

**INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REGISTROS GEOFÍSICOS
EN LA MINA DE CARBÓN EL HATILLO. CORREGIMIENTO LA LOMA - CESAR**

NATALIA HIGUERA AYALA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

**INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REGISTROS GEOFÍSICOS
EN LA MINA DE CARBÓN EL HATILLO. CORREGIMIENTO LA LOMA - CESAR**

NATALIA HIGUERA AYALA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
GEÓLOGA
Modalidad Práctica Empresarial**

Director

Dr. LUIS ENRIQUE CRUZ GUEVARA

CO-Director

RODRIGO BUSTAMANTE GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. LOCALIZACIÓN	20
3. GENERALIDADES DE LA MINA EL HATILLO	23
4. MARCO TEÓRICO	29
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL	29
4.1.1 Geología de la Región Sierra Nevada de Santa Marta	29
4.1.2 Geología de la Región de la Cordillera Oriental	30
4.1.3 Geología de la Región Serranía de Perijá	30
4.1.4 Geología Estructural	39
4.1.4.1 Pliegues	40
4.1.4.2 Fallas	41
4.1.5 Evolucion Geológica	42
4.2 REGISTROS GEOFÍSICOS	44
4.2.1 Registro Gamma Ray	44
4.2.2 Registro de Densidad	46
4.2.3 Registro de Resistividad	48
4.3 DIAGRAMA DE CAJA (BOX PLOT)	51
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	53
6. RESULTADOS OBTENIDOS	58
6.1 DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS	58
6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS	86
7. CONCLUSIONES	113

BIBLIOGRAFÍA	116
REFERENCIAS DE INTERNET	118
ANEXOS	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización De La Mina El Hatillo	20
Figura 2. Mapa de concesión minera El Hatillo 147-93. Escala 1:218125	22
Figura 3. Fotografía del Pit El Hatillo, se observa la secuencia estratigráfica con algunos de los mantos de carbón que son explotados. De izquierda a derecha en amarillo, se encuentran los mantos 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 20 y 10	28
Figura 4. Correlación estratigráfica Cuenca Cesar- Rancheria y Cuenca del Catatumbo	33
Figura 5. Columna Estratigráfica Generalizada Cuenca Cesar-Ranchería.	36
Figura 6. Mapa Geológico del área El Hatillo	37
Figura 7. Corte geológico	37
Figura 8. Convenciones. Unidades geológicas del área El Hatillo	38
Figura 9. Limites Estructurales de La Cuenca Cesar-Ranchería	39
Figura 10. Principales fallas presentes en el Departamento del Cesar	42
Figura 11. Respuesta típica de la curva Gamma Ray en formaciones sedimentarias	46
Figura 12. Respuesta típica de la curva de densidad en formaciones sedimentarias	48
Figura 13. Respuesta típica de la curva de porosidad en formaciones sedimentarias	49
Figura 14. Resumen de las respuestas de registros en diferentes litologías	50
Figura 15. Diagrama de Caja (BoxPlot)	52
Figura 16. Ejemplo de: Columna Estratigráfica interpretada a partir de las curvas Gamma Ray y Resistividad del registro geofísico y graficada en Exce	55
Figura 17. Localización de los pozos de perforación	62

Figura 18. Correlación estratigráfica-Línea de perforación Norte. De izquierda a derecha los pozos: H04-PT-001, H04-PT-003, H04-PT-006, H04-PT-010, H04-PT-012, H04-PT-014, H04-PT-019	64
Figura 19. Correlación estratigráfica-Línea de perforación Sur. De izquierda a derecha los pozos: H04-PT-002, H04-PT-004, H04-PT-007, H04-PT-011, H04-PT-015, H04-PT-020, H04-PT-016	65
Figura 20. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -001 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	66
Figura 21. Litología de las secciones estratigráficas	67
Figura 22. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -002 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	68
Figura 23. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -003 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	69
Figura 24. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -004 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	70
Figura 25. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -005 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	71
Figura 26. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -006 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	72
Figura 27. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -007 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	73
Figura 28. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -008 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	74
Figura 29. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -009 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	75
Figura 30. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -010 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	76
Figura 31. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -011 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	77

Figura 32. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -012 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	78
Figura 33. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -014 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	79
Figura 34. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -015 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	80
Figura 35. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -016 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	81
Figura 36. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -017 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	82
Figura 37. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -018 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	83
Figura 38. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -019 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	84
Figura 39. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -020 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad	85
Figura 40. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-001	87
Figura 41. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-002	88
Figura 42. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-004	89
Figura 43. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-005	90
Figura 44. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-010	91
Figura 45. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-012	92
Figura 46. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-015	93

Figura 47. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-016	94
Figura 48. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-019	95
Figura 49. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-020	96
Figura 50. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología (Resumen) para los Pozos del año 2004	97
Figura 51. Curvas Gamma Ray y Resistividad y litología para los Pozos del año 2004	100
Figura 52. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-01	101
Figura 53. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-02	102
Figura 54. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-07	103
Figura 55. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-10	104
Figura 56. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-13	105
Figura 57. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-15	106
Figura 58. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-18	107
Figura 59. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-19	108
Figura 60. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-20	109
Figura 61. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-21	110

Figura 62. Curva Gamma Ray Vs Litología Pozos H04-PT-016 y H11-02	111
Figura 63. Curva Resistividad Vs Litología Pozos H04-PT-016 y H11-02	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas geográficas de la concesión El Hatillo 147-93 de la empresa Vale	21
Tabla 2. Espesor y poder calórico de los mantos de la Mina El Hatillo	26
Tabla 3. Listado y ubicación de Pozos campaña 2004 que no tenían interpretación litológica	53
Tabla 3. Listado y ubicación de Pozos campaña 2004 que no tenían interpretación litológica	60
Tabla 4. Pozos Analizados campañas 2004 y 2011	86
Tabla 5. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-001	87
Tabla 6. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-002	88
Tabla 7. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-004	89
Tabla 8. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-005	90
Tabla 9. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-010	91
Tabla 10. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-012	92
Tabla 11. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-015	93
Tabla 12. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-016	94
Tabla 13. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-019	95

Tabla 14. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-020	96
Tabla 15. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en los Pozos del año 2004	97
Tabla 16. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-01	100
Tabla 17. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-02	101
Tabla 18. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-07	102
Tabla 19. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-10	103
Tabla 20. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-13	104
Tabla 21. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-15	105
Tabla 22. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-18	106
Tabla 23. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-19	107
Tabla 24. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-20	108
Tabla 25. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-21	109
Tabla 26. Litologías presentes en los Pozos H04-PT-016 y H11-02	112

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	120

RESUMEN

TITULO: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REGISTROS GEOFÍSICOS EN LA MINA DE CARBÓN EL HATILLO. CORREGIMIENTO LA LOMA - CESAR*

AUTOR: HIGUERA AYALA, Natalia**

PALABRAS CLAVES: Carbón, registros geofísicos, Gamma Ray, Resistividad, Mina El Hatillo, Fm Los Cuervos.

