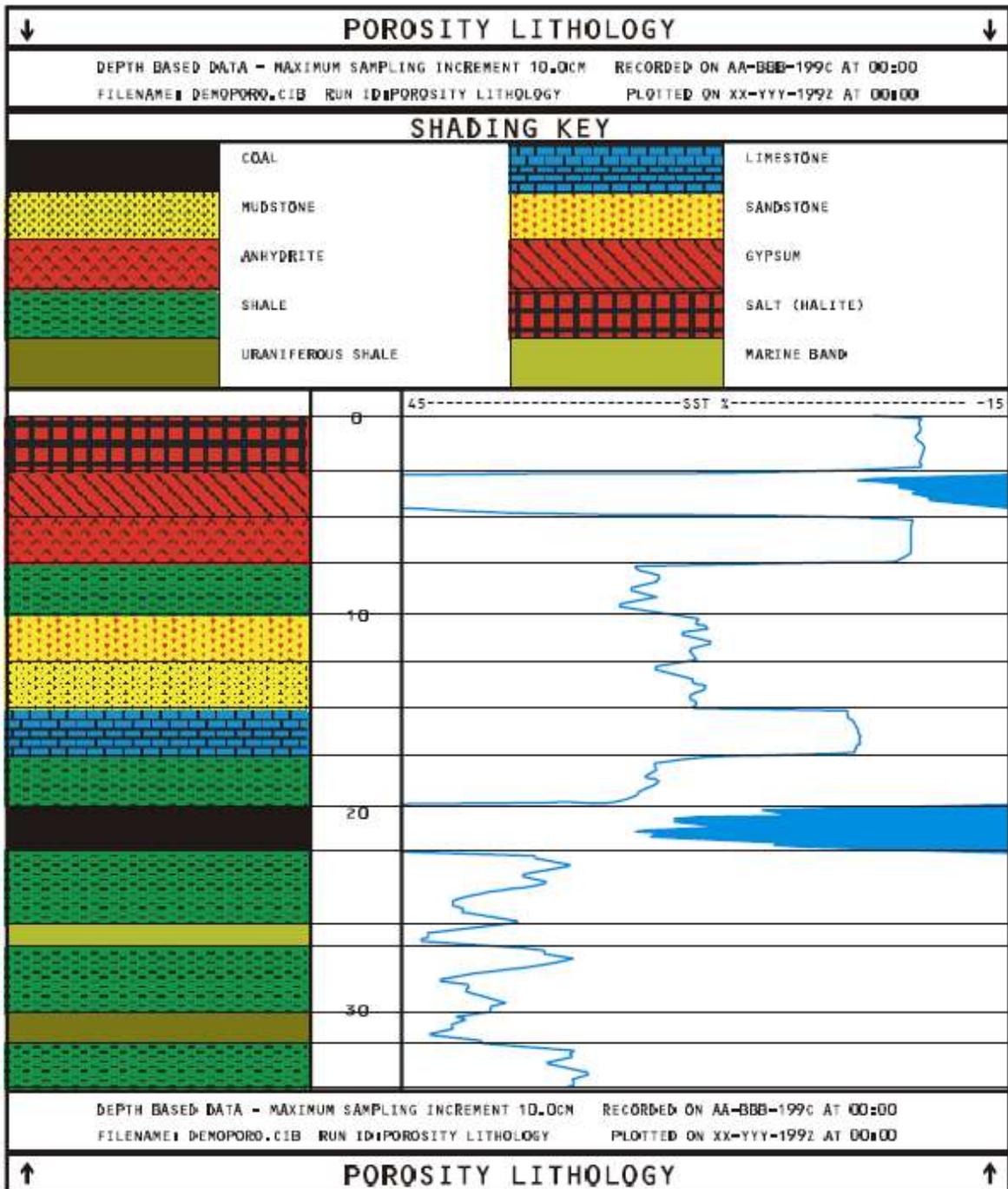
<sup>7</sup> SCHLUMBERGER, Principios/Aplicaciones de la Interpretación de Registros, 1975.

**Figura 5.** Respuesta típica del registro Sónico en formaciones sedimentarias.



Fuente: Firht. D, 1999, Reeves.

Figura 6. Respuesta típica del registro Neutrón en formaciones sedimentarias.



Fuente: Firht. D, 1999, Reeves.

Los registros geofísicos que se toman en profundidad proveen una fuente de datos como respuesta a esas mediciones y se denominan archivos LAS (Log ASCII Standard), esta fuente de datos es un archivo tipo texto donde la información se encuentra plasmada bajo ciertas reglas, anteriormente el formato LAS comenzó con el deseo de un formato simple para intercambiar datos de registro de pozos y la aceptación mundial de estos archivos demostró la necesidad de tal formato. El estándar LAS define qué combinaciones de secciones deben existir en los archivos y en qué orden, pues estos son archivos de datos asociados con Log ASCII Standard (LAS) de la Canadian Well Logging Society (CWLS). A medida que los usuarios adoptaron el concepto y el formato se intentaron muchas nuevas aplicaciones del mismo. (Kenneth, 2000).<sup>8</sup>

Los archivos LAS se agrupan por tipo de registro en secciones, ya que se relacionan con el pozo en el que se adquirieron los datos. Estas secciones contienen información general referente al pozo perforado y solo se describirá un pozo en un archivo. Los datos se almacenan como matrices de una, dos o tres dimensiones. Los archivos utilizados en esta investigación corresponden a la versión 2.00 (Kenneth, 2000)<sup>8</sup> como lo muestra la sección “Version” en la *Figura 8*.

El siguiente es un ejemplo del contenido de los archivos LAS:

**Figura 7.** Version Information Section, LAS log.

```
└-Version Information
VERS.          2.00                : CWLS Log ASCII Standard - version 2.00
WRAP.          NO                  : One line per depth step
#
```

Fuente: C.I Prodeco S.A

En la sección “Well Information” de la *Figura 9*, los datos suelen estar indexados a la profundidad de perforación además contiene localización, nombre del pozo y empresa prestadora de servicios.

---

<sup>8</sup> KENNETH Heslop - Oakrock Ltd., Log ASCII Standard Document #1 – File Structures - CWLS.ORG, 2000

**Figura 8.** Well information Section, LAS log.

```

~Well Information
#MNEM.UNIT      DATA                : DESCRIPTION
#-----
STRT .M         -1.000                : Start
STOP .M         128.000               : Stop
STEP .M         0.010                : Step increment
NULL .          -999.250              : Null value
COMP .          PRODECO               : Company
WELL .          PC-1091               : well
FLD .           CESAR                 : Field
PROV .          CESAR                 : Province / County
CTRY .          COLOMBIA              : State / Country
LOC .           SECTOR A              : Location
LOC2 .          : Location 2
SRVC .          weatherford           : Service company
UWI .           : Unique well ID
LL1 .           : Latitude
LL2 .           : Longitude
DATE .          : Logging date
#
  
```

**Figura 9.** Curve Information Section LAS log.

```

~Curve Information
#MNEM.UNIT      API CODES                : CURVE DESCRIPTION
#-----
DEPT .M         00 001 00 00           : Logged depth
GRTH .GAPI      31 790 0 00           : GRTH
TEMP .          80 660 0 00           : TEMP
CATH .MM        0 0 0 00             : CATH
DIFT .          0 0 0 00             : DIFT
MC2F .US/M     0 0 0 00             : MC2F
MC4F .US/M     61 522 32 00          : MC4F
MC6F .US/M     61 522 32 00          : MC6F
VL2F .M/S      0 0 0 00             : VL2F
VL4F .M/S      0 0 0 00             : VL4F
VL6F .M/S      0 0 0 00             : VL6F
GRDE .GAPI     45 310 1 00           : GRDE
CODE .G/C3     45 350 1 00           : CODE
CADE .MM       45 280 1 00           : CADE
DENL .G/C3     45 350 2 00           : DENL
DENB .G/C3     45 350 2 00           : DENB
ADEN .G/C3     0 0 0 00             : ADEN
FE1C .         0 0 0 00             : FE1C
#
  
```

Fuente: C.I Prodeco S.A

La sección “Curve Information” de la *Figura 10*, es importante y obligatoria debido a que en ella se encuentra la información de las curvas de los registros empleados, cada uno con nombres nemotécnicos, unidad de medida y su respectiva descripción, a diferencia de “Parameter Section” que es opcional, mostrado en la *Figura 11*, pues contiene información sobre parámetros o constantes como el tipo de lodo de perforación utilizado, su densidad, viscosidad, diámetro de la broca, profundidad de referencia entre otras variables.

**Figura 10.** Parameter Section LAS log.

```

~Parameter Information
#MNEM UNIT      VALUE      : DESCRIPTION
#-----
RNID .          PC-1091 LITHOLOGY : Run ID
EREF .metres    : Elevation of depth reference
DREF .          : Depth reference
GL .M          : Ground elevation
RUN .          1 : Run number
TDD .M         125.750 : TD (driller)
TDL .M         125.750 : TD (logger)
CSGD .M        21.150 : Casing bottom (driller)
CSGL .M        21.630 : Casing bottom (logger)
BS .MM        76.44 : Bit size
MUD .          BENTONITE : Mud type
MUDD .G/C3     : Mud density
MUDV .CP       : Mud viscosity
PH .          : Mud pH
FL .ML/30MIN   : Mud fluid loss rate
MUDS .         : Mud sample source
TMAX .DEGC     : Max recorder temperature
TIMC .DAY/HR   : Time circulation ended
TIML .DAY/HR   : Time logger at bottom
UNIT .        11535 : Equipment ID
BASE .         : Equipment base location
ENG .         HAROLD SIERRA : Recording engineer
WIT .         DUNOT SUAREZ : Witnessed by
CSGS .MM       0.000 : Casing size
CSGW .KG/M     0.00 : Casing weight
#
  
```

Fuente: C.I Prodeco S.A

La última sección representada en la *Figura 12*, corresponde a la “ASCII Log Data” en donde se observan en forma de matrices o columnas los datos de los registros de pozo, la primera columna corresponde a la profundidad del pozo, las siguientes cuatro columnas corresponden a información relacionada con la temperatura de

**Figura 11.** ASCII Log Data Section LAS log.

```

-----
~A  DEPT      GRTH      TEMP      CATH      DIFT      MC2F      MC4F      MC6F      VL2F
-1.000 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.990 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.980 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.970 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.960 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.950 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.940 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.930 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.920 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.910 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.900 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
-0.890 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250 -999.250
  
```

pozo, etc.

Fuente: C.I Prodeco S.A

Para caracterizar litológica y petrofísicamente una formación que contenga algún yacimiento mineral que represente un alto interés económico, es necesario evaluar la distribución lateral de los estratos, los espesores de las capas, la geometría del yacimiento etc., en cuanto a propiedades petrofísicas se evalúa la porosidad, densidad, resistividad entre otras características, empleando primordialmente los registros geofísicos o registros de pozo de perforación como se ha mencionado anteriormente.

La unidad a evaluarse es el miembro medio de la formación Los Cuervos (E<sub>2c</sub>) pues es el que provee la riqueza carbonífera en el departamento del Cesar, (Notestein, 1944)<sup>9</sup> plantea que se encuentra constituida por arcillolitas negras, grises, verdosas y amarillentas, con delgadas intercalaciones de arenisca de grano medio, micáceas, con matriz arcillosa, y mantos de carbón que son objeto de explotación intensa, con edades que van desde el Paleoceno al Eoceno temprano según Hammen (1957)<sup>10</sup>.

Para la zona cercana a la mina El Hatillo, se identifican mantos de carbón que van desde 0.5 metros hasta 6 metros aproximadamente. Se caracteriza por ser una unidad arenosa con niveles arcillosos. Para definir un ambiente es importante incorporar la mayor cantidad de información disponible, permitiendo tener una baja incertidumbre como: palinología, paleontología, petrografía, DRX, SEM entre otras, permitiendo identificar caracteres estratigráficos. A partir del comportamiento de la evaluación sedimentológica, estructuras sedimentarias, físicas y biogénicas identificar las parasecuencias que ayudan a identificar la secuencia en la depositación.

De acuerdo a estudios anteriores la formación Los Cuervos se identifican ambientes:

- ✓ Ambiente: Deltaico
- ✓ Subambientes: Pantano costero, llanura deltaica baja y frente deltaico.

---

<sup>9</sup> NOTENSTEIN, P.; HUBMAN, C.; BOWLER, J. 1944. Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Geol. Soc. Ame. Bull. 55:1165-1125.

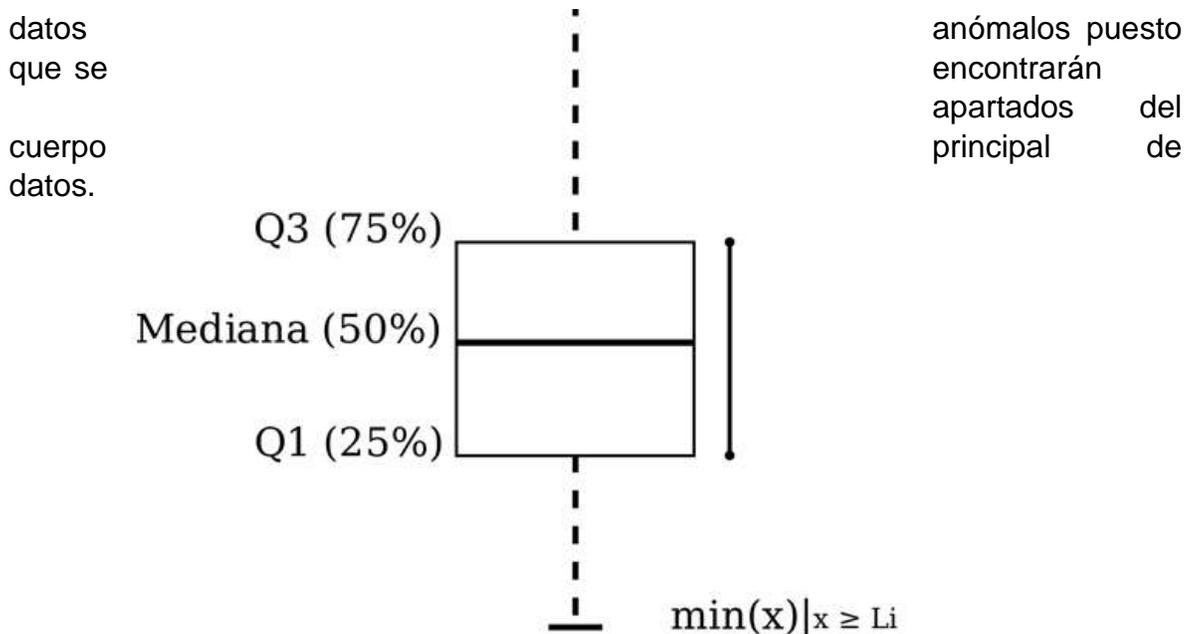
<sup>10</sup> VAN DER HAMMEN. A palinological study on the upper Los Cuervos and Mirador formation. Colombia 1957.

El interés central del proyecto es caracterizar petrofísicamente la formación Los Cuervos a partir del análisis y procesamiento de datos procedente de los archivos LAS en el área específica del sector A de la mina Calenturitas, con el fin de determinar cuáles son los rangos de valores de identificación litológica empleando un método estadístico que permita representar la distribución de los datos obtenidos en los registros como lo explica (Betancourt G, 2009) en su proyecto “Análisis de registros de pozos para la correlación de secuencias estratigráficas mediante técnicas estadísticas multivariantes.” El método a utilizar es un diagrama de caja Boxplot que consiste en un gráfico que representa valores mínimos y máximos a los extremos del diagrama respecto a tres cuartiles, cuartil 1: que corresponde los datos que se encuentran por debajo del 25% de los valores, cuartil 2: que coincide con la mediana o dato central de la distribución dividiéndolo en dos partes iguales y el cuartil 3: por debajo de este valor se encuentra el 75% de los datos.

Los datos que se encuentren agrupados por encima del límite superior son considerados como datos atípicos, representados en la *Figura 13* con el símbolo (°) los que se encuentren en el extremo inferior de la caja también son considerados

Atípico → ○

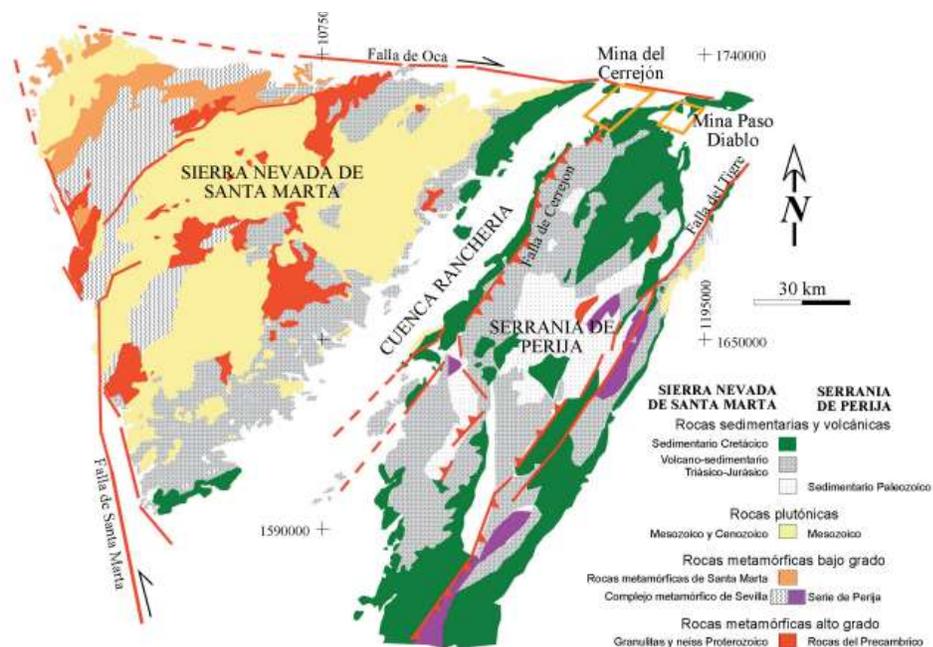
**Figura 12.** Representación gráfica del diagrama de caja y bigotes Boxplot.



## 5. MARCO GEOLÓGICO

La zona hace parte de la cuenca carbonífera Cesar-Ranchería (Figura 14), la cual limita al norte con la Falla de Oca, al noroeste por las estribaciones surorientales de la Sierra Nevada de Santa Marta, al este con el sistema montañoso de la Serranía del Perijá y al suroeste limita con la falla Bucaramanga-santa marta. La cuenca Cesar-Ranchería consta de Rocas metamórficas con edades comprendidas entre el Precámbrico y el Paleozoico, tanto en las cordilleras de Sierra Nevada de Santa Marta como de Perijá. La Formación Cachirí (PZc) de edad devoniana es la formación más antigua, seguida de la Formación Manaure de edad Permiana que consiste en la transgresión marina Sedimentos. Las formaciones Triásicas y Jurásicas consisten en sedimentos continentales incluyendo rocas piroclásticas depositadas en una fase de rifting. Estos sedimentos son denominados Formación La Quinta (Jq). Las Formaciones Cretáceas constituyen una espesa secuencia marina que ha sido dividida en cuatro unidades estratigráficas: El Grupo Cogollo (K<sub>1c</sub>), la Formación La Luna (K<sub>2l</sub>) y la Formación Molino (K<sub>2m</sub>). Estas formaciones fueron depositadas en ambientes marinos. Las formaciones terciarias se agrupan en dos secuencias: La secuencia inferior presenta sedimentos de la Formación Barco (E<sub>1b</sub>) y de la Formación Los Cuervos (E<sub>2c</sub>), tanto Barco como Cuervos y la son formaciones carboníferas (ANH, 2006).

**Figura 13.** Mapa geológico de la cuenca Cesar-Ranchería.



Tomado de:  
Tschanz et al.  
1969.

## 5.1 TRIÁSICO-JURÁSICO

### Formación La Quinta (Jq)

Aflora a lo largo del flanco oeste de la Serranía de Perijá, al este de las poblaciones de La Jagua de Ibirico, Victoria de San Isidro y al sureste de Santa Isabel, Hernández (2003)<sup>11</sup>. La Formación La Quinta es ubicada en el Jurásico Temprano a Tardío, según evidencia fósil de Ornithischian *Lesothosaurus* y restos de reptiles. Barrett et. al. (2008)<sup>12</sup>. Está compuesta por tobas de ceniza, macizas, afaníticas, lodolitas ligeramente calcáreas, en capas gruesas, también capas gruesas de arenitas conglomeráticas a conglomerados matriz soportados, interestratificaciones gruesas de lodolitas rojizas y arenitas arcósicas con estratificación cruzada de ángulo bajo.

## 5.2 CRETÁCICO

### Formación Río Negro (K1r)

Aflora al oriente de Manaure en el páramo Sabana Rubia, al suroriente de Codazzi por el Río Sicarare y al sur del Río Fernambuco entre Codazzi y Casacará; pues se reportan afloramientos de la unidad a lo largo de toda la Serranía del Perijá; desde los municipios de Becerril hasta Codazzi, por los ríos Fernambuco, y Casacará. Geoestudios (2006). Consta de secuencias granodecrecientes que incluyen arenitas arcósicas con estratificación cruzada, arenitas subarcósicas con estratificación horizontal y niveles de cuarzoarenitas, moscovíticas en capas gruesas cuneiformes. En la región Fernambuco predominan las arenitas subarcósicas con estratificación cruzada en capas cuneiformes, arenitas conglomeráticas, conglomerados clastosoportados con estratificación cruzada conformando secuencias granodecrecientes. *Montaño Cortes Paola C.2009*.

### Formación Molino (K2m)

La Formación Molino en la Cuenca Cesar-Ranchería está caracterizada por dos unidades litológicas perfectamente diferenciables y transicionales: Un Miembro inferior también llamado Miembro Socuy, compuesto por biomicritas a lutitas calcáreas, y un Miembro superior, que se compone de lutitas color gris oscuro, y que hacia el tope presenta intercalaciones arenosas, cerca del contacto con la Formación Barco.

---

<sup>11</sup> HERNÁNDEZ, M. Memoria Explicativa Geología Plancha 48, Jagua de Ibirico. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá, 2003.

<sup>12</sup> BARRETT, M., Butler, R., Novas, F., Moore-Fay, S., Dinosaur remains from the La Quinta Formation (Lower or Middle Jurassic) of the Venezuelan Andes, 2008. Vol. 82/2, pp. 163-177.

## 5.3 PALEÓGENO

### Formación Barco (E1b)

La formación Barco en la Jagua de Ibirico está conformada por areniscas amarillentas de grano fino poco consolidadas ligeramente arcillosas y micáceas localmente con estratificación cruzada. La arenisca se encuentra en bancos gruesos, con delgadas intercalaciones de arcillolita amarillenta. Está en contacto transicional en el techo con la Formación Los Cuervos. No se conoce el carácter del contacto inferior, por estar cubierto (Arias & Morales, 1999)<sup>13</sup>.

### Formación Los Cuervos (E2c)

Esta formación es muy importante en la subcuenca de Cesar, pues de ella se extrae el carbón, principal actividad económica de la zona. Aunque los espesores y cantidad de los mantos de carbón son muy variable a lo largo de toda la cuenca, la formación es relativamente igual en toda la subcuenca del Cesar y está por el orden de 700 a 750 m. Litológicamente se divide en tres miembros, la formación Los Cuervos Inferior, presenta un predominio de lodolitas y limolitas con escasas capas delgadas de carbón arcilloso. El miembro medio, que consta de intercalaciones de areniscas de grano muy fino, limolitas y arcillolitas grises con abundantes restos de plantas, y presenta potentes mantos de carbón que pueden alcanzar 7 metros de espesor; y el miembro superior, poco definido en esta área, se caracteriza por un predominio de limolitas color gris verdoso, indicando ambientes salobres subacuáticos. (Notestein, 1944)<sup>14</sup>. La Formación Los Cuervos se correlaciona con la Formación Cerrejón en el área de Ranchería. Las dos formaciones son productoras de carbón y constituyen las principales minas de Suramérica.

### Formación Cuesta (N1c)

Corresponden a los sedimentos semiconsolidados que conforman el tope del sinclinal de La Loma, afloran entre la vía de la Jagua de Ibirico y el corregimiento de La Loma. Afloramientos de ésta unidad se encuentran en la localidad de Plan Bonito, en éste sitio la secuencia se encuentra constituida por areniscas de grano fino de color gris claro a blanco semiconsolidada, cuarzoso con estratificación cruzada intercaladas con conglomerados de matriz arenosa. Véase *Columna estratigráfica generalizada en la Figura 15*.

---

<sup>13</sup> ARIAS A, MORALES C., Mapa Geológico del Departamento del Cesar, Memoria Explicativa. Ingeominas 1999.

<sup>14</sup> NOTENSTEIN, P.; HUBMAN, C.; BOWLER, J. Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Geol. Soc. Ame. Bull. 55:1165-1125. 1944.

**Figura 14.** Columna generalizada para la formación Los Cuervos, cuenca Cesar-Ranchería.

	EDAD	ESPESOR	LITOLOGÍA	FORMACIÓN	OBSERVACIONES
Cenozoico		20 a 40		Depósito Aluvial	Gravas basales, arenas y arcillas
	Mioceno Plioceno	20 a 40		Depósito Aluvial	Grava y areniscas
	Eoceno	220	Miembro Superior	Formación Los Cuervos	Arcillolitas abigarradas, areniscas de cuarzo, arcillolitas y limolitas verdosas
	Paleoceno	480	Miembro Medio		Arcillolitas, limolitas areniscas de cuarzo y mantos de carbón interestratificados
		280	Miembro Inferior		Arcillolitas, limolitas, bancos de areniscas de cuarzo y cintas de carbón intercaladas
	76 a 278		Formación Barco	Areniscas de cuarzo con intercalaciones de arcillolitas	
Mesozoico	Cretácico	±500		Formación Molino	Lutitas con ocasionales intercalaciones de areniscas y capas de carbón
		265		Formación La Luna	Calizas, arcillolitas y bancos de areniscas de cuarzo

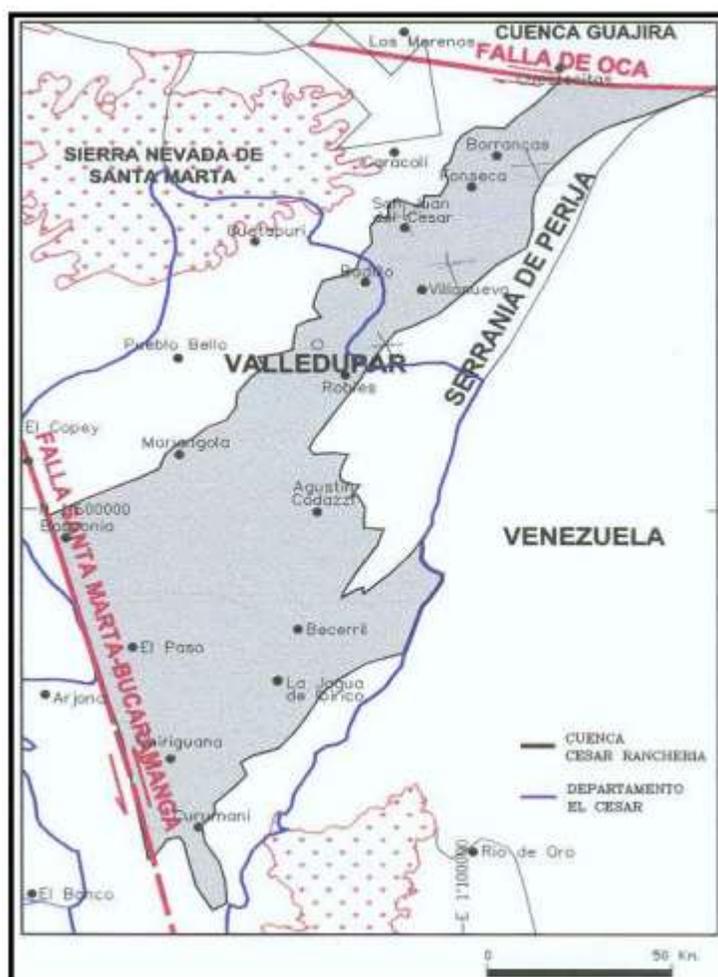
Arenita de cuarzo		Arcillolita	
Lodolita		Carbón	
Caliza			

Fuente: Carbones del Cesar.

## 6. MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

La Cuenca Cesar-Ranchería es una cuenca foreland (intramontana) que cuenta con un área aproximada de 11.630 Km, formada por fuerzas de compresión noreste-suroeste que causaron el empuje de la cordillera de Perijá, al oeste, sobre la cuenca Cesar-Ranchería durante el Oligoceno. Los movimientos tectónicos posteriores imprimieron desplazamientos de la llave a las fallas de empuje anteriores. Los principales eventos de elevación debido a la falla inversa se produjeron en varias fases. La primera fase comenzó en el Eoceno, el segundo levantamiento ocurrió durante el Oligoceno, y la configuración final de la cuenca se produjo durante el Neógeno. La *Figura 16* ilustra la tendencia de la falla inversa en el sur de la subcuenca Cesar.

**Figura 15.** Delimitación de la cuenca intramontana tipo Foreland Cesar-Ranchería.



Fuente: Ecopetrol 1998.

La configuración actual de la cuenca Cesar-Ranchería es el resultado de dos eventos tectónicos. El primer evento tectónico es un esfuerzo compresivo de E-W que causó aumentos importantes como el Perijá y el Cerrejón. A continuación se describen los rasgos estructurales dominantes en el área de influencia:

### **6.1 SINCLINAL DE LA LOMA**

El Sinclinal de La Loma es una estructura de rumbo NE-SW, que se profundiza hacia el SW y permite la acumulación de grandes espesores de depósitos de edad Oligoceno a Reciente. Se encuentra limitado por dos sistemas de fallas con el mismo rumbo: El Sistema de Fallas del Hatillo hacia el Oeste y el "Sistema de Fallas del Tigre" hacia el Este (este último es un nombre usado en minería para la Falla que limita la estructura de Boquerón, pero no guarda relación con la Falla del Tigre que se encuentra en el Perijá venezolano). Estas fallas parecen ser sistemas de cabalgamiento aunque Drummond (2005)<sup>15</sup> enfatiza que el comportamiento de las fallas varía de inversa a normal en las terminaciones norte y sur, sugiriendo componentes de rumbo.

### **6.2 SINCLINAL DEL DESCANSO**

Este sinclinal constituye un área importante dentro de la exploración minera porque contiene las mayores reservas probadas de carbón para explotación a cielo abierto en toda la subcuenca de Cesar. Se encuentra al oeste del sinclinal de La Loma y corresponde a un sinclinal asimétrico cuyo flanco este se encuentra limitado por el Sistema de Fallas del Hatillo. (Drummond, 2005)

### **6.3 ANTICLINAL DE BECERRIL**

El anticlinal de Becerril se considera un pliegue por propagación de falla relacionado al Sistema de Fallas de Perijá, y expone en superficie las formaciones La Luna y Aguas Blancas (Chajín & Martínez, 2008)<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> DRUMMOND: Reporte Final de Exploración. Fase 1.31 Ayala-Calvo *et al.*: Estratigrafía y procedencia de las unidades comprendidas Contrato de Asociación La Loma. 2005, 198 pgs. Bogotá

<sup>16</sup> CHAJÍN, P. & MARTÍNEZ, A. Interpretación Sísmica, Estructural y Modelamiento Geoquímico de dos Líneas Sísmicas en la Subcuenca de Cesar (Cuenca Cesar-Ranchería). Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2008.

## **6.4 FALLAS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES**

A continuación se mencionarán las principales fallas y estructuras asociadas a la Cuenca Cesar-Ranchería y sus características principales.

### **6.4.1 Falla de Santa Marta**

Se ubica al noroeste de la SNSM, como una falla inversa de alto ángulo, aunque no se le dio el nombre de Falla de Santa Marta sino hasta 1956 (Young et al., según Ujueta, 2005). Ha sido descrita por diversos como la continuidad de la Falla de Bucaramanga basados en la hipótesis propuesta por Raasvelt (1956 en: Ujueta, 2005), a pesar de tener más de 350 km de cubierto y de haber sido considerada previamente una falla diferente a la Falla de Bucaramanga. De hecho, esta Falla no parece tener un desplazamiento de rumbo por lo menos desde el Oligoceno, tiempo en el cual debió ocurrir el desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, ya que los depósitos de este tiempo se encuentran en continuidad desde el Valle Inferior del Magdalena hasta la subcuenca de Cesar (Ujueta, 2005; Mora & García, 2006).

En línea con los argumentos expuestos anteriormente, en este trabajo se consideran las Fallas de Santa Marta y Bucaramanga como dos fallas diferentes (aunque se reconocen fallas inversas de alto ángulo cubiertas por los depósitos del Oligoceno) y se cree que debido al movimiento de la placa del Caribe existe una rotación tectónica en sentido horario que causa la activación de la Falla de Santa Marta desde el Paleoceno Tardío, permitiendo el basculamiento de la SNSM y compresión de la Subcuenca Ranchería. Según el Instituto Colombiano del Petróleo - ICP (1990) la Falla de Santa Marta inicialmente se originó en el Jurásico producto de movimientos de bloques, y posteriormente se reactivó con los eventos tectónicos ocurridos durante el Cenozoico en la Cuenca Cesar-Ranchería.

#### **6.4.2 Sistema de Fallas de Perijá**

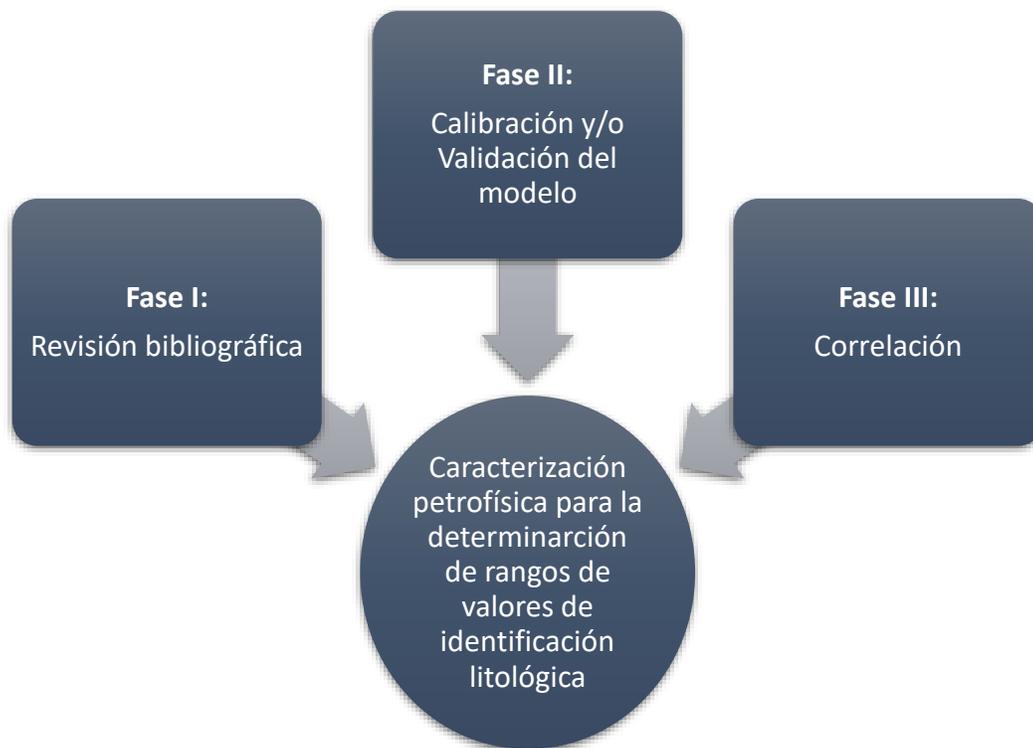
Corresponde a fallas de orientación NE-SW, algunas de tipo sinistral. En el Centro y Oriente de la Serranía de Perijá, se resaltan dos Fallas sinestrales que pudieron estar conectadas al mismo sistema y condicionaron los espesores del Paleoceno (La Falla de Perijá, al este de la Subcuenca de Cesar, y la Falla del Tigre, al noroeste de la cuenca de Maracaibo). La Falla de Perijá tiene gran importancia en el desarrollo de la cocina de hidrocarburos en la subcuenca de Cesar.