DESCRIPCION

El proyecto carbonífero El Hatillo, se encuentra ubicado en el centro del departamento del Cesar y hace parte de la Cuenca Cesar-Ranchería. El miembro medio de la Formación Los Cuervos compuesto principalmente por limolitas y arcillolitas es el que contiene cerca de 20 mantos de carbón explotables.

El presente trabajo está basado en la interpretación de 19 registros geofísicos de Pozos de perforación del año 2004, con el fin de realizar las descripciones litológicas y generar así las columnas estratigráficas a escala 1:200 (Muy importante aclarar que los espesores de dichas columnas corresponden a espesores aparentes). De igual manera se realizó un análisis estadístico de las curvas Gamma Ray y Resistividad para dichos registros y posterior una comparación con registros de pozos recientes los cuales tienen toda la información completa (registros geofísicos, descripción, núcleos, columna estratigráfica) para validar los datos interpretados.

Los pozos seleccionados para el trabajo se localizan en la zona sur del yacimiento. Un total de 19 pozos interpretados y 20 Pozos con análisis estadísticos. Los resultados obtenidos en los análisis estadísticos muestran un comportamiento similar en todos los Pozos interpretados de los cuatro tipos de litología presentes en el yacimiento. Existe un aumento en los valores de la curva Gamma Ray (API-GR) a medida que la roca presenta minerales arcillosos, de ésta manera, los valores más bajos los representa el carbón, siguen las areniscas, las limolitas y las arcillolitas ocupan los valores más elevados de la curva. Inversamente proporcional se comporta la curva de resistividad (Ohm-m) siendo el carbón la litología más resistiva a la corriente y las arcillolitas las más conductoras.

Finalmente, al comparar estos resultados con los obtenidos en los Pozos de la campaña más reciente (Campaña 2011), podemos validar que la interpretación litológica fue correcta y tener un mayor grado de confiabilidad.

* Proyecto de Grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología, Director. Luis Cruz, CoDirector. Rodrigo Bustamante

ABSTRACT

TITLE: INTERPRETATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF GEOPHYSICAL LOGS IN THE COAL MINE EL HATILLO LA LOMA - CESAR*

AUTHOR: HIGUERA AYALA, Natalia**

KEY WORDS: Coal, Geophysical logs, Gamma Ray, Resistivity, El Hatillo Mine, Los Cuervos Fm.

DESCRIPTION

El Hatillo coal project, is located in the center of the Cesar department and is part of Cesar-Rancheria Basin. The middle member of Los Cuervos Formation which is composed mainly of siltstones and claystones is the one that contains about 20 mineable coal seams.

This work is based on the geophysical logs interpretation of 19 drill holes from 2004, in order to perform the lithological descriptions and generate stratigraphic columns at a scale of 1:200. (Very important to note that the thicknesses of these columns are apparent thicknesses). In the same way, it was performed a Statistical analysis from the Gamma Ray and Resistivity curves for these records, and a subsequent comparison with recent well logs which have complete information (well logs, description, cores, stratigraphic column) to validate the interpreted data.

The wells selected for the work are located in the south zone of the place. A total of 19 wells interpreted and 20 wells with statistical analysis.

The results of statistical analyzes show a similar behavior in all of the wells interpreted from the four types of lithology that are present on the place. There is an increase in the values of the Gamma Ray curve (API-GR) as the rock has clay minerals, in this way, the lowest values represents coal, followed by the sandstones and siltstones, the claystones are the higher values of the curve. The resistivity curve (Ohm-m) behaves inversely so the coal is the most resistive lithology of current and the claystones the less resistive.

Finally, from the comparison of these results with those obtained in the wells of the most recent campaign (Campaign 2011), we can validate that the lithological interpretation was correct and have a higher degree of reliability.

* Graduation Project

** Universidad Industrial de Santander. Physicochemical Engineering Faculty. School of Geology, Director. Luis Cruz, Co. Director Rodrigo Bustamante

INTRODUCCION

Este documento corresponde al del trabajo de grado en modalidad de práctica empresarial realizada en la mina de carbón El Hatillo, localizada en el corregimiento de La Loma (Cesar), propiedad la empresa VALE COAL COLOMBIA.

En la exploración de depósitos carboníferos es de gran importancia obtener información del subsuelo mediante registros geofísicos con el fin de determinar las características geofísicas y su correlación con las características geológicas tales como, espesor, inclinación, composición, litología de los estratos, entre otras.

La interpretación de los registros geofísicos de pozos exploratorios en depósitos carboníferos es una herramienta básica para los estudios de: ambientes de depositación, hidrogeología, correlación estratigráfica, elaboración del modelo geológico y estimación de reservas y recursos de carbón. Por esto es la importancia de realizar una interpretación efectiva de un registro geofísico.

La campaña de perforación del 2004 realizada hacia la zona sur del yacimiento, solo conserva los registros geofísicos de 19 pozos, con base en los cuales y a través de su interpretación se reconstruyeron las columnas estratigráficas que complementan la base de datos de la geología de la mina.

Adicionalmente, la empresa Vale adquirió los activos del proyecto Mina El Hatillo en el año 2009, motivo por el cual se requiere homologar la información geológica antigua y actual para estandarizar e implementar las políticas corporativas de Vale Global en Vale Coal Colombia.

El trabajo desarrollado está basado en la interpretación de los registros geofísicos de Pozos, de campañas de perforación realizadas en años anteriores (campaña de perforación del año 2004). Con base en dicha interpretación se elaboraron las respectivas columnas estratigráficas a escala 1:200 y se realizó un análisis estadístico para determinar los rangos en los cuales oscilan las curvas Gamma Ray y Resistividad en los registros geofísicos para cada tipo de litología.

En la primera parte de este informe se presenta el marco geológico regional y local, concentrándose en las generalidades geológico estructurales y estratigráficas del yacimiento sobre el cual se desarrolla la mina EL HATILLO.

La segunda parte de éste informe se centra en la interpretación cualitativa de los 19 registros geológicos de la campaña del 2004, y posterior construcción de las columnas estratigráficas a escala 1:200.

La tercera parte del informe se centra en (1) el análisis estadístico de los valores de las curvas de los registros Gama Ray y de Resistividad de dos campañas de perforación 2004 y 2011, y (2) los resultados de comparar estos análisis estadísticos permitieron verificar la validez de la interpretación cualitativa de los registros geológicos de la campaña del 2004.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