En el occidente del Perijá, las fallas corresponden a sistemas imbricados con transporte tectónico hacia el occidente e involucran basamento pre-Jurásico, marcando el límite de depósito de la Formación Río Negro (Chajín & Martínez, 2008). Autores como Ecopetrol (1998) y Chajín & Martínez (2008) asocian los diferentes sinclinales y anticlinales de la subcuenca de Cesar como producto de los sistemas de corrimientos más occidentales, con despegues de bajo ángulo dentro de la Formación Molino. Dentro de este sistema de corrimientos que afectan la subcuenca de Cesar se encontrarían así los sistemas de Fallas de Cesar, El Hatillo, Arenas Blancas, entre otros.

## 7. METODOLOGÍA

La metodología usada en este trabajo de grado, consta de una serie de pasos y procedimientos, los cuales son expresados de forma esquemática en la *Figura 17*.

**Figura 16.** Metodología gráfica de la investigación.



Fuente: Autor del proyecto.

## **FASE I:**

**Etapa de revisión bibliográfica:** recopilación de información de interés, revisión de investigaciones preliminares y adquisición de la información disponible de los pozos procedentes del sector A de la mina Calenturitas con sus respectivos registros geofísicos, (*Figura 18*).

## **FASE II:**

**Etapa de calibración:** Esta fase integra la definición de las variables litológicas (composición, intercalaciones, grado de meteorización, etc.) (*Figura 19*) predominantes y las variables petrofísicas (porosidad, densidad, resistividad, etc.) (*Véase figura 20*), que se van a utilizar para la posterior caracterización de las facies a partir de registros (electrofacies) y la definición de rangos de valores de identificación litológica a partir de las respuestas obtenidas de los registros, es decir, de los archivos LAS empleando fórmulas de condicionamiento estadístico en Excel, por último durante esta segunda fase se realizará un análisis de relación de información núcleo-registro para la confiabilidad del estudio.

## **FASE III:**

**Etapa de correlación:** Esta fase comprende la etapa final en la cual se realizará un modelo de correlación litológica en el software Techlog, teniendo como base, la caracterización litológica y petrofísica anteriormente mencionada y los rangos de identificación litológica determinados durante la investigación mediante análisis estadísticos, además, en esta fase también se pretende relacionar los resultados obtenidos con un modelo litológico bibliográfico existente.



**Figura 17.** Inventario de pozos corazonados con sus respectivas coordenadas.

BOREHOLE	X	Y	Z	DEPTH	TIPO DE POZO
PC1024	1066192,257	1562797,266	56,310	348,09	POZO COR
PC1026	1066795,152	1562800,329	56,605	249,30	POZO COR
PC1029	1066196,298	1562201,857	55,634	335,89	POZO COR
PC1032	1066596,627	1563408,781	57,701	245,23	POZO COR
PC1033	1067798,497	1563413,281	59,288	168,15	POZO COR
PC1034	1066991,640	1563416,115	57,903	213,65	POZO COR
PC1035	1067403,203	1563413,439	58,750	164,10	POZO COR
PC1036	1067368,402	1563854,593	59,531	142,04	POZO COR
PC1038	1068004,377	1564015,965	60,675	159,33	POZO COR
PC1039	1066795,487	1562611,265	57,205	228,32	POZO COR
PC1042	1067313,383	1563008,943	58,396	80,95	POZO COR
PC1043	1065998,570	1561797,882	55,752	337,71	POZO COR
PC1091	1068210,817	1564203,571	58,397	125,75	POZO COR
PC1092	1067804,790	1564196,972	58,441	151,00	POZO COR
PC1093	1067802,356	1563790,076	59,039	186,45	POZO COR
PC1094	1067606,163	1563995,735	58,618	173,54	POZO COR
PC1095	1068085,411	1563796,533	59,269	138,59	POZO COR
PC1096	1068316,314	1564002,491	59,430	115,00	POZO COR
PC1097	1067997,710	1564352,782	58,318	111,85	POZO COR
PC1098	1067451,045	1564222,457	58,065	141,00	POZO COR
PC1099	1067398,477	1563583,038	58,143	229,00	POZO COR
PC1100	1066874,81	1563091,74	57,05	334,85	POZO COR
PC1101	1067000,285	1562996,862	57,003	302,00	POZO COR
PC1102	1067604,523	1562795,454	58,533	100,37	POZO COR
PC1103	1067617,687	1563128,967	60,874	116,00	POZO COR
PC1104	1067002,213	1562594,271	57,070	156,60	POZO COR
PC1105	1066049,856	1563392,424	57,670	333,00	POZO COR
PC1106	1066800,203	1563196,755	57,000	299,59	POZO COR
PC1107	1067207,048	1562597,547	57,220	110,00	POZO COR
PC1108	1066405,130	1563595,165	57,610	287,00	POZO COR
PC1111	1066802,632	1564396,781	56,904	85,69	POZO COR
PC1145	1068599,716	1564044,782	25,120	55,20	POZO COR
PC1146	1068663,562	1564106,752	16,992	47,35	POZO COR
PC1147	1068508,579	1564020,750	27,098	80,20	POZO COR
PC1148	1068453,272	1563983,753	29,659	90,00	POZO COR
PC1149	1068339,763	1563912,969	27,763	95,25	POZO COR
PC1150	1068340,550	1563911,774	27,502	94,85	POZO COR
PC1151	1068518,491	1563994,382	30,269	79,40	POZO COR
PC1152	1068476,392	1563954,971	29,302	79,10	POZO COR
PC1153	1067573,937	1562828,472	50,240	100,77	POZO COR
PC1154	1066914,992	1563078,770	57,220	225,00	POZO COR
PC1155	1067857,218	1564093,275	-50,980	65,15	POZO COR

**Figura 18.** Códigos litológicos del miembro medio de la formación Los Cuervos.

CODIGO	LITOLÓGÍA
AL	Aluvial
CY	Arcilla
SA	Arena
GV	Grava
BR	Brecha
SD	Arenisca
SF	Arenisca fina
SM	Arenisca media
CS	Arcillolita
CO	Carbón
ST	Limolita
INT: SD-CS	Intercalacion de arenisca y arcillolita
INT: SF-ST	Intercalacion de A. fina y limolita
INT: ST-CS	Intercalacion de limolita y arcillolita
INT: SM-ST	Intercalacion de A. media y limolita
INT: CS-SM	Intercalacion de limolita y A. media

**Figura 19.** Registros y parámetros definidos para el estudio.

REGISTRO	PETROPHYSIC PARAMETER	CODES	NOM
<b>Density</b>	Densidad	G/C3	CODE
<b>Neutron</b>	Porosidad	CDNU	CPOR
<b>Sonic</b>	Tiempo de tránsito y velocidad de onda	M/S	MC2F MC4F MC6F
		UM/S	VL2F VL4F VL6F
<b>Gamma Ray</b>	Radiactividad	API	GRDE
<b>Resistivity</b>	Resistividad	OHM	FE1C

Fuente: Autor del proyecto.

En la fase de calibración fue necesario validar los datos obtenidos a partir de los registros, por lo tanto el archivo LAS (Log ASCII Standar) de cada pozo se exportó a Microsoft Excel y se detectaron los valores anómalos que se muestran como números negativos (*Figura 21-22*); pues son en algunos casos producto de las mediciones erróneas de la sonda cuando ésta comienza la toma de información estando aún en superficie y no dentro del pozo; también pueden ser producto de la rugosidad, derrumbes o cavernas en el pozo o en el caso del registro Gamma Ray se pueden presentar datos anómalos debido a variaciones en la temperatura del pozo inclusive en el registro densidad también es posible que se presenten estos datos si no se tiene en cuenta la densidad requerida en el lodo de perforación.

**Figura 20.** Archivos LAS exportado a Microsoft Excel sin validar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
89																
90	4. These files were converted from MASTER to WELL MANAGER logging software.															
91																
92																
93	-A	DEPT	DIFT	TEMP	CATH	CPOR	GRDE	CODE	ADEN	FE1C	MC2F	MC4F	MC6F	VL2F	VL4F	VL6F
94	0.000	-999.250	-999.250	115.453	-999.250	83.855	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
95	0.100	-999.250	-999.250	110.544	-999.250	91.926	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
96	0.200	-999.250	-999.250	109.271	-999.250	94.899	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
97	0.300	-999.250	-999.250	109.817	-999.250	84.880	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
98	0.400	-999.250	-999.250	109.453	-999.250	85.511	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
99	0.500	-999.250	-999.250	108.999	-999.250	99.868	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
100	0.600	-999.250	-999.250	108.908	7.991	110.360	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
101	0.700	-999.250	-999.250	109.544	7.829	103.813	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
102	0.800	0.253	31.526	108.989	7.604	91.901	-999.250	1.723	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
103	0.900	0.260	31.539	109.453	7.317	82.508	1.745	1.669	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
104	1.000	0.261	31.551	108.635	7.124	94.899	1.774	1.781	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
105	1.100	0.260	31.559	109.817	7.026	97.817	1.786	1.736	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
106	1.200	0.259	31.565	109.362	6.517	86.300	1.814	1.789	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
107	1.300	0.256	31.558	109.544	7.139	86.695	1.817	1.809	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
108	1.400	0.257	31.574	108.817	6.332	99.789	1.849	1.777	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
109	1.500	0.258	31.587	108.271	5.657	96.634	1.874	1.911	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
110	1.600	0.252	31.577	108.544	5.706	94.583	1.908	1.921	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
111	1.700	0.247	31.594	109.362	5.854	95.293	1.881	1.866	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
112	1.800	0.253	31.598	109.817	6.353	82.592	1.886	1.964	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
113	1.900	0.251	31.591	108.726	6.430	87.483	1.869	1.825	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
114	2.000	0.244	31.598	108.544	6.937	88.903	1.777	1.858	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
115	2.100	0.238	31.613	108.726	7.132	86.537	1.729	1.655	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250
116	2.200	0.238	31.617	107.999	6.510	91.794	1.717	1.689	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250	-999.250

Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 21.** Archivo LAS exportado a Microsoft Excel y posteriormente validado.

A	DEPT	DIFT	TEMP	CATH	OPOR	GRDE	CODE	ADEN	FE1C	MC2F	MC4F	MC6F	VL2F	VL4F	VL6F
0				115,453		83,855									
0.1				110,344		92,926									
0.2				109,271		94,899									
0.3				109,817		84,88									
0.4				109,453		85,511									
0.5				108,999		99,868									
0.6				108,908	7,991	110,36									
0.7				109,544	7,829	103,813									
0.8	0,253	31,526	108,999	7,604	91,901			1,723							
0.9	0,26	31,539	109,453	7,317	82,908	1,745	1,669								
1	0,261	31,551	108,635	7,124	94,899	1,774	1,781								
1.1	0,26	31,559	109,817	7,026	97,817	1,786	1,738								
1.2	0,259	31,565	109,362	6,517	86,3	1,814	1,789								
1.3	0,256	31,558	109,544	7,199	86,695	1,817	1,809								
1.4	0,257	31,574	108,817	6,382	99,789	1,849	1,777								
1.5	0,258	31,587	108,271	5,657	96,634	1,874	1,911								
1.6	0,253	31,577	108,544	5,706	94,583	1,908	1,921								
1.7	0,247	31,594	109,362	5,654	95,293	1,881	1,866								
1.8	0,253	31,598	109,817	6,353	82,592	1,886	1,964								
1.9	0,251	31,591	108,726	6,43	87,483	1,869	1,825								
2	0,244	31,598	108,544	4,937	88,903	1,777	1,858								
2.1	0,238	31,613	108,726	7,132	86,537	1,729	1,655								
2.2	0,238	31,617	107,999	6,51	93,794	1,717	1,689								

Fuente: Autor del proyecto.

Durante la fase II también se organizó la información de los registros no solamente con el propósito de mantener el orden de los datos sino también para emplear las fórmulas de condicionamiento en Excel y de esta manera poder agregar las descripciones litológicas a partir de núcleos hechas en campo por geólogos encargados de esta tarea, cabe resaltar que se está trabajando con información de las campañas de perforación del año 2005, 2007, 2009 y 2011.

En ese orden de ideas, se creó un archivo en Excel para cada uno de los 55 pozos, dicho archivo contiene cuatro hojas de cálculo (ver Figura 22), por ejemplo para el pozo PC1029 la hoja 1 es nombrada .LASPC1029 la cual contiene el archivo LAS con todos los datos medidos como la temperatura, Caliper, Resistividad, Gamma Ray, Densidad, Neutrón y Sónico exportado y validado como se observa en la figura 22, la hoja 2 es llamada .LITH\_PC1029 esta contiene una tabla, en la primera columna de dicha tabla se encuentra el nombre del pozo, la segunda columna llamada "FROM" corresponde a la profundidad, en la tercera columna se observan la celda nombrada "SEAM" es decir, manto y por último, se observa la columna "LITH" en donde está la litología, (Figura 23).

**Figura 22.** Archivo de Excel del pozo PC1029, hoja 2: LITH\_PC1029.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	BOREID	FROM	SEAM	LITH					
135	PC1029	114,11		CS					
136	PC1029	114,25		SD					
137	PC1029	114,67	C390	CO					
138	PC1029	115,1	C390	CO					
139	PC1029	116,09		CS					
140	PC1029	117,06		SD					
141	PC1029	118,27		ST					
142	PC1029	118,84		SD					
143	PC1029	119,2		SD					
144	PC1029	119,68		SD					
145	PC1029	122,06		SD					
146	PC1029	122,56		SD					
147	PC1029	122,61		SD					
148	PC1029	122,92		SD					
149	PC1029	123,1		SD					
150	PC1029	124,05	C380	CO					
151	PC1029	126,05	C380	CO					
152	PC1029	126,3	C380	CO					
153	PC1029	126,33		CS					
154	PC1029	126,57		ST					
155	PC1029	128		CS					
156	PC1029	128,05		CO					
157	PC1029	128,15		CS					
158	PC1029	128,52		CS					

Fuente: Autor del proyecto.

La hoja 3 se llama PC\_1029 allí se encuentran discriminados cada uno de los registros que se van a utilizar para determinar los rangos de valores de identificación litológica, por esa razón no se tiene en cuenta las mediciones de la temperatura y el caliper (*Figura 24*). Finalmente la hoja 4 se llama INT\_PC1029 en la cual se van a encontrar los intervalos mínimos y máximos de cada uno de los registros para cada litología y cada manto que contenga ese pozo en específico (*ver Figura 25*).

Figura 23. Archivo de Excel del pozo PC1029, hoja 3: PC\_1029.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
LITHOLOI	~A	DEP	MC2F	MC4F	MC6F	LITHOLOI	VL2F	VL4F	VL6F	LITHOLOI	GRDE	CODE	CPOR	LITHOLOI	FE1C
3283	C199	328,1	438,632	440,226	442,946	C199	2279,82	2271,56	2257,61	C199	9,091	1,281	74,594	C199	751,411
3284	C199	328,2	432,193	441,075	442,493	C199	2313,78	2267,19	2259,92	C199	6,818	1,294	66,019	C199	804,296
3285	C199	328,3	426,962	440,421	442,648	C199	2342,13	2270,55	2259,13	C199	8,894	1,281	83,574	C199	647,911
3286	C199	328,4	424,547	438,247	441,465	C199	2355,45	2281,82	2265,19	C199	12,253	1,285	104,834	C199	358,727
3287	C199	328,5	424,547	439,179	418,024	C199	2355,45	2276,98	2392,21	C199	18,38	1,302	102,705	C199	793,263
3288	C199	328,6	419,316	438,978	393,522	C199	2384,84	2278,02	2541,15	C199	26,681	1,318	100,203	C199	794,404
3289	C199	328,7	392,757	400,376	366,579	C199	2546,11	2497,65	2727,92	C199	45,654	1,565	83,087	C199	164,252
3290	C199	328,8	340,04	367,675	335,802	C199	2940,83	2719,79	2977,95	C199	94,075	1,959	67,439	C199	12,985
3291	C199	328,9	325,151	325,564	303,726	C199	3075,5	3071,59	3292,44	C199	127,278	2,272	53,045	C199	13,425
3292	SD	329	299,211	276,591	278,234	SD	3342,12	3615,45	3594,1	SD	126,784	2,566	43,568	SD	19,084
3293	SD	329,1	275,371	273,449	278,105	SD	3631,46	3656,99	3595,76	SD	125,796	2,669	39,646	SD	19,69
3294	SD	329,2	261,579	268,159	270,629	SD	3822,94	3729,13	3695,1	SD	113,641	2,581	38,082	SD	30,106
3295	SD	329,3	273,427	267,525	265,524	SD	3657,28	3737,97	3766,14	SD	109,985	2,584	32,582	SD	29,152
3296	SD	329,4	279,617	267,926	265,913	SD	3576,32	3732,37	3760,63	SD	114,432	2,561	31,72	SD	22,863
3297	SD	329,5	276,127	267,47	268,734	SD	3621,52	3738,74	3721,15	SD	113,938	2,577	35,853	SD	22,186
3298	SD	329,6	267,144	262,54	270,428	SD	3743,3	3808,94	3697,84	SD	114,629	2,588	35,441	SD	23,69
3299	SD	329,7	268,773	263,373	272,003	SD	3720,61	3796,9	3676,43	SD	107,514	2,61	33,782	SD	28,751
3300	SD	329,8	275,52	267,614	277,283	SD	3629,5	3736,73	3606,42	SD	109,59	2,6	30,952	SD	30,452
3301	SD	329,9	285,31	274,506	281,183	SD	3504,96	3642,91	3556,4	SD	108,503	2,593	31,315	SD	22,038
3302	SD	330	289,907	281,519	284,625	SD	3449,38	3552,16	3513,39	SD	120,559	2,646	34,903	SD	23,018
3303	SD	330,1	292,162	283,765	288,229	SD	3422,76	3524,04	3469,46	SD	118,286	2,604	35,994	SD	23,193
3304	SD	330,2	290,802	283,975	290,149	SD	3438,77	3521,44	3446,51	SD	114,037	2,554	39,171	SD	20,955
3305	ST	330,3	289,46	286,097	289,659	ST	3454,71	3495,32	3452,34	ST	113,429	2,549	39,711	ST	20,743
3306	ST	330,4	292,216	289,124	287,357	ST	3422,13	3458,72	3479,99	ST	125,499	2,561	37,282	ST	19,08
3307	ST	330,5	298,497	289,079	283,538	ST	3350,12	3459,26	3526,86	ST	113,839	2,552	37,419	ST	18,168
3308	ST	330,6	298,747	286,278	279,309	ST	3347,31	3493,11	3580,26	ST	134,887	2,569	37,763	ST	16,216
3309	ST	330,7	285,055	278,455	277,556	ST	3508,09	3591,24	3602,88	ST	141,409	2,599	39,563	ST	18,593