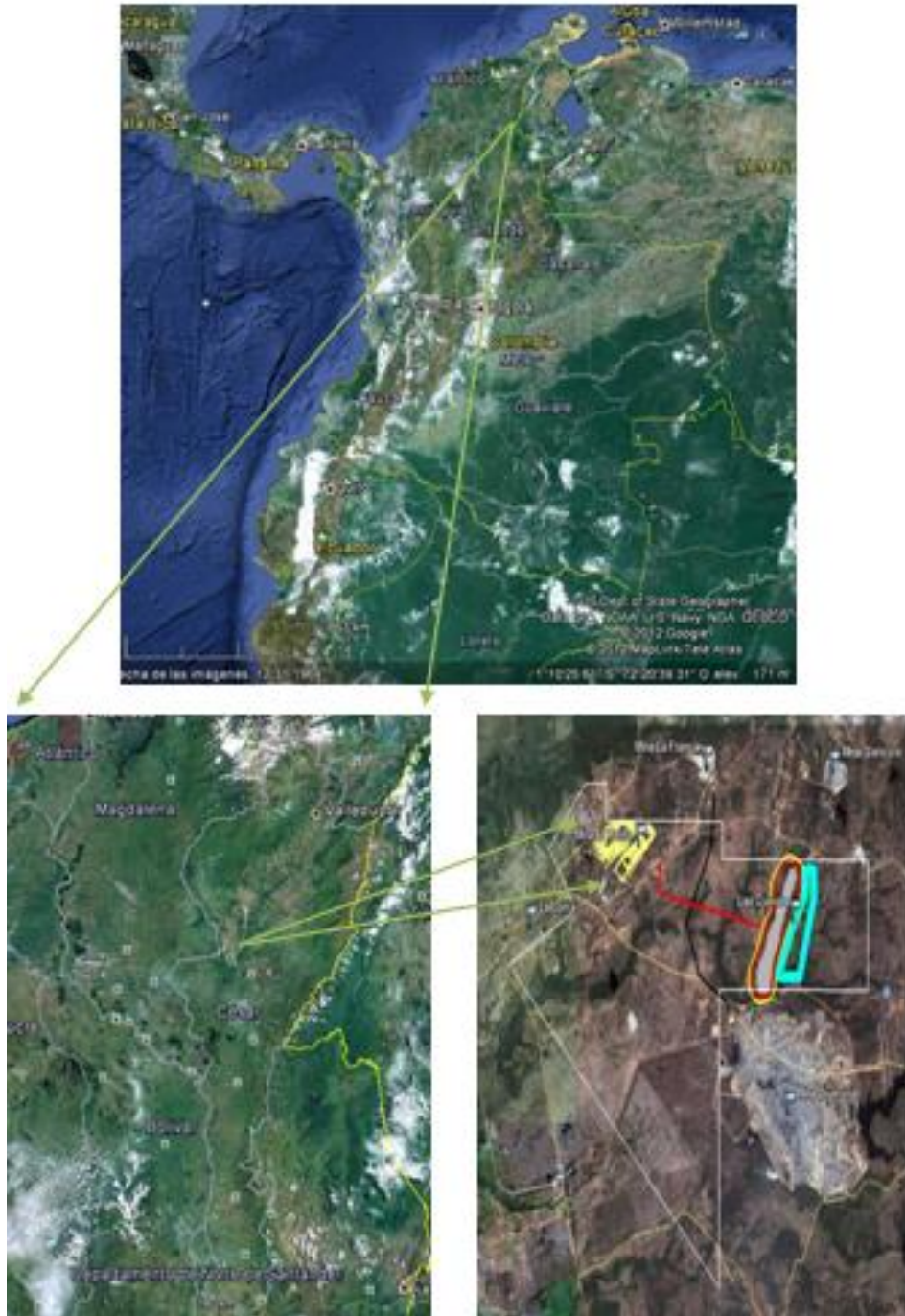
Elaborar las columnas estratigráficas detalladas de cada Pozo a partir de la interpretación de los registros geofísicos, con el fin de contribuir a la actualización de la base de datos de Pozos y del modelo geológico de la Mina.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Interpretar los registros geofísicos de los Pozos que no cuentan con una columna estratigráfica de la campaña de perforación del año 2004.
- Realizar las estadísticas básicas de los diferentes lito
- tipos, utilizando las curvas Gamma Ray, Resistividad de los registros, para establecer los valores promedio y rangos de las curvas correspondientes a cada litología.

2. LOCALIZACIÓN

Figura 1. Localización De La Mina El Hatillo



Fuente: (Tomado y modificado de Google Earth)

El proyecto carbonífero de El Hatillo, se encuentra localizado en el centro del Departamento del Cesar en jurisdicción de los municipios de La Jagua de Ibirico, Chiriguaná y El Paso, a 160 kilómetros al sur de su capital Valledupar. Esta región geográfica hace parte de la plancha 47 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:100.000.

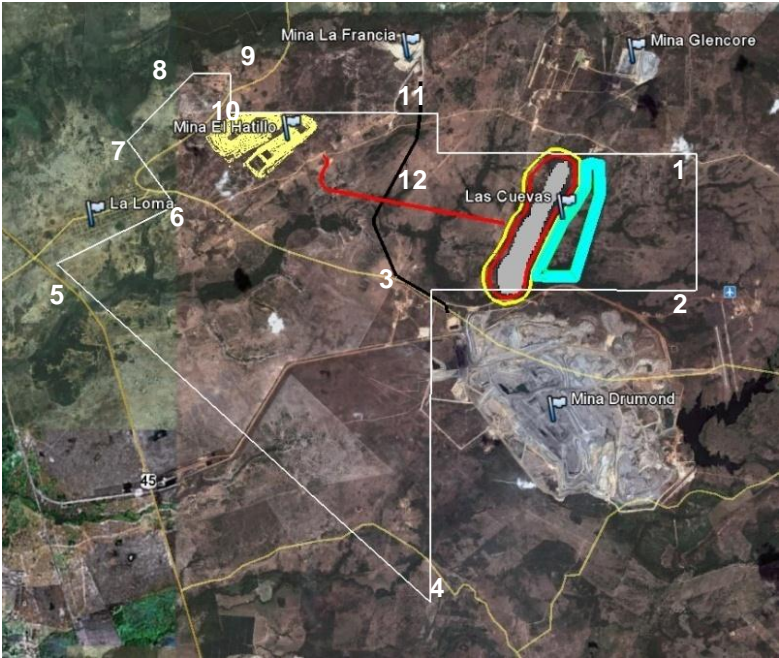
El área general de la concesión El Hatillo 147-93 de la empresa Vale, tiene las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la concesión El Hatillo 147-93 de la empresa Vale.

Punto Inicial	Punto Final	Distancia Metros	Coordenada Norte	Coordenada Este
1	2	3490	1556995.000	1068000.000
2	3	6805	1553505.000	1068000.000
3	4	8005	1553505.000	1061195.000
4	5	13199.	1545500.000	1061195.000
5	6	3401	1554108.2833	1051562.144
6	7	2072	1555610.1256	1054613.907
7	8	2396	1557272.3005	1053376.603
8	9	962	1559000.0000	1055037.736
9	10	1000	1559000.000	1056000.000
10	11	5350	1558000.000	1056000.000
11	12	1005	1558000.000	1061350.000
12	1	6650	1556995.000	1061350.000

En la figura 2, podemos ver en blanco, el polígono de concesión referente a las áreas de VALE, envolviendo la mina de El Hatillo en operación.

Figura 2. Mapa de concesión minera El Hatillo 147-93. Escala 1:218125



Fuente: (Tomado de VALE COLOMBIA, 2011).

3. GENERALIDADES DE LA MINA EL HATILLO

El yacimiento carbonífero El Hatillo (Corregimiento La Loma) hace parte del Distrito Minero del centro del Departamento del Cesar. Se encuentra en el flanco Noroccidental del sinclinal de la Loma dentro de la Cuenca Cesar-Ranchería.

Los mantos de carbón explotados pertenecen al miembro medio de la Formación Los Cuervos, y su extracción se realiza mediante minería a cielo abierto.

Los procesos compresivos favorecieron la génesis del carbón mineral y el desarrollo de características fisicoquímicas importantes, reflejados en la buena calidad térmica del carbón (Poder calorífico entre 10500-11500 BTU). Los carbones en La Loma son bituminosos, altos en volátiles.

Se explotan cerca de 20 mantos de carbón con espesores que varían desde los 0.25 m y 6 m; están nombrados numéricamente desde el manto 5 hasta el manto 100

Los mantos que se están explotando (Figura 3) tienen las siguientes características:

1. Manto 100: Es el manto más superior de la secuencia estratigráfica, presenta un espesor real perforado promedio de 2.87 m.
2. Manto 95: Este manto presenta un espesor real perforado promedio de 0.71 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 100) promedio de 79 m de espesor real.

3. Manto 90: Este manto presenta un espesor real perforado promedio de 3.30 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 95) perforado de 33.08 m de espesor real.
4. Manto 85: Este manto presenta un espesor real perforado de 1.16 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 90) perforado de 5.16 m de espesor real.
5. Manto 80: Este manto presenta un espesor real perforado de 1.30 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 85) perforado de 11.68 m de espesor real.
6. Mantos 75: Este manto presenta un espesor real perforado de 0.77 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 80) perforado de 16.59 m de espesor real.
7. Manto 70: Este manto presenta un espesor promedio perforado de 0.89 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 75) perforado de 8.05 m de espesor real.
8. Manto 65: Este manto presenta un espesor real perforado de 1.57 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 70) perforado de 5.38 m de espesor real.
9. Manto 60: Este manto presenta un espesor real perforado de 0.44 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 65) perforado de 13.54 m de espesor real. Los espesores perforados en toda el área del manto son variables, existiendo áreas en donde el manto se acuña.

10. Manto 57: Este manto presenta un espesor real perforado de 0.67 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 60) perforado de 10.90 m de espesor real.

11. Manto 55: Este manto presenta un espesor real perforado de 1.07 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 57) perforado de 4.14 m de espesor real.

12. Manto 50: Este manto presenta un espesor real perforado de 4.64 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 55) perforado de 10.41 m de espesor real. Los espesores perforados en toda el área del manto son homogéneos.

13. Manto 45: Este manto presenta un espesor real perforado de 2.19 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 50) perforado de 9.75 m de espesor real.

14. Manto 40: Este manto presenta un espesor real perforado de 2.52 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 45) perforado de 4.19 m de espesor real.

15. Manto 35: Este manto presenta un espesor real perforado de 2.12 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 40) perforado de 28.16 m. el espesor perforado en todo el área del manto es homogéneo y continuo de espesor real.

16. Manto 30: Este manto presenta un espesor real perforado de 7.53 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 35) perforado de 19.88 m. de espesor real. Es el manto de mayor espesor en la secuencia, su continuidad y

homogeneidad permiten que sea usado como guía en la correlación y elaboración del modelo geológico

17. Manto 25: Este manto presenta un espesor real perforado de 0.73 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 30) perforado de 4.43 m de espesor real.

18. Manto 20: Este manto presenta un espesor real perforado de 2.11 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 25) perforado de 3.97 m de espesor real. Posee buena continuidad en los tres bloques y su espesor varia registrando los mejores espesores en el bloque sur (2.86 m).

19. Manto 15: Este manto presenta un espesor real perforado de 1.55 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 20) perforado de 14.60 m de espesor real.

20. Manto 10: Este manto presenta un espesor real perforado de 1.20 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 15) perforado de 6.82 m de espesor real.

21. Manto 05: Este manto presenta un espesor real perforado de 0.95 m. y lo suprayace un estrato rocoso (hasta el piso del manto 10) perforado de 8.10 m de espesor real.

Tabla 2. Espesor y poder calórico de los mantos de la Mina El Hatillo.

Manto	Espesor (M)	Poder Calórico (BTU)
Manto 100	2.87	10'741
Manto 95	0.71	10'322
Manto 90	3.30	10'144
Manto 85	1.16	11'187

Manto	Espesor (M)	Poder Calórico (BTU)
Manto 80	1.30	10'896
Manto 75	0.77	10'339
Manto 70	0.89	10'547
Manto 65	1.57	11'260
Manto 60	0.44	11'021
Manto 57	0.67	10'832
Manto 55	1.07	10'832
Manto 50	4.64	10'853
Manto 45	2.19	11'079
Manto 35	2.12	10'181
Manto 30	7.53	11'604
Manto 25	0.73	10'707
Manto 20	2.11	11'123
Manto 15	1.55	11'313
Manto 10	1.20	10'468
Manto 05	0.95	10'907

Figura 3. Fotografía del Pit El Hatillo, se observa la secuencia estratigráfica con algunos de los mantos de carbón que son explotados. De izquierda a derecha en amarillo, se encuentran los mantos 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 20 y 10.



4. MARCO TEÓRICO

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En el Departamento del Cesar, afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyas edades varían desde el Precámbrico hasta el Cuaternario.

Se presentan tres regiones con características geológicas distintas: la región de la Sierra Nevada de Santa Marta, la región de la Serranía de Perijá, y la región norte de la Cordillera Oriental. Las terrazas, los depósitos de pendiente y los aluviones recientes son comunes a las tres regiones (Arias y Morales, 1999).

Por ser la región de La Serranía de Perijá la de interés, se tendrá mayor detalle en ella y en especial en las rocas sedimentarias de las Formaciones Cuestas, Los Cuervos y los depósitos recientes.

4.1.1 Geología de la Región Sierra Nevada de Santa Marta. La región de la Sierra Nevada de Santa Marta en el Departamento del Cesar comprende la parte sur de la Sierra Nevada, y se localiza al noroccidente y occidente de la ciudad de Valledupar. En ella se encuentran los picos nevados de mayor altitud del país como es el pico Simón Bolívar con 5.775 msnm.

En esta región afloran rocas ígneas que corresponden al Pórfido keratofídicos verdes , Espilitas y otras rocas volcánicas o hipoabisales, Granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta, Batolito de Atanques, Volcánico ignimbrítico , Plutón de Nueva Lucha, Volcánico riolítico, Pórfidos cretácicos, Lacolito de Atanques, metamórficas que corresponden a la Granulita de Los Mangos y Neis de Los Muchachitos y sedimentarias que corresponden a las formaciones Corual y Los Indios, Guatapurí, Grupo Cogollo y Zambrano, las más abundantes son las primeras, mientras que las últimas están restringidas a la parte más sur de la

Sierra. La edad de las rocas varía desde Precámbrico hasta el cuaternario (Arias y Morales, 1999).

4.1.2 Geología de la Región de la Cordillera Oriental. Comprende el área meridional del Departamento del Cesar, que se prolonga desde el Municipio de Rincón Hondo hacia el sur hasta el límite con el Departamento de Santander; geológicamente corresponde a la parte más septentrional del Macizo de Santander.