Figura 24. Archivo de Excel del pozo PC1029, hoja 4: INT\_PC1029.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
LITH	MC2F	MC4F	MC6F	VL2F	VL4F	VL6F	CPOR	FE1C									
2	AL	ND	ND	ND	ND	ND											
3	BR	231,303	453,694	222,687	444,036	229,779	443,129	2194,46	4323,37	2252,07	4490,61	2256,46	4352,01	30,492	60,369	6,75	62,829
4	CB	211,78	309,687	221,997	473,57	234,347	471,209	1961,99	4722,33	2111,82	4504,57	2122,2	4263,54	28,111	90,133	4,291	3620,57
5	SD	202,414	482,482	200,402	480,264	207,446	478,704	2072,62	4940,36	2082,19	4989,96	1957,95	4815,89	15,305	150,755	0	289,356
6	ST	207,602	508,539	216,097	494,384	217,893	492,02	1966,42	4816,91	2022,72	4856,49	2032,44	4768,13	19,576	65,413	4,747	111,631
7	3F	237,691	536,419	234,411	500,234	244,221	481,632	1864,21	4207,15	1999,06	4266,01	1957,95	4772,13	25,399	80,142	6,593	58,541
8	C400	392,541	466,18	390,726	453,539	401,826	452,094	2145,09	2547,51	2204,88	2559,34	2211,93	2488,64	49,446	94,392	11,639	1741,675
9	C390	376,166	438,442	285,394	434,068	307,762	418,429	2280,8	3621,01	2303,79	3503,93	2389,89	3240,26	34,689	101,65	12,358	345,384
10	C380	411,691	483,162	395,113	464,634	413,167	461,293	2069,7	2429,01	2152,23	2530,92	2167,82	2420,33	47,55	104,011	9,118	1308,376
11	C370	422,178	457,232	406,183	458,801	420,595	436,176	2187,07	2571,79	2179,59	2462,07	2192,34	2377,58	55,819	106,448	12,155	159,867
12	C360	421,622	496,802	408,65	483,46	420,643	473,131	2012,87	2012,87	2068,42	2447,08	2313,58	2377,31	53,407	101,596	8,397	268,471
13	C359	425,02	443,882	422,86	447,943	395,996	449,694	2252,85	2352,83	2232,45	2364,85	2224,72	2525,28	73,924	115,159	57,239	290,242
14	C345	421,89	442,218	399,228	433,711	395,241	435,734	2261,33	2370,29	2305,68	2504,83	2294,98	2530,1	58,955	108,046	20,514	114,497
15	C340	428,868	451,523	417,704	438,568	402,627	438,962	2214,72	2331,72	2280,15	2394,04	2278,1	2483,69	65,759	120,887	20,51	20,51
16	C330	279,678	475,67	277,666	483,837	276,154	474,185	2202,3	3575,54	2066,81	3601,45	2108,88	3621,17	39,962	105,115	6,921	913,986
17	C310	436,327	451,756	416,529	439,008	380,863	441,198	2213,58	2291,86	2277,86	2400,79	2266,56	2635,62	71,183	117,989	34,465	607,309
18	C300	290,356	455,551	297,149	457,584	299,887	453,737	2195,14	3444,05	2185,39	3385,32	2203,92	3334,59	41,715	91,479	7,429	218,773
19	C270	202,414	458,983	265,581	451,107	259,457	445,875	2178,72	3730,8	2216,77	3793,89	2242,28	3852,71	36,319	136,041	17,511	827,391
20	C260	236,221	436,204	321,691	429,731	232,998	420,735	2292,51	4233,32	2327,04	3106,57	2434,86	4291,86	69,353	114,68	18,538	1001,551
21	C250	254,53	448,372	252,902	439,882	259,727	438,676	2230,29	3828,81	2272,82	3954,1	2279,59	3890,2	32,038	112,553	12,508	3111,037
22	C240	202,414	457,806	241,915	448,617	249,449	449,073	2185,29	4281,57	2329,07	4133,68	2226,81	4008,84	33,625	150,755	8,466	3620,57
23	C230	277,381	439,574	273,904	430,821	292,732	431,1	2274,93	3605,15	2321,15	3650,91	2319,65	3416,09	33,868	134,075	18,342	146,461
24	C210	313,793	447,388	300,567	437,3	301,118	432,332	2235,1	3186,81	2286,76	3327,05	2313,09	3320,96	41,703	108,384	10,287	629,754
25	C200	416,073	452,756	391,244	446,05	433,604	447,015	2208,7	2395,71	2241,9	2344,82	2237,06	2306,25	50,772	120,462	8,759	734,06
26	C199	325,151	450,966	325,564	444,537	303,726	445,201	3217,46	3075,5	3249,53	3071,59	3246,18	3292,44	53,045	53,045	12,985	970,35

Fuente: Autor del proyecto.

Las fórmulas de condicionamiento mencionadas en esta investigación se emplearon con el propósito de agregar las descripciones litológicas de los núcleos de perforación a los archivos LAS exportados a Excel, por ello precisamente se creó la hoja 2 de Excel llamada LITH\_PC1027 (Figura 26), en ella se crea una matriz seleccionando todos los valores de las columnas B, C y D respectivamente por ser las de interés y se le da un nombre a la matriz, en este caso fue: LITH\_1027

**Figura 25.** Matriz de datos en Excel del pozo PC1027.

	A	B	C	D	E	F	G
1	BOREID	FROM	SEAM	LITHOLOGY			
2	PC1027	0		AL			
3	PC1027	1		AL			
4	PC1027	3		AL			
5	PC1027	4		AL			
6	PC1027	20		CS			
7	PC1027	20		ST			
8	PC1027	22,37		SD			
9	PC1027	23,3		SD			
10	PC1027	24,43		SD			
11	PC1027	24,7		SD			
12	PC1027	25,21		SD			
13	PC1027	25,78		SD			
14	PC1027	27,18		SD			
15	PC1027	28,16		SD			
16	PC1027	29,35		SD			
17	PC1027	30,01		SD			
18	PC1027	31,11		SD			
19	PC1027	31,91		ST			
20	PC1027	32,14		SD			
21	PC1027	34,21		CS			
22	PC1027	34,57		CS			
23	PC1027	35,5		CS			
24	PC1027	36,67		CS			
25	PC1027	38,09	C400	CO			
26	PC1027	41,9	C400	CO			
27	PC1027	45,21	C400	CO			
28	PC1027	48,52	C400	CO			

Fuente: Autor del proyecto.

Seguidamente se selecciona la columna A que representa la profundidad del pozo (Figura 27), ésta se ubica en la hoja 3: PC\_1027, se le da el nombre a la matriz que en este ejemplo fue DEPTH\_1027 y posteriormente se emplea la fórmula de Búsqueda vertical (BUSCARV) para agregar la litología de manera sistemática a todo el pozo. Esta función permite encontrar un valor dentro de un rango de datos es decir, podemos buscar un valor dentro de una tabla y saber si dicho valor existe o no (Figura 28) por lo tanto, la función BUSCARV tiene tres argumentos obligatorios y uno opcional, estos son: valor buscado, matriz\_buscar, indicador\_columna y ordenado (opcional).

**Figura 26.** Matriz de profundidad de pozo en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	~A DEI	LITHOLO	MC2F	MC4F	MC6F	LITHOLO	VL2F	VL4F	VL6F	LITHOLO	GRDE	FE1C	CPOR
2	0	AL				AL				AL	70,951		
3	0,1	AL				AL				AL	68,283		
4	0,2	AL				AL				AL	79,944		
5	0,3	AL				AL				AL	89,134		
6	0,4	AL				AL				AL	82,118		
7	0,5	AL				AL				AL	76,09		
8	0,6	AL				AL				AL	72,532		
9	0,7	AL				AL				AL	67,69		
10	0,8	AL				AL				AL	61,465		
11	0,9	AL				AL				AL	60,477		
12	1	AL				AL				AL	68,678		
13	1,1	AL				AL				AL	53,856		
14	1,2	AL				AL				AL	43,282		
15	1,3	AL				AL				AL	48,421		
16	1,4	AL				AL				AL	52,966		
17	1,5	AL				AL				AL	54,943		
18	1,6	AL				AL				AL	72,928		
19	1,7	AL				AL				AL	79,252		
20	1,8	AL				AL				AL	64,034		2,497
21	1,9	AL				AL				AL	59,192		2,151
22	2	AL				AL				AL	56,227		1,231
23	2,1	AL				AL				AL	46,247		0,711
24	2,2	AL				AL				AL	53,065		1,333
25	2,3	AL				AL				AL	60,872		
26	2,4	AL				AL				AL	62,453		
27	2,5	AL				AL				AL	53,757		1,297
28	2,6	AL				AL				AL	54,745		2,719

Fuente: Autor del proyecto.

Figura 27. Función BUSCARV en Excel.

Del mismo modo, para determinar los rangos de valores de identificación litológica se hallaron intervalos de datos, es decir valores mínimos y máximos de cada uno de los registros de interés, para cada una de las litologías y mantos de cada pozo. Se empleó la fórmula de MIN y MAX. (Véase Fig. 29-30)

Figura 28. Función MIN en Excel.

Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 29. Función MAX en Excel.**

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the formula bar containing `=MAX(PC_1027(C83:C52))`. The spreadsheet has columns labeled A through O. Row 1 contains headers for different mantos: AL, ST, SD, CS, SF, BR, C400, C120, C110, C100, C170, C160, C150, C140, C130, C120, C110, C100, C199. Row 2 contains sub-headers for different lithologies: INT. MC2F, INT. MC4F, INT. MC6F, INT. VL2F, INT. VL4F, INT. VL6F, and FEIC. The data rows contain numerical values for each combination of manto and lithología.

Una vez hallados y establecidos los rangos, es decir, los valores mínimos y máximos de cada litología y cada manto de cada pozo, se ordenan en un nuevo archivo de Excel los datos de una litología o manto específico presente en cada pozo y se emplea la fórmula Promedio PROM (Figura 31), seleccionando las celdas con las cuales se requiere emplear dicha función; de esta manera se obtienen los rangos de valores de identificación litológica y el promedio para cada uno.

**Figura 30. Función PROM en Excel.**

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the formula bar containing `=PROMEDIO(C11:B13)`. The spreadsheet has columns labeled A through O. Row 1 contains headers for different mantos: MANTO, MC2F, MC4F, MC6F, VL2F, VL4F, VL6F, and FEIC. Row 2 contains sub-headers for different lithologies: MIN, MAX, MIN, MAX, MIN, MAX, MIN, MAX, MIN, MAX, MIN, MAX, MIN, MAX. The data rows contain numerical values for each combination of manto and lithología. At the bottom, there are summary rows for 'RANGO TOTAL' for each lithología.

Fuente: Autor del proyecto.

El método estadístico de diagrama de caja y bigotes o Boxplot fue empleado para las litologías predominantes en los pozos perforados del sector A pertenecientes al miembro medio de la formación Los Cuervos con el fin de tener una mayor precisión de los datos procedentes de los registros ya que éste diagrama permite analizar la asimetría de los datos e identificar cuáles son los valores anómalos o atípicos del conjunto de datos pues serán los que se sitúen por fuera del diagrama y se representarán con un asterisco (\*), dichos diagramas fueron elaborados en Microsoft Excel para cada una de las litologías más predominantes las cuales se encuentran en la tabla de la *Figura 19*.

### 7.3 CRONOGRAMA

**Figura 31.** Cronograma de actividades ejecutadas durante el desarrollo de la práctica empresarial.

ACTIVIDADES Y/O FUNCIONES ESPECÍFICAS		PERIODO																							
		OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
I	Formulación de la propuesta	■	■																						
II	Presentación de la propuesta	■																							
III	Recopilación de información existente	■	■	■	■																				
IV	Entrega y análisis de registros geofísicos	■	■	■	■																				
V	Georeferenciar pozos piezométricos del sector A y CD en DraftSight					■	■	■	■																
VI	Elaboración de columnas estratigráficas de pozos geotécnicos corazonados					■	■	■	■																
VII	Análisis de información de pozos corazonados									■	■	■	■												
VIII	Asistencia en perforación e instalación de piezómetros									■	■	■	■												
IX	Seguimiento, análisis y actualización de la Data Base Coal Mining Report Oct 2016 - Mar 2017	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
X	Asistencia a entrenamientos del programa de Yo Trabajo Seguro "YTS" llamado Manejo y Control de Estratos		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■	■	■	■				
XI	Levantamiento de información de campo para reconciliaciones de espesores y volúmenes													■	■	■	■								
XIII	Aplicación geoestadística para determinación de rangos de valores de identificación litológica													■	■	■	■								
XIV	Implementación de un software para la correlación de resultados																	■	■	■	■	■	■	■	■
XV	Comparación de resultados con un modelo existente																								
XVI	Actividades asignadas por la empresa durante la ejecución de la práctica empresarial	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
XVII	Elaboración del proyecto final de grado en modalidad práctica empresarial	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Autor del proyecto.

## **8. IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE**

Los impactos que se efectuaron durante la práctica empresarial fueron de carácter positivo ya que fue una oportunidad que me permitió como joven profesional aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos durante la transición de mi proceso de formación, como también me permitió desarrollar nuevas competencias que sin duda contribuyen a mejorar mi perfil profesional, tener la oportunidad de conocer profesionales de diversas áreas también ha sido uno de los principales beneficios.

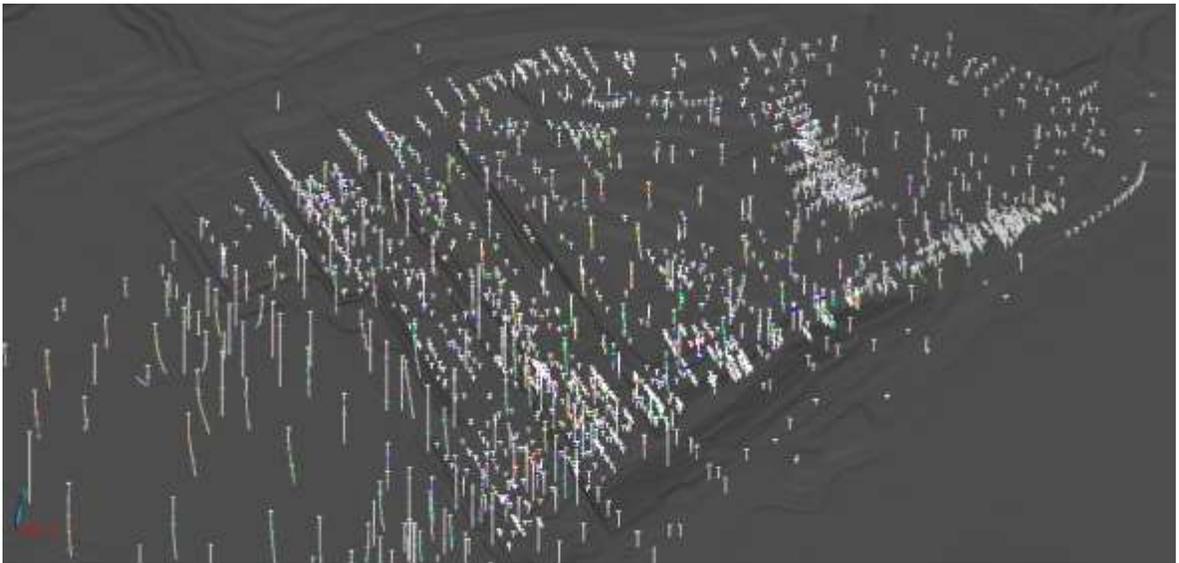
## **9. LIMITACIONES**

Durante el desarrollo de la práctica empresarial se presentaron inconvenientes con el software DraftSight lo cual impedía la entrega oportuna de las tareas asignadas, sin embargo fue un problema al que se le dio solución por parte de la empresa; otro inconveniente inevitable presentado fueron las condiciones climáticas ya que cuando había mucha precipitación no era posible realizar las labores en campo, por otro lado el proceso de la adquisición del software empleado para la correlación petrofísica causó retrasos en la entrega del informe debido a situaciones ocurridas con su licencia.