En esta región es conocida la presencia de rocas metamórficas que corresponden al Neis de Bucaramanga, y Unidad Metasedimentaria de La Virgen, rocas ígneas que corresponden a tonalitas, granitos, cuarzomonzonitas y riolitas y rocas sedimentarias que corresponden a las formaciones Floresta, Bocas, La Quinta, Unidad Conglomerática de Arenal, Tablazo, Simití, La Luna, Umir, Grupo Real, Algodonal. Cuyas edades varían del Pre cámbrico hasta el Reciente; las rocas que presentan mayor cobertura son las ígneas, tanto intrusivas como volcánicas, seguidas por las metamórficas y, en menor proporción, se encuentran las rocas sedimentarias; las últimas constituyen, principalmente, la parte plana del departamento (Arias y Morales, 1999).

4.1.3 Geología de la Región Serranía de Perijá. Esta Serranía corresponde a la parte nororiente del departamento, formada por rocas metamórficas y sedimentarias cuyas edades están comprendidas entre el Cambro-Ordovícico y el Reciente. En superficie predominan las rocas sedimentarias y cubren aproximadamente el 90% del área, el otro 10% lo conforman rocas metamórficas e ígneas volcánicas (Arias y Morales, 1999).

- **Rocas Metamórficas.** Corresponde a un conjunto de rocas pertenecientes a la facies esquisto verde, del Paleozoico inferior constituidas por capas de

cuarcitas, metaconglomerados, meta arcosas y metasedimentitas (Arias y Morales, 1999).

- **Rocas Igneas.** En la Región Serranía de Perijá solamente afloran rocas ígneas volcánicas de edad triásico - jurásica, las cuales afloran en el flanco occidente de la serranía.

Espilitas y otras rocas volcánicas (Arias y Morales, 1999).

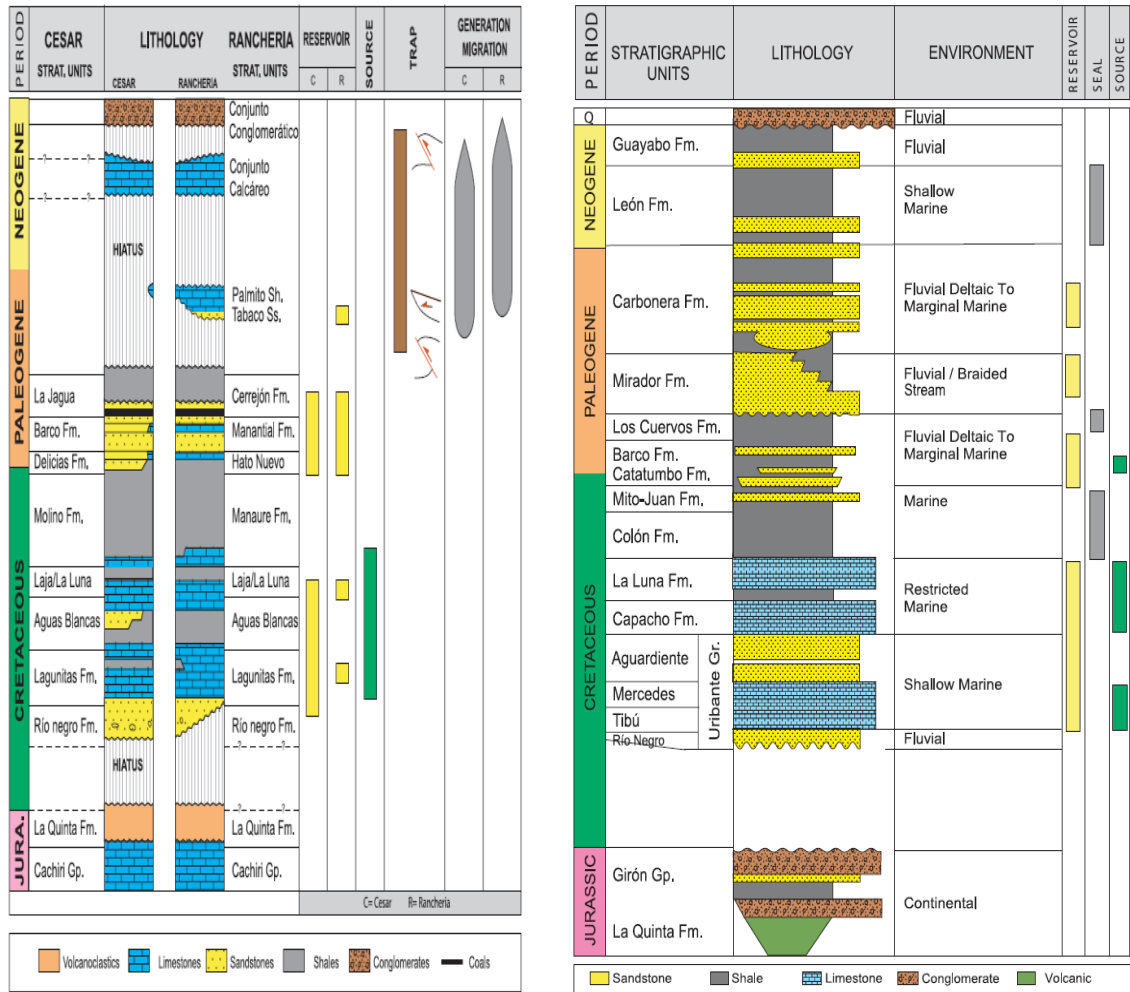
- **Rocas Sedimentarias.** De una manera general, se puede decir que las rocas sedimentarias representan la mayor parte del registro estratigráfico.

Las formaciones presentes en el área son:

1. Grupo Cachirí de edad Devonico-Carbonifero compuesto por conglomerados, arenas ferruginosas y shales arenosos a la base y hacia el tope intercalaciones de conglomerados y arcillas.
2. Formación La Quinta de edad Jurasica compuesta por conglomerados, arcosas, limolitas y arcillolitas.
3. Formación Río Negro de edad Barremiano-Aptiano compuesta por arcosas, subarcosas y cuarzoarenitas, en algunas areas se encuentran niveles lodosos.
4. Grupo Cogollo de edad Aptiano está compuesto por calizas que varían de mudstone a graistone con intercalaciones de lutitas carbonosas.
5. Formación La Luna de edad Turoniano-Santoniano compuesta por lodolitas calcáreas y algunos niveles con concreciones.

6. Formación Molino de edad Campaniano-Maastrichtiano compuesta por lutias y lutitas calcáreas intercaladas con delgadas capas de arenisca, limolitas y calizas.
7. Formación Barco de edad Paleoceno-Eoceno compuesta por areniscas ligeramente arcillosas intercaladas con delgadas capas de Arcillolita.
8. Formación Los Cuervos de edad Paleoceno-Eoceno compuesto por lodolitas, lodolitas carbonosas e intercalaciones de areniscas, con capas de carbón.
9. Formación Cuesta: de edad Neogeno compuesta por conglomerados, intercalados con areniscas ferruginosas y arcillolitas limosas.
10. Formación Zambrano de edad Plioceno Temprano compuesta por intercalaciones de arcillolitas, arcillolitas arenosas y areniscas.
11. Depósitos recientes principalmente depósitos aluviales.