## 10. RESULTADOS

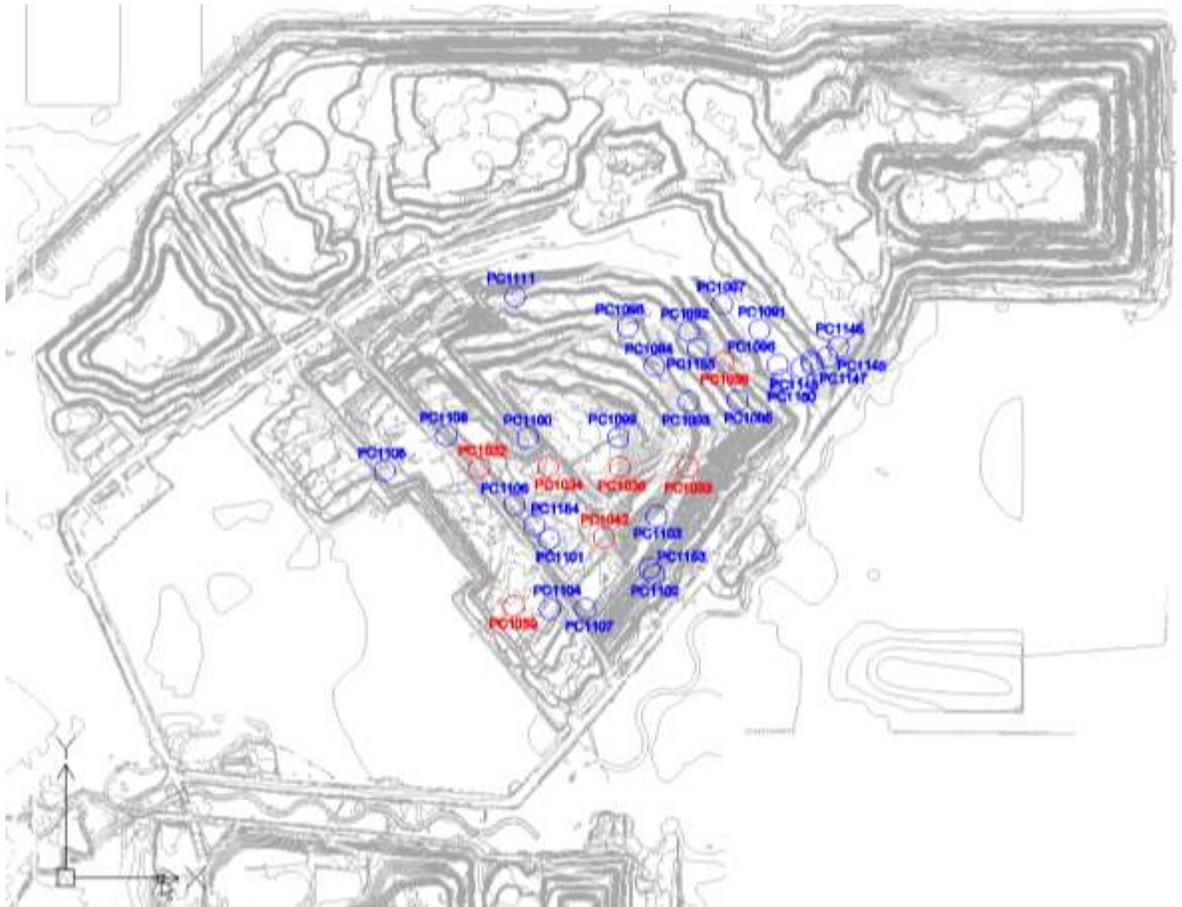
Como está descrito en las páginas anteriores, para determinar los rangos de valores de identificación litológica se utilizaron los archivos LAS (Log ASCII Standar) de los pozos corazonados de las campañas realizadas durante los años 2005, 2007, 2009 y 2011 ubicados en distintos puntos del sector A, (*Figura 33-34*).

**Figura 32.** Campañas de perforación de pozos corazonados en el sector A, mina Calenturitas.



Fuente: C.I Prodeco S.A

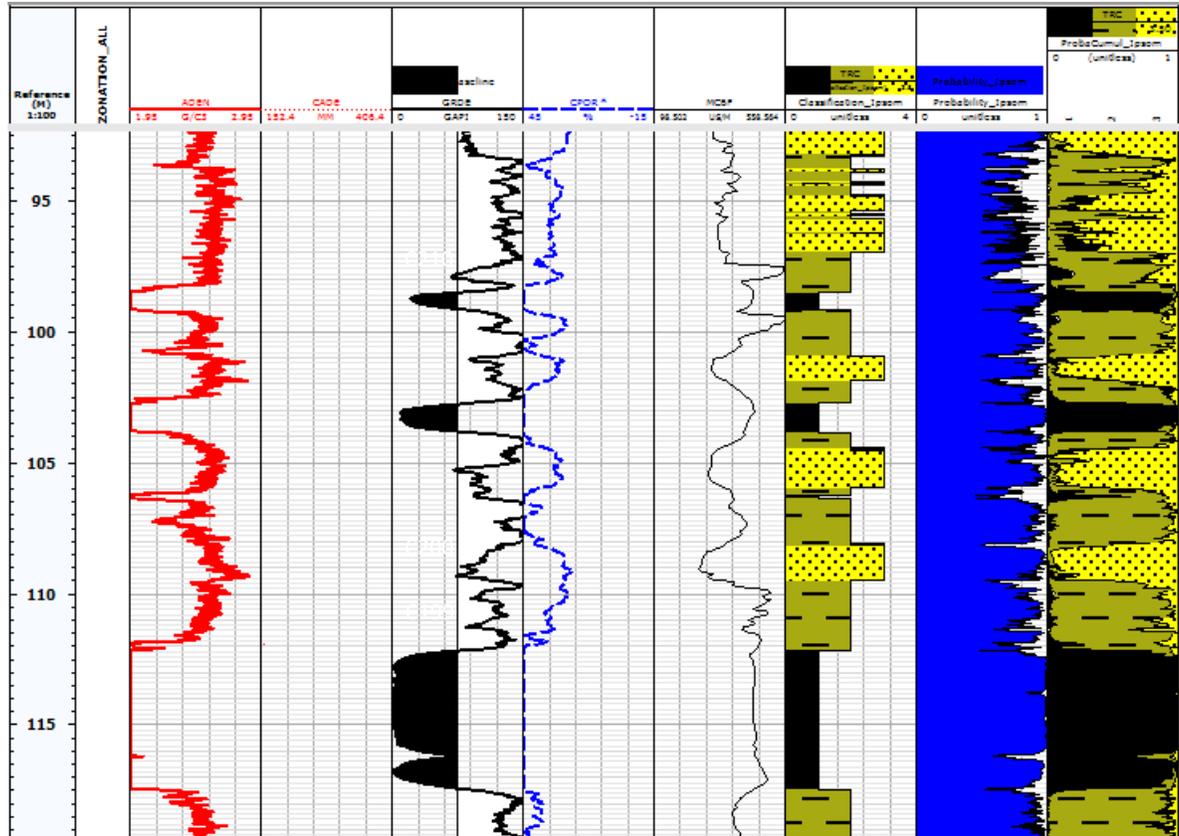
**Figura 33.** Pozos corazonados de interés para el proyecto.



Fuente: C.I Prodeco S.A

La caracterización petrofísica se realizó mediante el análisis de las respuestas de los diferentes registros geofísicos suministrados por la empresa, sin embargo, se tuvo en cuenta las descripciones previas de los pozos corazonados en campo, ya que la curva de los registros presenta para cada litología un comportamiento específico en algunos casos, como también puede exhibir comportamientos similares en dos o más litologías (*Figura 35*), por ello se ve la importancia de emplear otros registros como el registro de densidad, porosidad y sísmico.

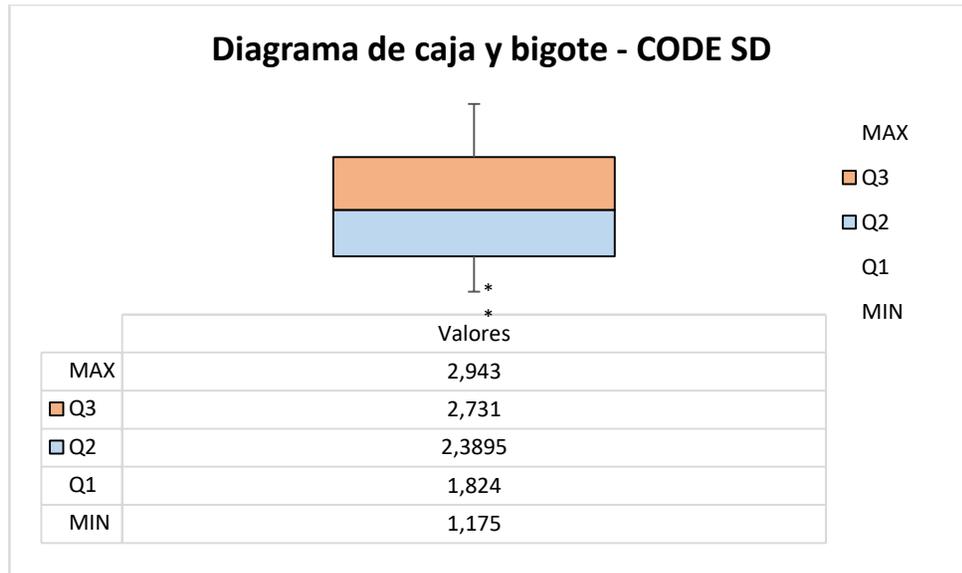
**Figura 34.** Curva representativa de los registros Gamma Ray, Densidad y Porosidad del pozo PC1120 del sector A.



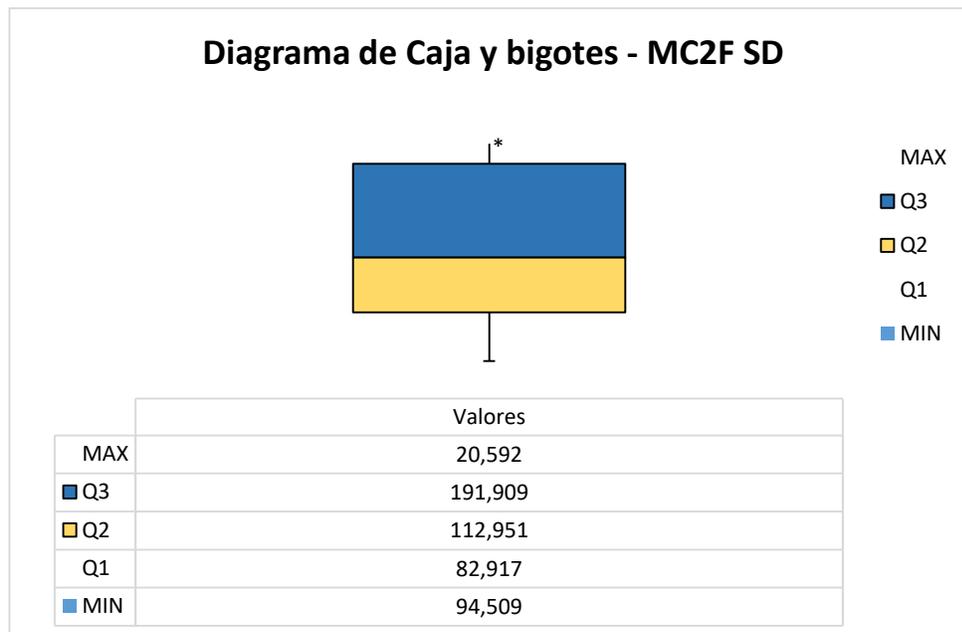
Fuente: Autor del proyecto.

En la Figura 35, se observa la curva de densidad del pozo PC1120 de color rojo, la curva del registro Gamma Ray de color negro y la curva punteada de color azul corresponde al registro de porosidad, nótese que los mantos C200, C199 y C210 presentan la densidad más baja, porosidad alta y radiactividad baja; por tanto, estos patrones distintivos los caracterizan frente a otras litologías, sin embargo se observa que en las areniscas y las arcillolitas la densidad y la porosidad es variable, además el comportamiento de las curvas es similar para ambos tipos de roca, en ese caso el registro que permite diferenciar una litología de la otra es el registro gamma; el cual presenta un comportamiento radiactivo alto en las arcillolitas mientras que en las areniscas la radiactividad es menor. A continuación se encuentran las gráficas del Boxplot o diagrama de caja y bigotes de diferentes parámetros petrofísicos para las litologías que tengan la mayor cantidad de datos representativos, los resultados son los siguientes:

**Figura 35.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes de la densidad para las areniscas del miembro medio de la formación Los Cuervos.



**Figura 36.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro sónico (Time-Transit) para las areniscas del miembro medio de la formación Los Cuervos.



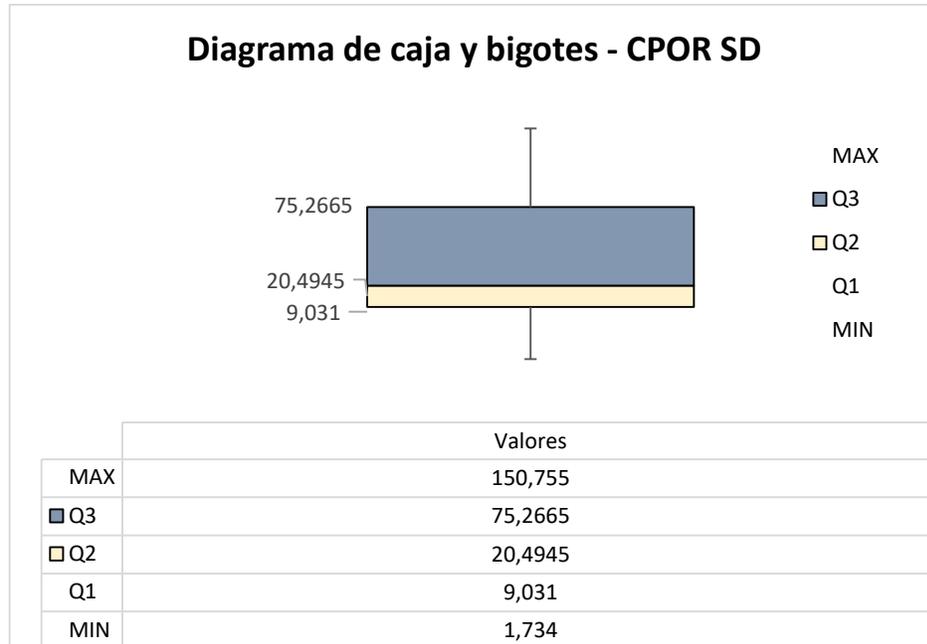
Fuente: Autor del proyecto.

Los diagramas de caja y bigote representan el conjunto de datos tanto para la densidad de las areniscas en el caso de la *Figuras 36* y el tiempo de tránsito medido por el registro sísmico para las areniscas en la *Figura 37*.

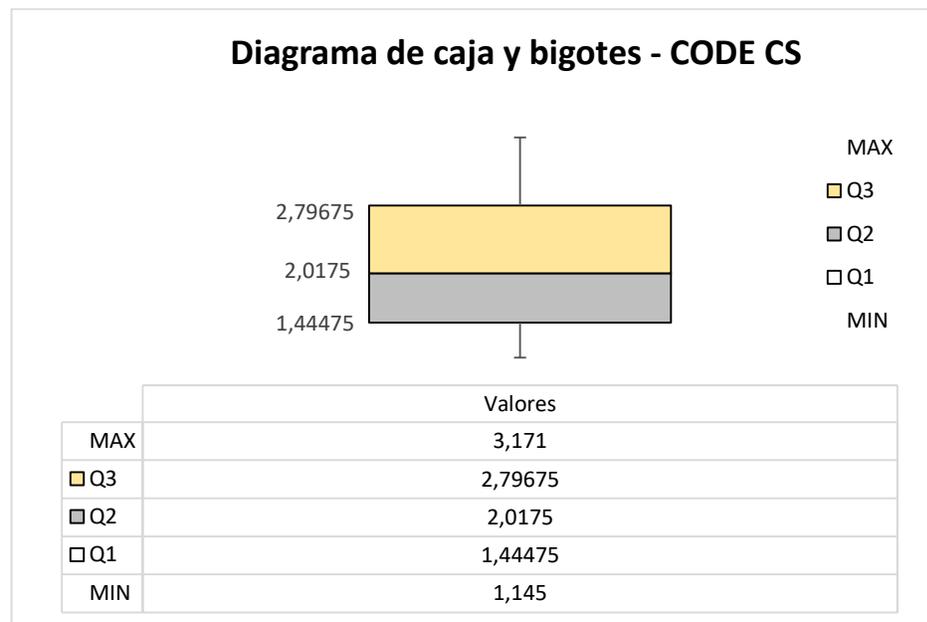
En el caso de la *Figura 36*, para la densidad de las areniscas (CODE SD) se observa que, el número de datos se encuentra distribuido de manera uniforme entre las cajas Q1 y Q3, siendo Q2 la mediana y/o la línea que divide la caja en dos, el bigote inferior corresponde al número mínimo de las datos, dicho bigote es más corto que el bigote superior que representa al número máximo de datos, esto se debe a que los datos comprendidos entre en bigote inferior que es igual a 1,175 y el cuartil1 "Q1" es igual a 1,824 se encuentran más agrupados o son más consecutivos entre sí a diferencia de los valores del bigote superior y el cuartil3 "Q3" que tiene una tendencia de números más dispersa, además se observan datos anómalos a lo largo del bigote superior, estos valores corresponden a datos que no tienen relación respecto al conjunto total de datos.

Para la gráfica de la *Figura 37*, se observa que las poblaciones de la caja se encuentran más dispersas entre Q2 y Q3 que representan el 50 y el 75% de los valores y en contraste con la figura anterior, acá el bigote superior es más corto que el bigote inferior por tanto los datos de los valores más pequeños están más dispersos, los valores anómalos se encuentran en el bigote superior por ende son valores que no son tenidos en cuenta al momento de determinar los rangos de valores de identificación litológica, es por esta razón que se emplean estos gráficos, para tener una mayor precisión en la información; finalmente, para visualizar los diagramas de caja y bigotes de las demás litologías ir a los anexos.

**Figura 37.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Neutrón (Porosity) para las areniscas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

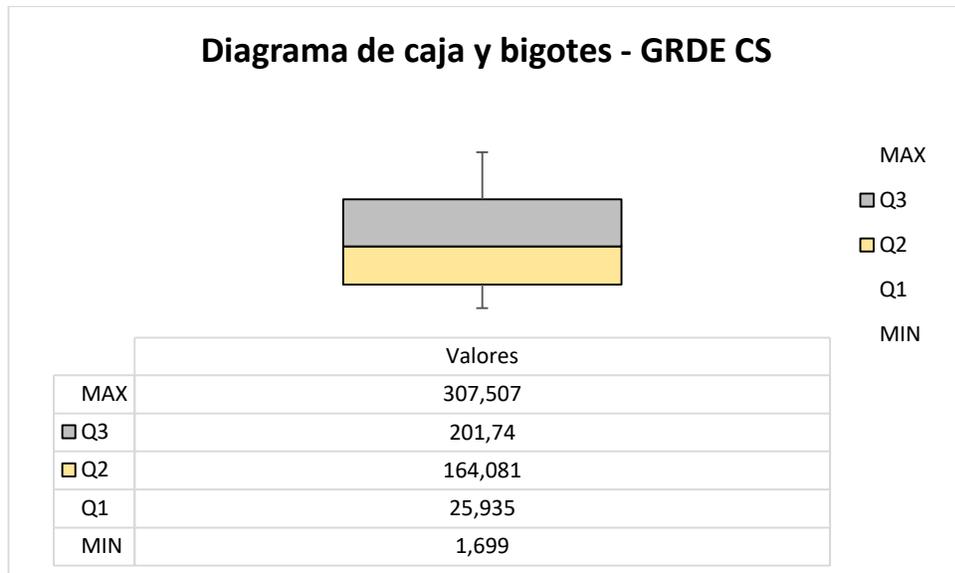


**Figura 38.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Density (Densidad) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

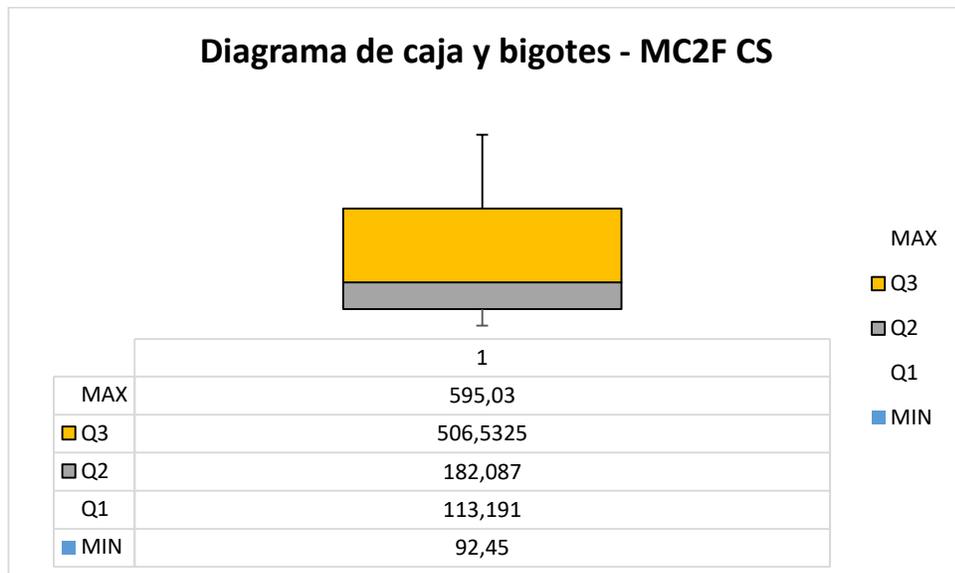


Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 39.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Gamma Ray para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

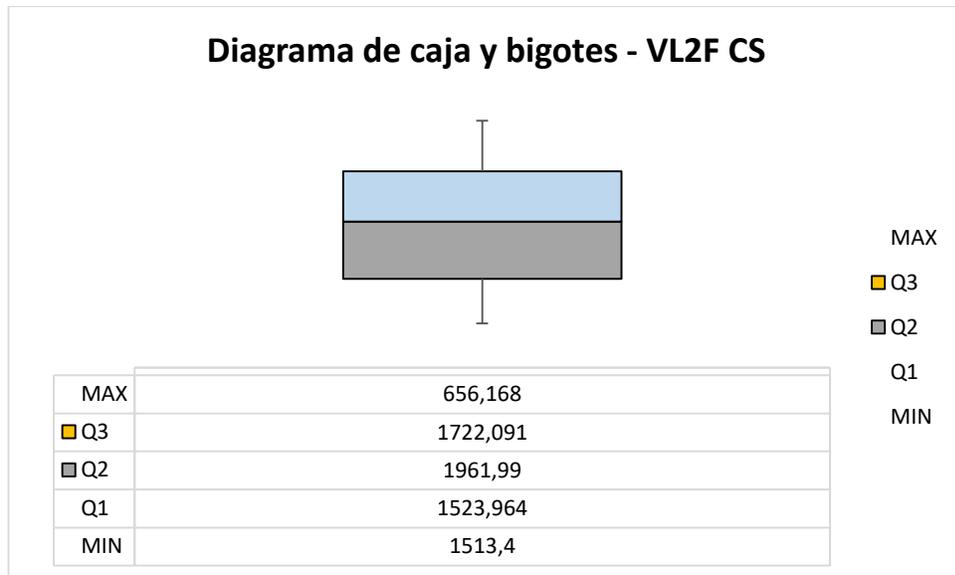


**Figura 40.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

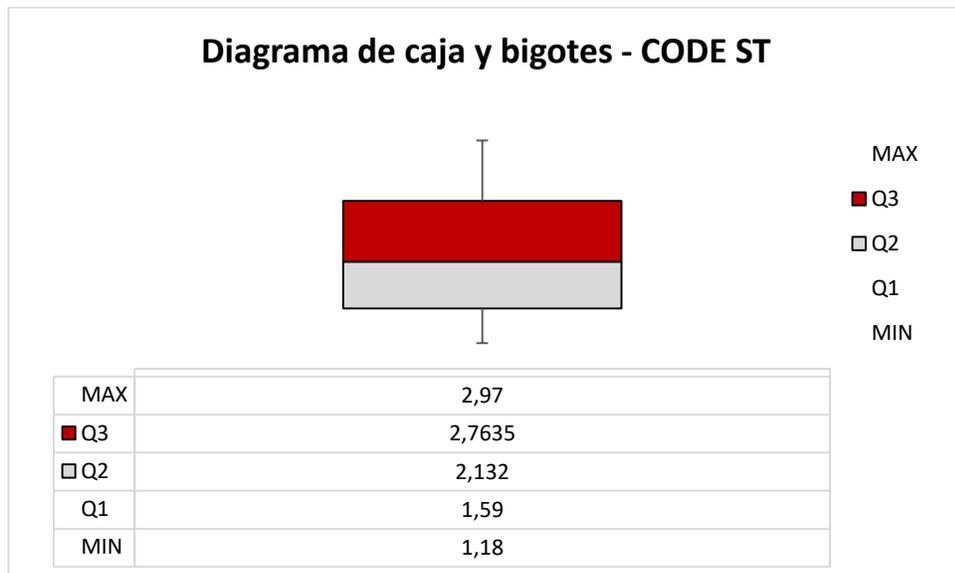


Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 41.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

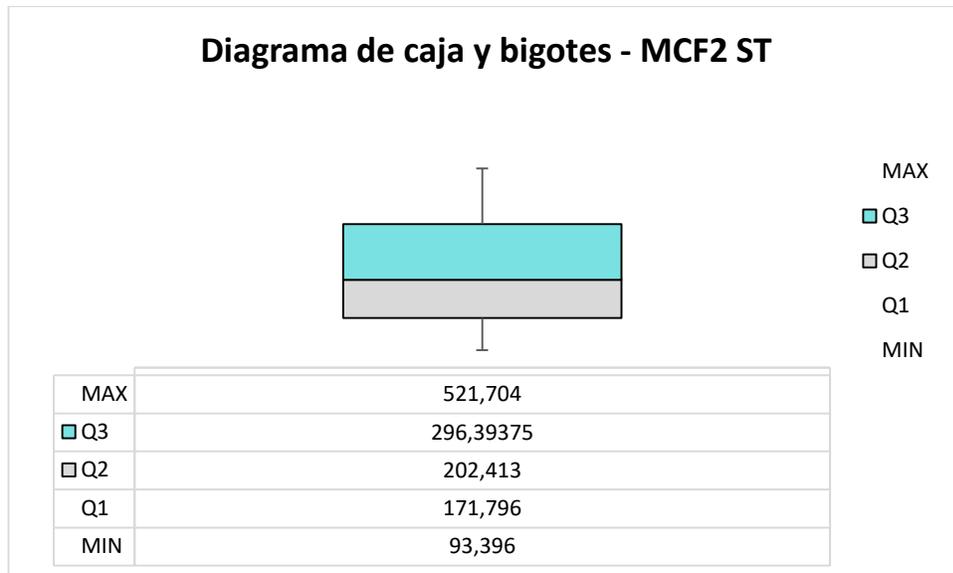


**Figura 42.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Density (Densidad) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

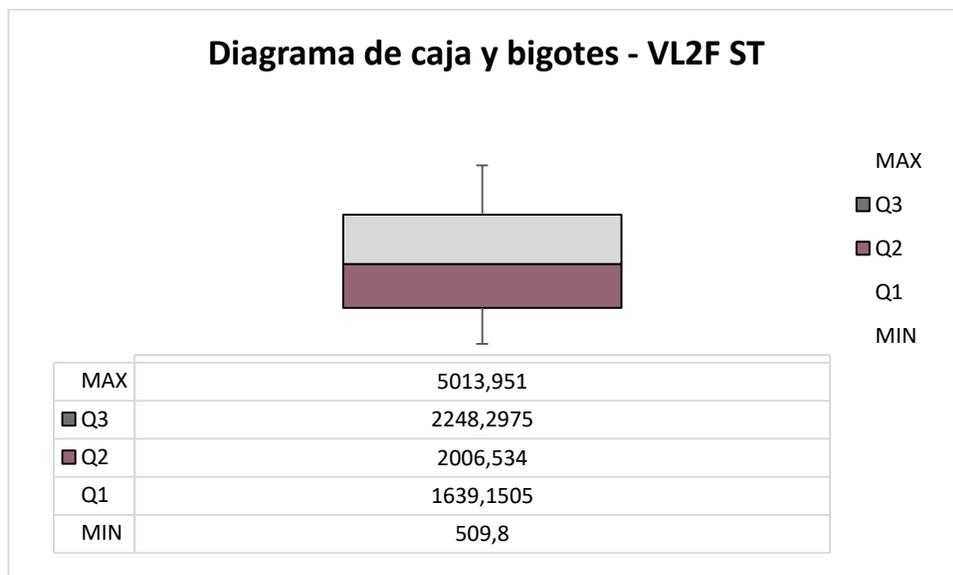


Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 43.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

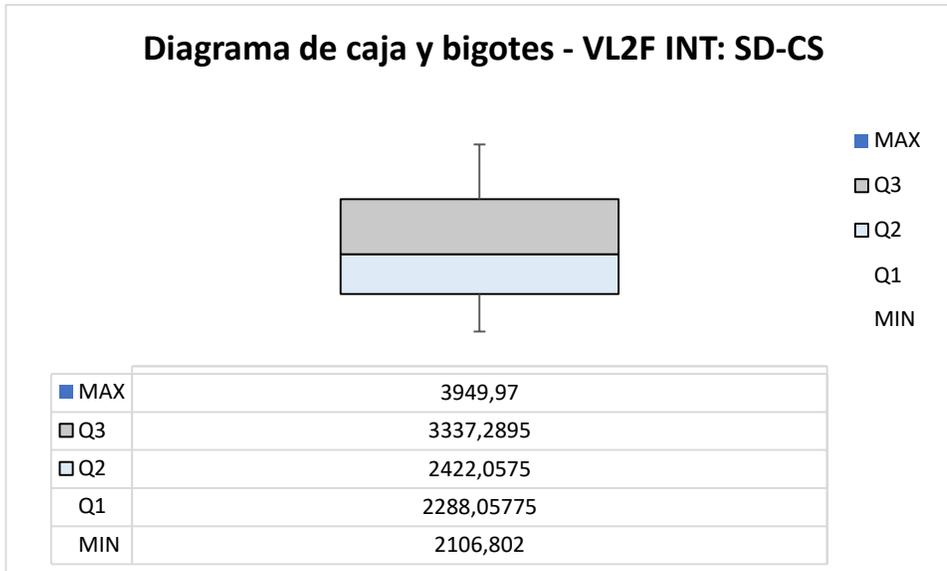


**Figura 44.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

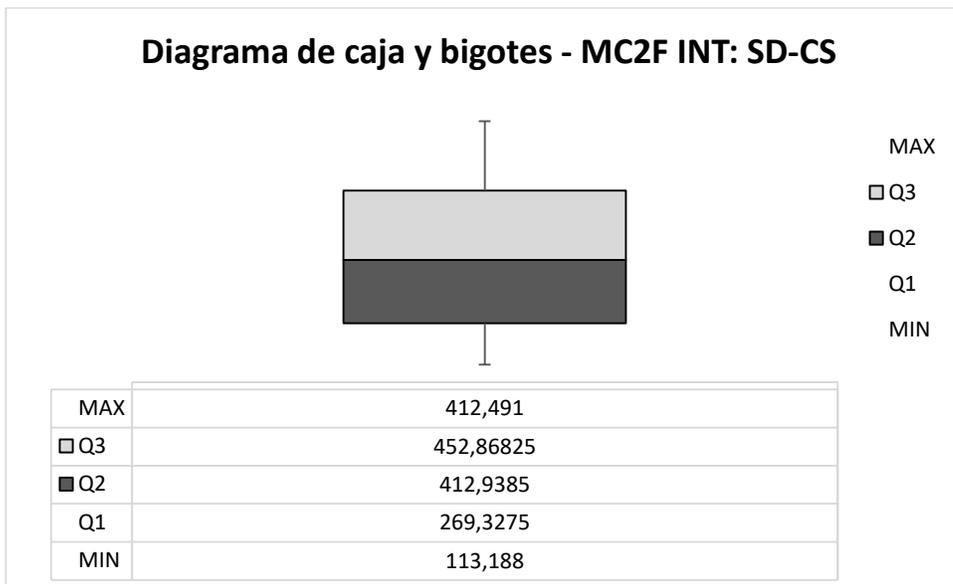


Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 45.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para la intercalación de arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.

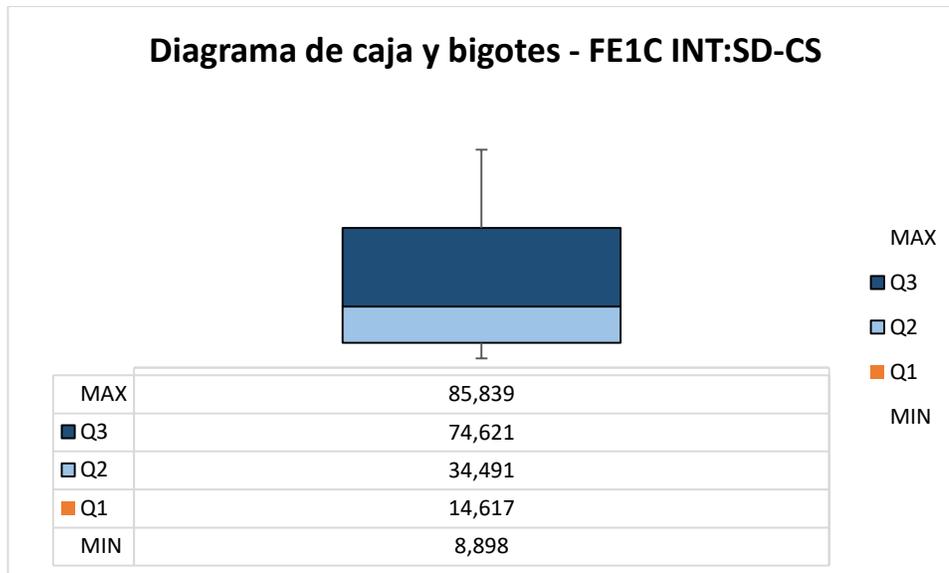


**Figura 46.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Tránsito-Time) para las intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.

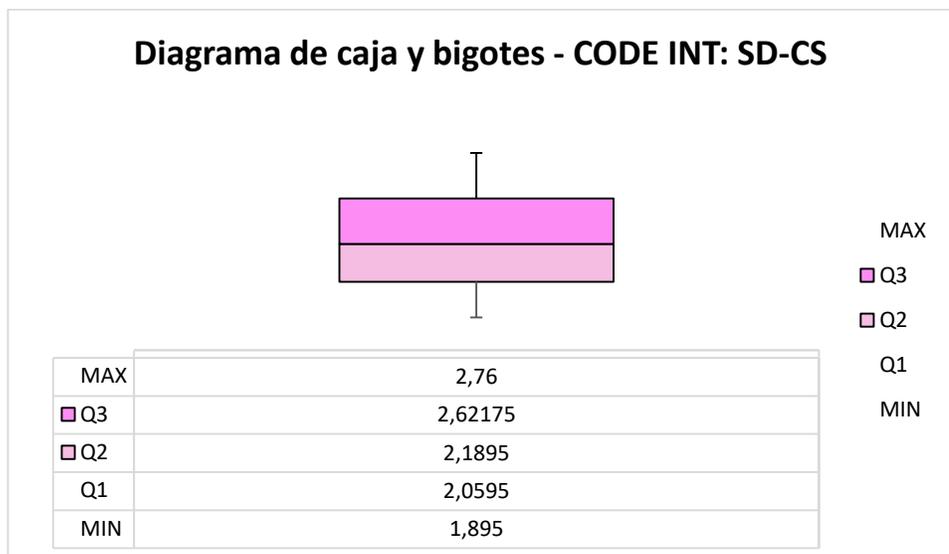


Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 47.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes de la resistividad para la intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.