Figura 4. Correlación estratigráfica Cuenca Cesar- Rancheria y Cuenca del Catatumbo..



Fuente: Tomado de Colombian Sedimentary Basins, ANH (2007)

Para efectos del presente trabajo solo tenemos en cuenta el detalle estratigráfico de la Formación Los Cuervos y sus suprayacentes (Fm. Cuesta y depósitos Cuaternarios), las cuales en el sector del Hatillo conforman la estructura de la mina, es de resaltar que Los Cuervos es la formación que representa interés económico minero por contener 21 mantos de carbón que explotables en el yacimiento carbonífero.

- **Formación Los Cuervos.** Autor: Notestein et al. (1944). Localidad tipo y afloramientos: la localidad tipo está situada en la quebrada Los Cuervos que confluye al río Catatumbo, en la parte norte de la Concesión Barco; en el Departamento del Cesar aflora únicamente al nororiente del Municipio de La Jagua de Ibirico.

Descripción litológica: Está constituida en su parte inferior por lodolitas grises a gris oscuras, carbonosas e intercalaciones de areniscas, con algunas capas explotables de carbón. La parte media se compone de arcillolitas negras, grises, verdosas y amarillentas, con delgadas intercalaciones de arenisca gris verdosa o amarillenta, de grano medio, micáceas, localmente feldespáticas con matriz arcillosa, y mantos de carbón entre 0.1 y 6 m. de espesor que son objeto de explotación intensa. En la parte superior presenta lodolitas grises, carbonosas, ligeramente micáceas y ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas grises, carbonosas. Se asume que el ambiente de depósito fue transicional (deltáico).

La Formación Los Cuervos descansa concordantemente sobre la Formación Barco. El contacto superior con la Formación Mirador aparentemente es concordante, aunque se ha discutido mucho que localmente es discordante (DE-PORTA, et al., 1974). Esta unidad es correlacionable con la parte superior de la Formación Lisama y parte inferior de la Formación La Paz en el Valle Medio del Magdalena. Tomado de Royero & Clavijo (2001).

Espesor: varía de 249 a 426 m.

Edad: Paleoceno medio al Eoceno inferior, según Van der Hammen (1957).

- **Formación Cuesta.** Autor: García (1990) utiliza este nombre para describir los sedimentos semiconsolidados que conforman el tope del Sinclinal de La Loma, que afloran en la vía entre La Jagua de Ibirico y La Loma.

Afloramientos: se hallan en la localidad de Plan Bonito al oriente de La Loma.

Descripción litológica: se caracteriza por presentar areniscas de color gris claro a blanco, semiconsolidadas, cuarzosas, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, intercaladas con conglomerados de matriz arenosa con cantos alargados similares a los denominados “Huevos de Paloma” de cuarzo ahumado de 3 cm de diámetro; areniscas con costras ferruginosas y arcillolitas limosas de colores morado, gris y rojizo. La estratificación es en capas delgadas y, ocasionalmente, media. La expresión morfológica que produce esta unidad es de leves ondulaciones en el terreno con alturas que no superan los 25 m.

Espesor: varía entre 160 y 400 m al oriente de La Loma. García (1990) considera que su espesor total puede ser de 800 m.

Límites: reposa discordante sobre sedimentitas de la Formación Los Cuervos.

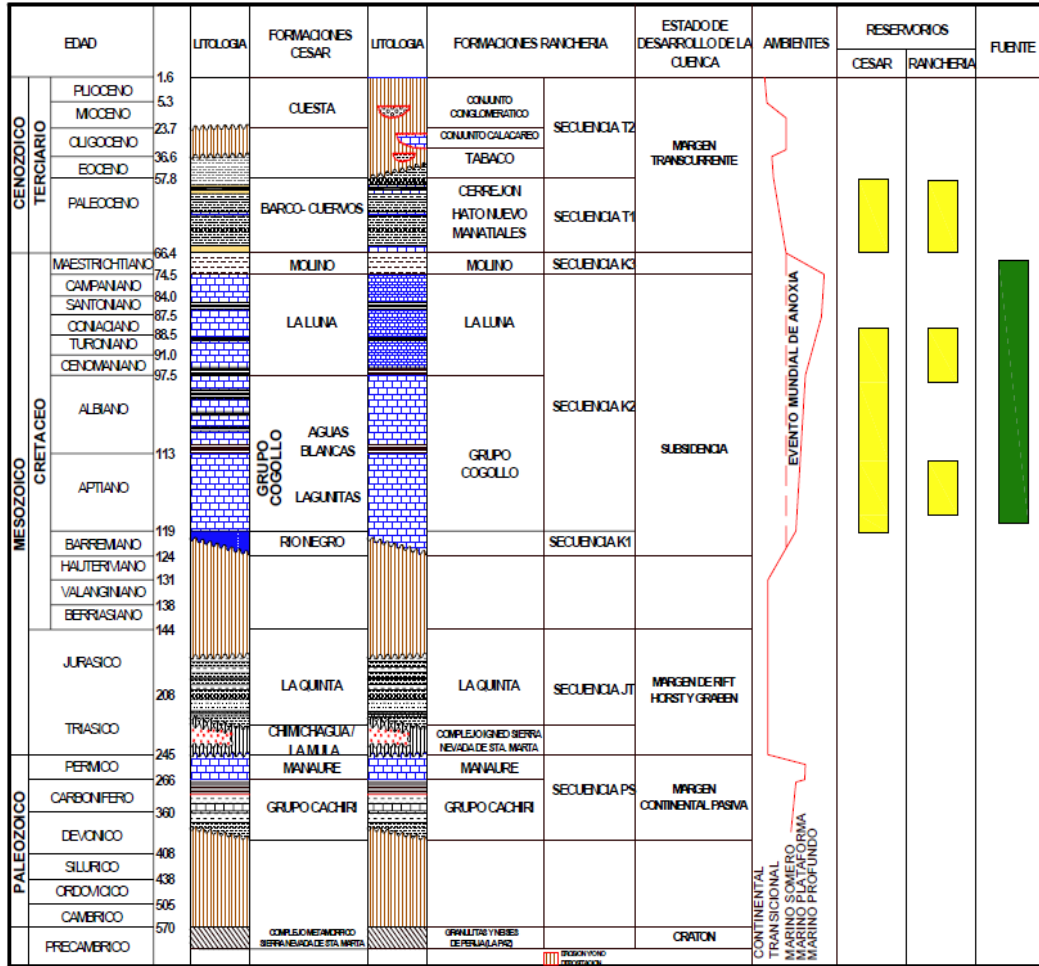
Edad: Se considera del Neógeno, posiblemente Plioceno. Esta unidad se podría correlacionar en parte con la Formación Necesidad de la Cuenca del Catumbo – Maracaibo. Tomado de Royero & Clavijo (2001).