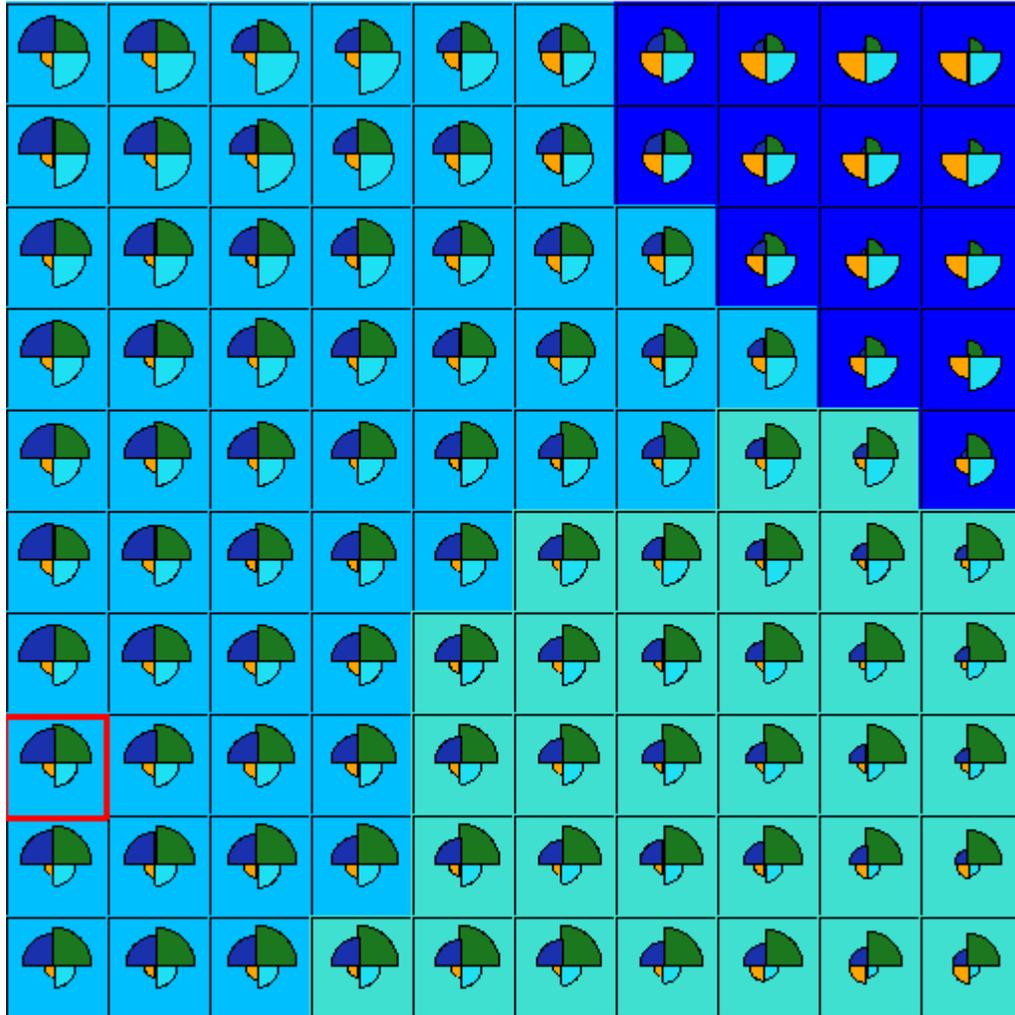


**Figura 48.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Density (Densidad) para la intercalación arenisca-arcillolita del medio de la formación Los Cuervos.



Fuente: Autor del proyecto.

**Figura 49.** Mapa de distribuciones estadísticas.



Fuente: Autor del proyecto, elaborado en TechLog.

Para tener una mayor precisión respecto al grado de correlación de los datos validados se elaboró un mapa de distribuciones estadísticas con las litologías predominantes (*Figura 50*), el color azul rey representa a las areniscas, el color azul claro a las arcillolitas y el color verde claro al carbón, este indica que cada una de las poblaciones tienen un comportamiento característico desde el punto de vista cuantitativo, es decir, en este mapa no se va a observar un cuadro de un color superpuesto sobre otro de otro color sino que cada uno está bien definido y la cercanía entre uno y otro muestra que tanto es el grado de correlación, por ejemplo, las poblaciones de color azul rey tienen un grado de correlación alto respecto a las poblaciones de color azul claro y tienen un grado de correlación más bajo respecto a las poblaciones de color verde.



La interpretación y análisis estadístico realizado por Higuera 2012, arroja que los valores de radiactividad para los carbones en el sector de El Hatillo son de 13.38 API, para las areniscas de 46.2 API mientras que para las arcillolitas son de 58.1 API, en cuanto a los valores de resistividad para el carbón es de 192.8 OHM, en el caso de las areniscas 60.26 OHM, arcillolita 33.7 OHM y limolita 33.6 OHM.

En el caso de los valores de identificación litológica para la formación Los Cuervos en el sector A de la mina Calenturitas los resultados arrojan un promedio de 1,55 G/C3 de densidad para los mantos de carbón, la resistividad es baja en las areniscas y moderada en materiales no consolidados, es notable que en casos donde se presentan intercalaciones haya una disminución en la curva cuando el material predominante es la arenisca y cuando sucede el caso contrario, es decir, haya una intercalación con intervalos de arcilla con mayor espesor respecto a la arenisca hay un aumento progresivo en la curva del registro Gamma Ray.

Según Schlumberger 1975, las rocas duras como las areniscas bien compactas y calizas presentan velocidades sónicas de 5486,4 M/S aproximadamente, en el caso de la formación Los Cuervos los valores fluctúan alrededor de 3500 – 6500 teniendo un promedio de 5000 M/S, *Figura 53*.

**Figura 52.** Promedio de valores de identificación litológica para el sector A de la mina Calenturitas.

LITH	GAMMA RAY			DENSITY			NEUTRON			SONIC																	
	API			G/C3			CDNU			MC2F : US/M			MC4F : US/M			MC6F : US/M			VL2F: M/S			VL4F: M/S			VL6F: M/S		
	0	75	150	1	2	3	100	0	700	400	100	700	400	100	700	400	100	1000	4000	7000	1000	4000	7000	1000	4000	7000	
AL	50			1			51		225		219		221		2920		3290		3290		3347						
ST	104			2.1			69		308		344		328		3264		3732		3845								
SF	*			2.2			50		312		341		327		3229		3642		3844								
SO	25			1.9			*		173		173		173		6520		6899		6890								
SA	48			2.2			76		275		287		277		4636		4296		4378								
SD	*			2.1			24		329		362		335		3193		3552		3116								
SM	48			2.2			24		375		389		402		3721		3696		3230								
GV	93			2.1			30		178		188		150		4771		4517		5209								
CS	153			2.2			69		344		377		336		3274		3720		3539								
CY	65			2.1			*		185		174		178		5419		5782		5633								
BR	22			2.1			55		347		420		343		3231		3080		3275								
INT SD-SD	51			2.2			*		402		367		360		3094		3235		3061								
INT SF-ST	36			2.1			21		329		330		289		3846		3556		3727								
INT SD-ST	41			2.0			87		392		392		363		3255		3252		2948								
INT SD-CS	72			2.3			*		318		399		354		5372		3824		4936								
INT CS-SF	*			2.3			47		364		395		380		3028		2816		2824								
INT CS-ST	93			2.1			59		332		379		332		5963		3211		4356								
INT SM-ST	27			2.7			36		332		379		332		5963		3211		4356								
INT SM-SF	57			2.7			29		286		295		293		3763		3604		3592								
INT CS-SM	73			2.7			*		322		333		331		3145		3011		3024								

Fuente: Autor del proyecto.

## CONCLUSIÓN

De acuerdo a los rangos determinados en la *Figura 51*, la densidad de los carbones varía de 1.2 a 1.9 G/C3 teniendo como promedio una densidad de 1,55 G/C3, los valores de la curva del registro Gamma Ray más bajos pertenecen a los mantos de carbón, estos se encuentran por debajo de los 30 API a diferencia de la porosidad la cual presenta valores altos que van desde 15 a 93 CDNU con un promedio de 55,5 CDNU, mientras que los valores proporcionados por el registro sísmico mantienen la relación entre sí, por ejemplo, las velocidades mantienen un promedio de 4250 M/S en cuanto al  $\Delta_t$  valores de 290 US/M.

Las areniscas de la formación Los Cuervos en el sector A de la mina Calenturitas presentan una densidad promedio de 2,1 G/C3 además, la porosidad presenta valores altos que sobrepasan los 45 CDNU, por otro lado los valores de Gamma Ray para las arcillolitas y para las intercalaciones que contengan la misma, son los más altos pues se observa que el comportamiento de la curva de este registro aumenta progresivamente cuando encuentra intervalos arcillosos, también se concluye que los valores de MC2F, MC4F Y MC6F del registro sísmico para AL, SO, SA, GV y CY presentan los valores más bajos posiblemente porque se trate de materiales no consolidados, por último cabe resaltar que se observan algunos espacios sin información marcados con un asterisco (\*); esto se debe a que no hubo respuesta durante la medición de los registros o simplemente no emplearon ese registro durante las perforaciones.

## RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en esta investigación se determinaron con base a los datos contenidos en los archivos LAS de los registros geofísicos, por tanto se recomienda al momento de realizar otras correlaciones validar los datos con anterioridad para evitar inconvenientes con los datos anómalos medidos por la sonda.
- Una vez determinados los rangos de valores de identificación litológica es recomendable darle uso a esta información utilizando registros de pozos que tengan los núcleos de perforación con su respectiva descripción en campo para hacer una comparación y así analizar las similitudes o variaciones en los resultados.
- Para tener una mayor comprensión de las características litológicas y petrofísicas aquí descritas se propone definir un modelo sedimentológico y estratigráfico con el fin de determinar el ambiente de depósito para la Formación Cuervos, a partir de núcleos de perforación.
- Elaborar un análisis de estratigrafía secuencial con el fin de identificar topes operacionales, incorporando núcleos de perforación y registros geofísicos para la Formación Los Cuervos, pues con esto se tendrá una mejor percepción de los ciclos ambientales que permitieron la deposición de sedimentos en la cuenca.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

ARIAS A, MORALES C., Mapa Geológico del Departamento del Cesar, Memoria Explicativa. Ingeominas 1999.

ARIAS A, CORTES. P, MORENO. P, Prospectividad de la cuenca Cesar-Ranchería, Ecopetrol 1998.

AYALA. R, CHANG C, ESPARZA. J, SALAZAR. M, “Sistema de computación para el análisis de registros de pozos con la automatización de resultados” Guayaquil, 2006.

AYALA. R, “Análisis tectonoestratigráfico y de procedencia en la subcuenca del cesar: relación con los sistemas petroleros.” Universidad Simón Bolívar, Venezuela 2009.

BARRETT, M., BUTLER, R., NOVAS, F., MOORE-FAY, S., MOODY, J., CLARK, J., and SÁNCHEZ-VILLAGRA, M. 2008. Dinosaur remains from the La Quinta Formation (Lower or Middle Jurassic) of the Venezuelan Andes. *Paläontologische Zeitschrift*, Vol. 82/2, pp. 163-177.

BENDECK, J. Perfiles Eléctricos, Una herramienta para la evaluación de yacimientos. Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo. Bogotá, Colombia (1992).

BETANCOURT M.G., Análisis de registros de pozos para la correlación de secuencias estratigráficas mediante técnicas estadísticas multivariantes. Caracas 2009.

CHAJÍN, P. & MARTÍNEZ, A. Interpretación Sísmica, Estructural y Modelamiento Geoquímico de dos Lineas Sísmicas en la Subcuenca de Cesar (Cuenca Cesar-Ranchería). Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2008.

ESTEVEZ Y, QUINTERO D, “Determinación del ambiente de depósito de la Formación Los Cuervos miembro medio, aplicado a la variabilidad de la calidad del carbón y a las asociaciones litofacies obtenidas de los núcleos de perforación, en el sector del Hatillo, La Loma –Cesar.” Bucaramanga 2008.

FIRTH, D. Log Analysis for Mining Applications. Reeves by Peter Elkington, 1994.

GEOESTUDIOS LTDA 2006. Cartografía Geológica Cuenca Cesar – Ranchería Agencia Nacional de Hidrocarburos.

HERNÁNDEZ, M. 2003. Memoria Explicativa Geología Plancha 48, Jagua de Ibirico. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá.

HIGUERA N., Interpretación y análisis estadístico de registros geofísicos en la mina de carbón El Hatillo. Corregimiento La Loma –Cesar. Bucaramanga 2012.

KENNETH Heslop - Oakrock Ltd., (Log ASCII Standard Document #1 – File Structures - CWLS.ORG, 2000).

MALCOLM. R, The Geological Interpretation of Well Logs, 2<sup>nd</sup> Edition 2002.

NOTENSTEIN, P.; HUBMAN, C.; BOWLER, J. 1944. Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Geol. Soc. Ame. Bull. 55:1165-1125.

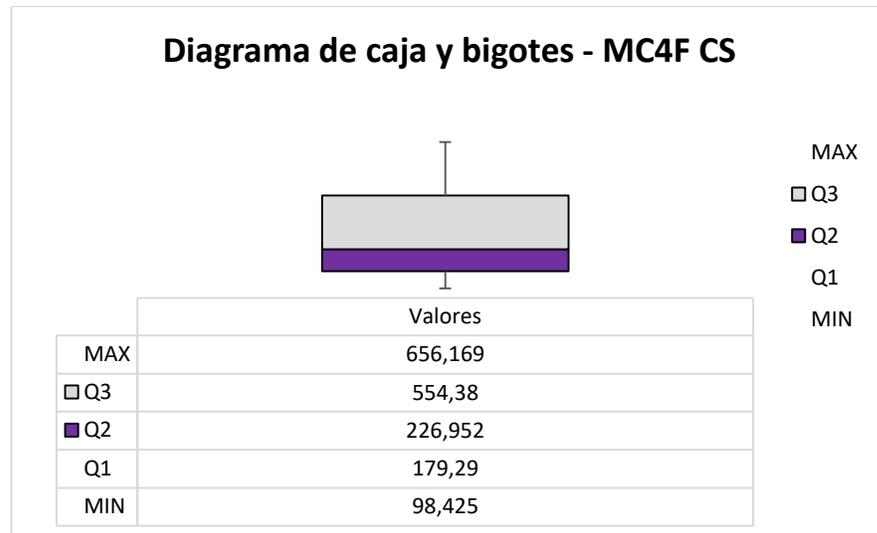
SCHLUMBERGER, Principios/Aplicaciones de la Interpretación de Registros, 1975.

TSCHANZ, C.; JIMENO, A.; CRUZ, J.; et al. 1969. Mapa Geológico de reconocimiento de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Escala 1:200.000.

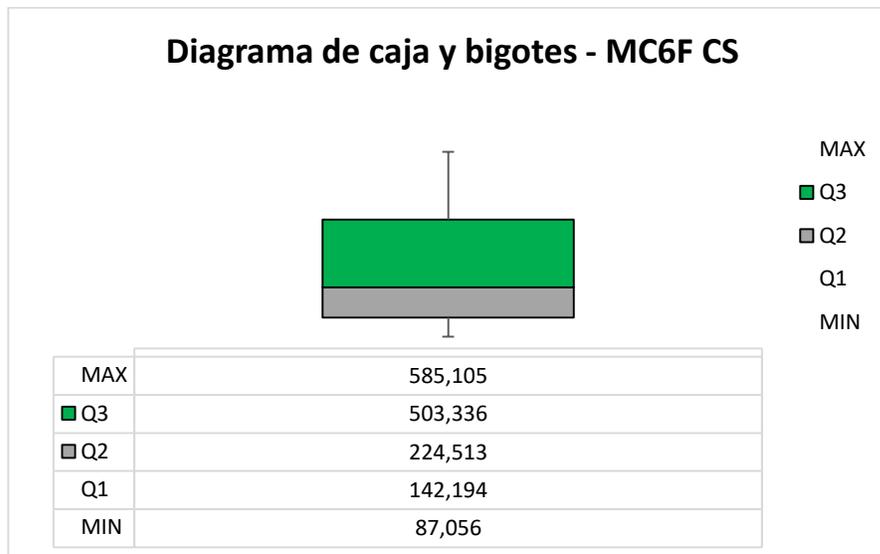
VAN DER HAMMEN. A palinological study on the upper Los Cuervos and Mirador formation. Lower and middle Eocene; Tibú area, Colombia 1957.

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

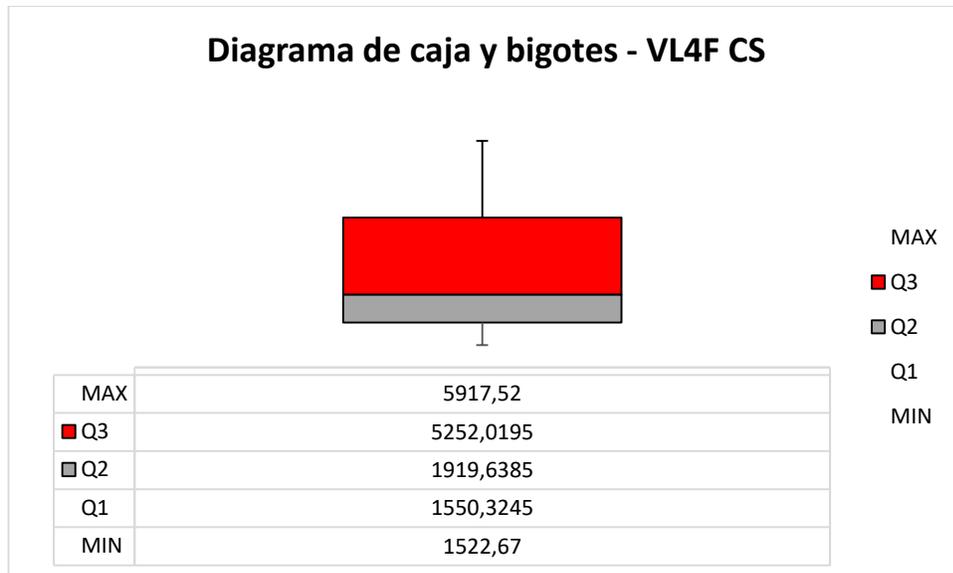


**Anexo 2.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Tránsit-Time) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

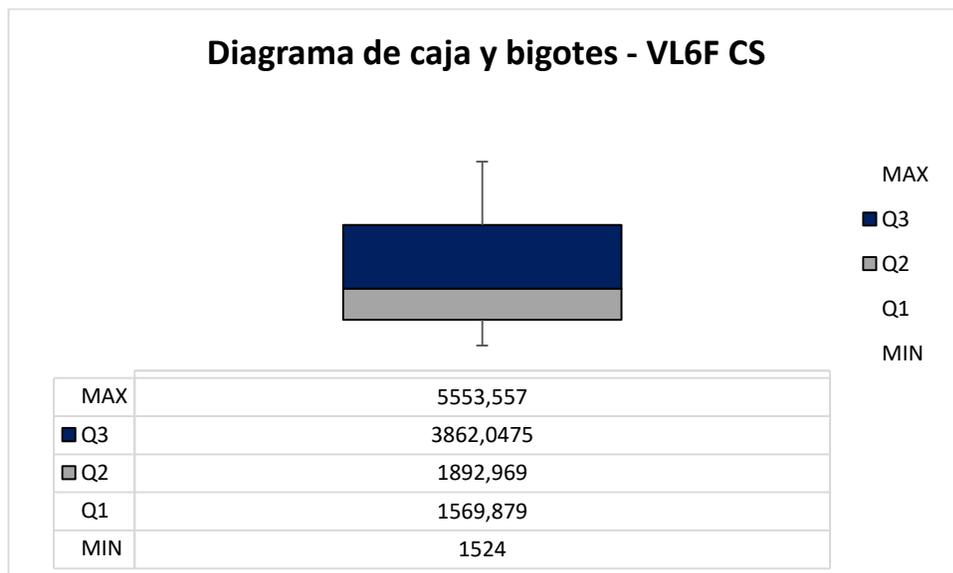


Fuente: Autor del proyecto.