- **Depósitos recientes.** Los sedimentos que conforman las partes planas del Departamento del Cesar, que por su composición y características se consideran de edad cuaternaria.

El abanico de La Jagua de Ibirico está constituido por cantos y bloques hasta de 3 m de diámetro, de areniscas, limolitas rojas y algunas calizas en su parte frontal.

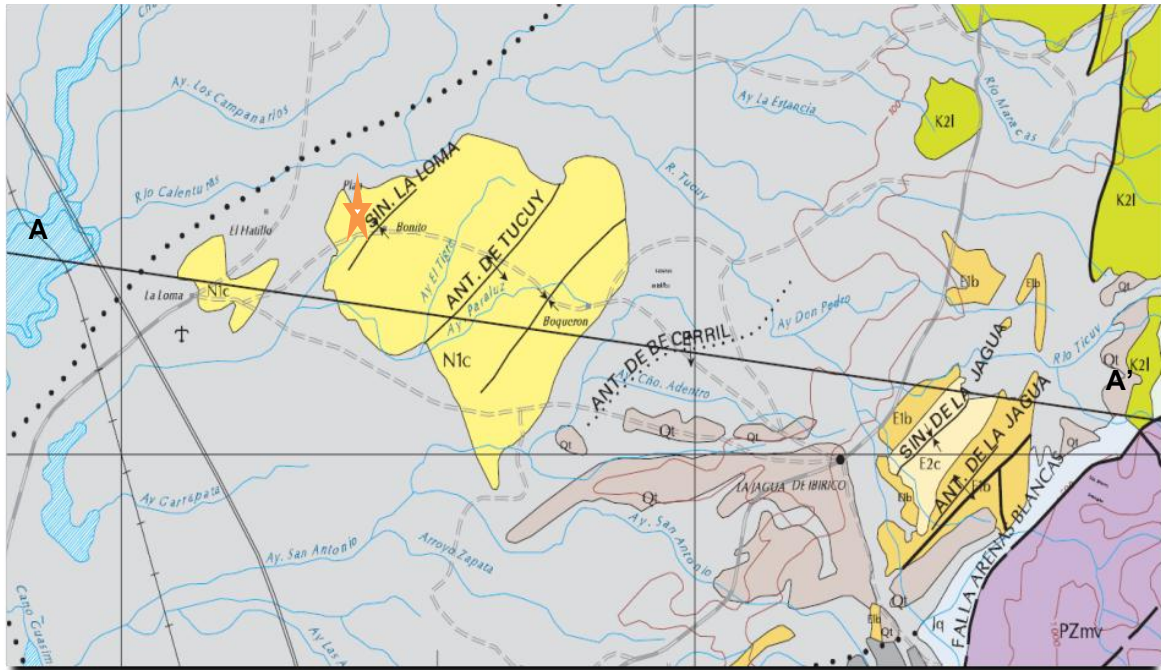
Su espesor puede alcanzar 100 m. Estos abanicos son los más extensos y alcanzan hasta 5 km de longitud en la dimensión mayor (Arias y Morales, 1999). En la figura 5, podemos observar la columna estratigráfica general, de la Cuenca Cesar-Ranchería.

Figura 5. Columna Estratigráfica Generalizada Cuenca Cesar-Ranchería.



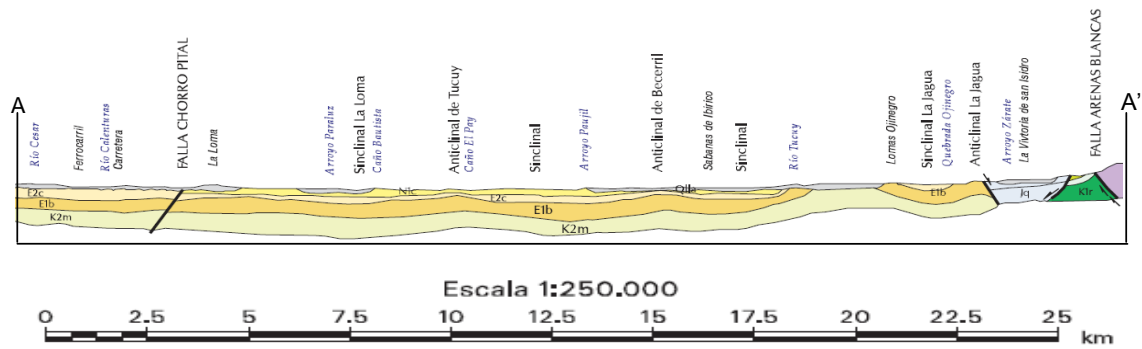
Fuente: Tomado de Arias et al. (2007).

Figura 6. Mapa Geológico del área El Hatillo.



Fuente: Tomado de Arias y Morales (1999)

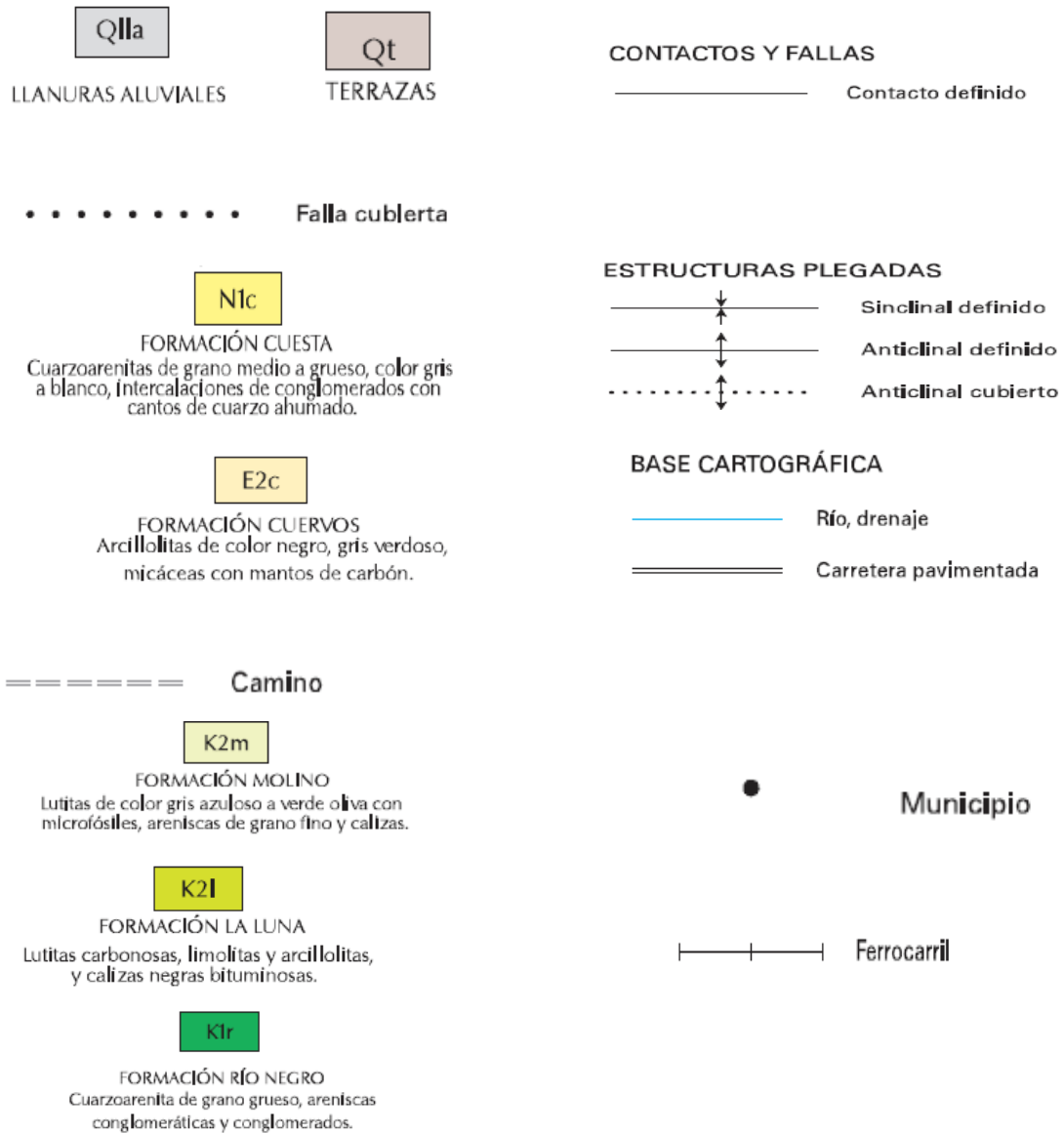
Figura 7. Corte geológico.