**Anexo 3.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

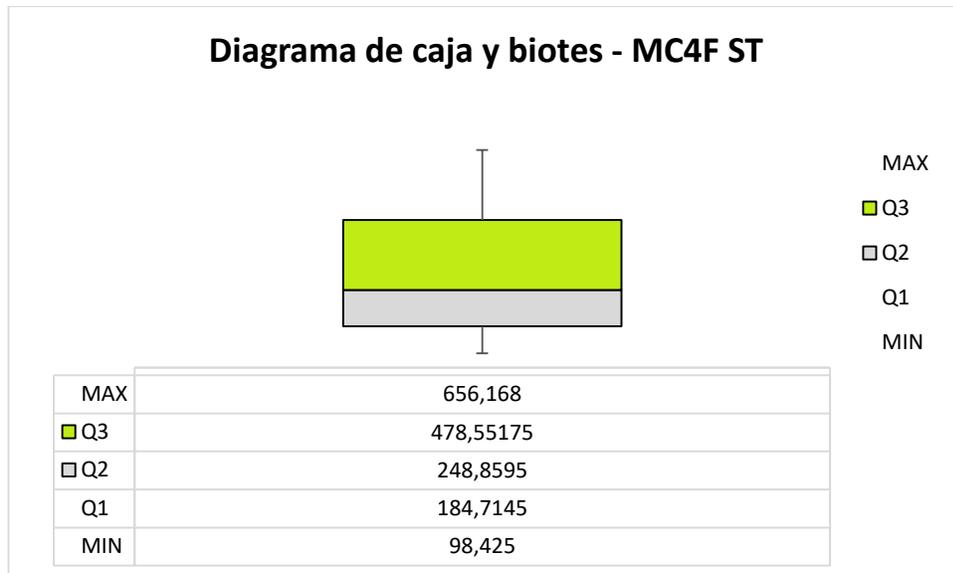


**Anexo 4.** Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las arcillolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

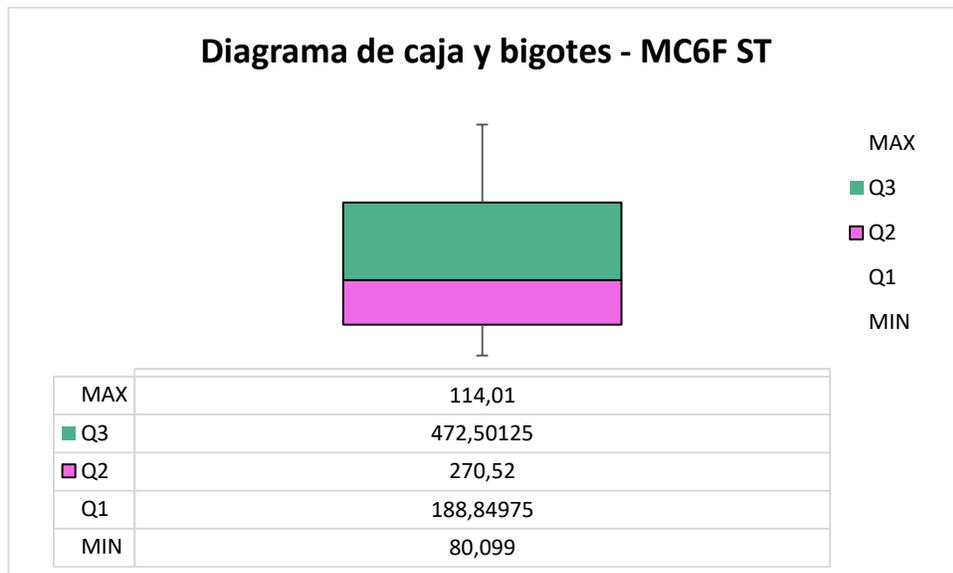


Fuente: Autor del proyecto.

**Anexo 5.** Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

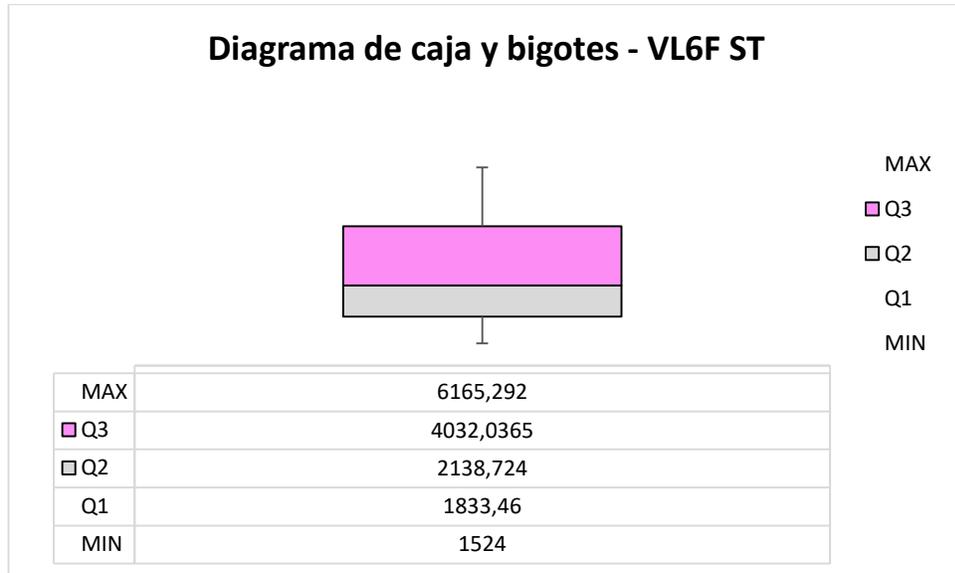


**Anexo 6.** Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

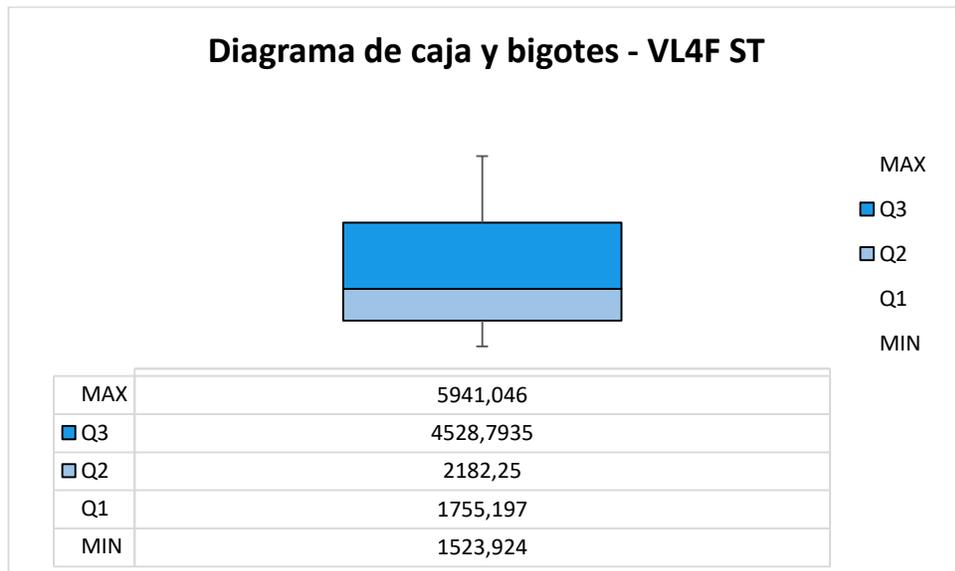


Fuente: Autor del proyecto.

**Anexo 7.** Gráfico del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

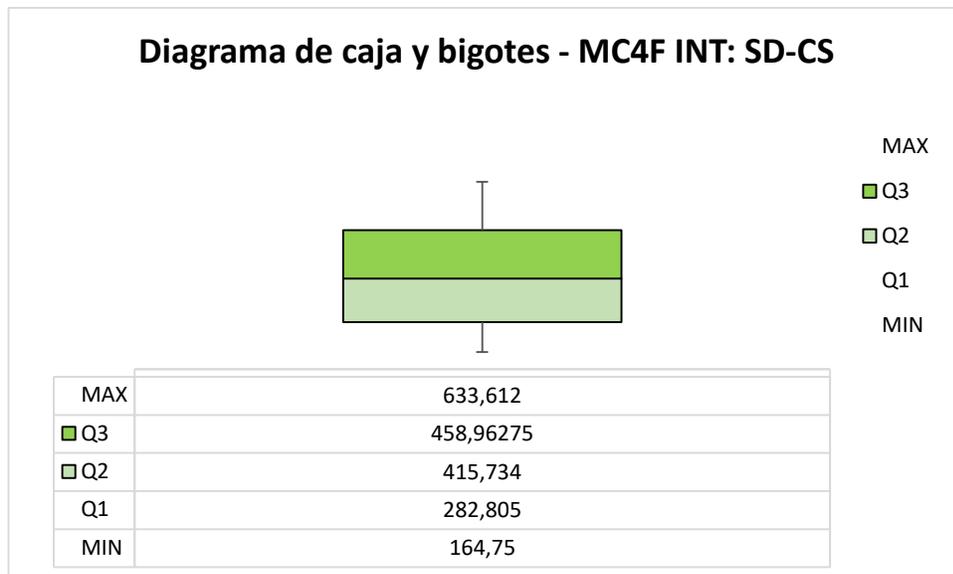


**Anexo 8.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para las limolitas del miembro medio de la formación Los Cuervos.

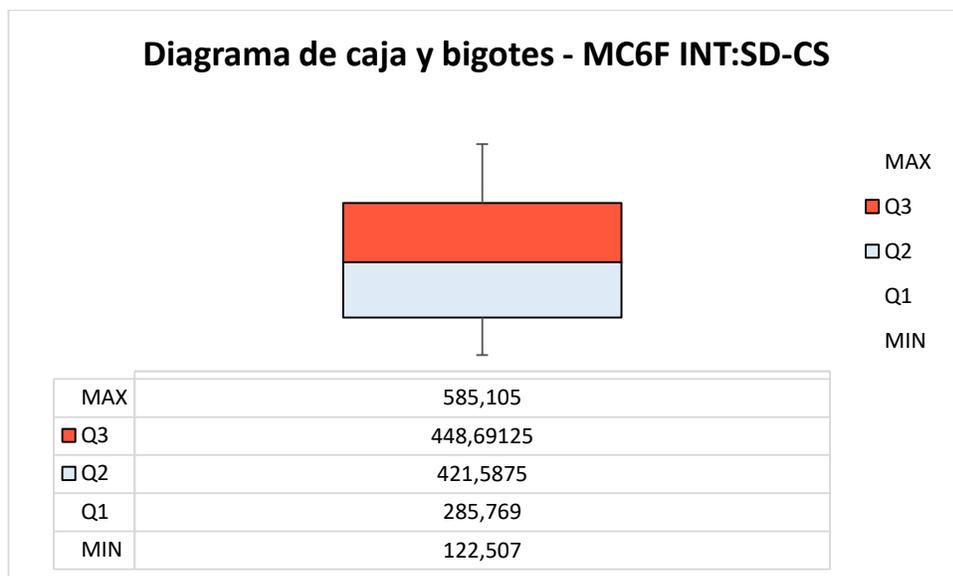


Fuente: Autor del proyecto.

**Anexo 9.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.

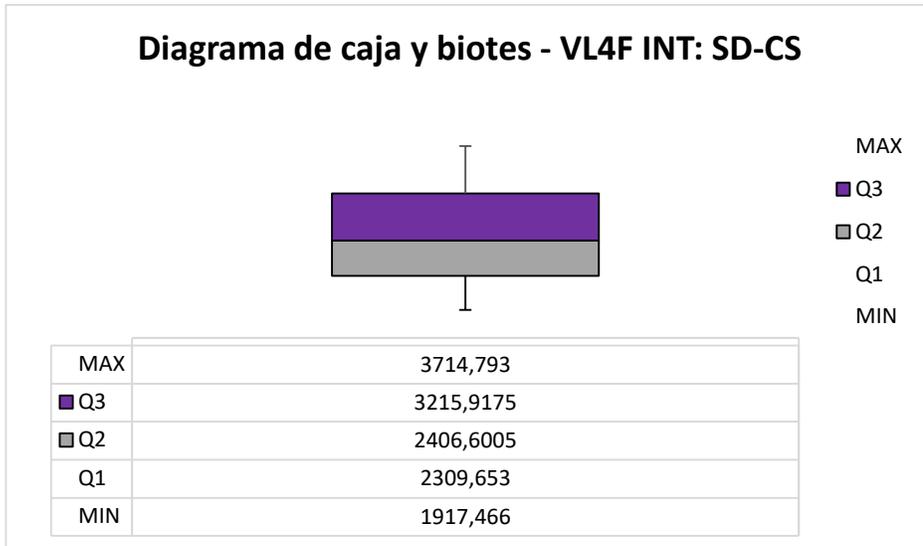


**Anexo 10.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Transit-Time) para las intercalación arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.

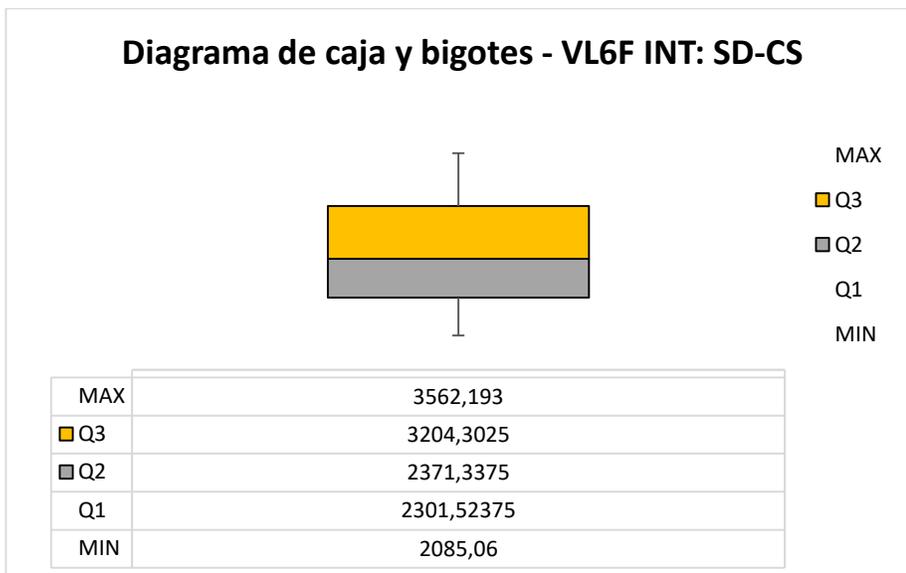


Fuente: Autor del proyecto.

**Anexo 11.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para la intercalacion de arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.



**Anexo 12.** Gráfica del diagrama de caja y bigotes del registro Sónico (Wave-Velocity) para la intercalacion de arenisca-arcillolita del miembro medio de la formación Los Cuervos.



Fuente: Autor del proyecto.

### Anexo 13. Archivos LAS de los pozos de perforación exportados a Excel.

 .LASPC1024	 .LASPC1026	 .LASPC1027	 .LASPC1029
 .LASPC1032	 .LASPC1033	 .LASPC1034	 .LASPC1035
 .LASPC1036	 .LASPC1038	 .LASPC1039	 .LASPC1042
 .LASPC1043	 .LASPC1091	 .LASPC1092	 .LASPC1093
 .LASPC1094	 .LASPC1095	 .LASPC1096	 .LASPC1097
 .LASPC1098	 .LASPC1099	 .LASPC1100	 .LASPC1101
 .LASPC1102	 .LASPC1103	 .LASPC1104	 .LASPC1105
 .LASPC1106	 .LASPC1107	 .LASPC1108	 .LASPC1111
 .LASPC1114	 .LASPC1117	 .LASPC1120	 .LASPC1123
 .LASPC1127	 .LASPC1128	 .LASPC1132	 .LASPC1137
 .LASPC1142	 .LASPC1143	 .LASPC1144	 .LASPC1145
 .LASPC1146	 .LASPC1147	 .LASPC1148	 .LASPC1149
 .LASPC1150	 .LASPC1151	 .LASPC1152	 .LASPC1153
 .LASPC1154	 .LASPC1155	 .LASPGC5082-P	