Fuente: Tomado de Arias y Morales (1999).

Convenciones

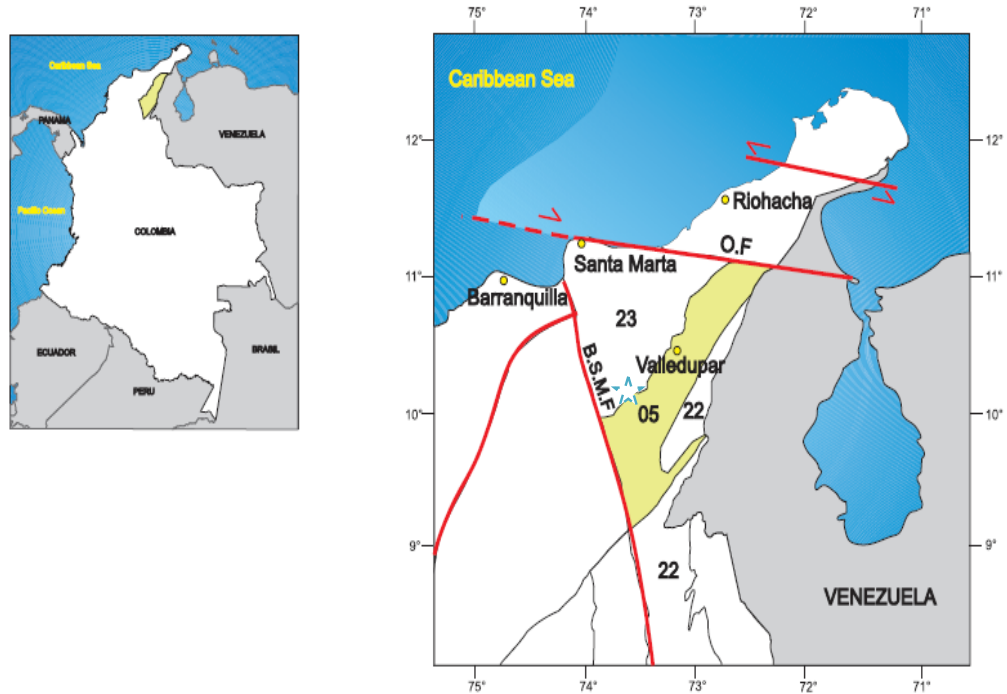
Figura 8. Convenciones. Unidades geológicas del área El Hatillo



Fuente: Tomado de Arias & Morales (1999).

4.1.4 Geología Estructural

Figura 9. Límites Estructurales de La Cuenca Cesar-Ranchería.



Fuente: Tomado Colombian Sedimentary Basins, ANH (2007)

Regionalmente, la cuenca Cesar-Ranchería está limitada de la siguiente manera: al Norte limita con la Falla Oca; al Este con las Fallas inversas del Cerrejón y Perijá, con buzamientos al SE; el límite Oeste es con la Falla de rumbo Bucaramanga-Santa Marta, y el Noroeste está limitado por la Sierra Nevada de Santa Marta (Figura 9). En relación al movimiento sinistral de la Falla de Bucaramanga-Santa Marta y el movimiento dextral de la Falla de Oca se puede decir que esta zona se encuentra inmersa en una sintaxis tectónica positiva que contribuyó al levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta. Tomado Colombian Sedimentary Basins, ANH (2007)

Los pliegues más notorios están relacionados con la región Serranía de Perijá predominantemente sedimentaria, mientras que las regiones Sierra Nevada de

Santa Marta y parte norte de la Cordillera Oriental presentan una tectónica de bloques y fallas.

4.1.4.1 Pliegues. En un sentido amplio se considera que la serranía es un anticlinorio cuyo núcleo está formado por rocas paleozoicas y sus flancos por sedimentos rojos y rocas cretácicas; esta estructura mayor se encuentra fallada y plegada. La zona plegada continúa al occidente del área montañosa, en parte cubierta por sedimentos recientes; su presencia se ha determinado mediante estudios geofísicos de resistividad eléctrica, la interpretación de perfiles geológicos y datos de Pozos. Tomado de García, (1990).

El Anticlinal de Becerril es una estructura, que se presenta al occidente de La Jagua de Ibirico y se prolonga hacia el norte hasta cerca de su cabecera municipal, el núcleo de esta estructura lo constituyen rocas cretácicas. Tomado de García, (1990).

Por su interés económico, las estructuras del nororiente de La Jagua de Ibirico que se continúan hacia el occidente hasta el Corregimiento La Loma son las más importantes; entre éstas se destacan los sinclinales de La Jagua de Ibirico y La Loma, y los anticlinales que los acompañan.

El Sinclinal de La Jagua está formado por arcillolitas y areniscas de la Formación Los Cuervos; al oriente del sinclinal y dentro de la Formación Barco se presenta el Anticlinal de La Jagua limitado por una falla; estas estructuras tienen dirección NE - SW y la inclinación de sus flancos varía entre 20° y 25° (Figura 6 y 7).

El Sinclinal de La Loma, con dirección NE - SW, afecta la secuencia de areniscas de grano grueso y conglomerados de la Formación Cuesta, los flancos presentan inclinaciones entre 23° y 28°; la unidad litológica se continúa al oriente formando el Anticlinal de Tucuy, el cual, a su vez, es seguido por un sinclinal no denominado,

cuyo eje pasa cerca al Caserío Boquerón. La última estructura enlaza con el Anticlinal de Becerril ya mencionado (Figura 6 y 7).

Es de interés tener en cuenta que las direcciones de los ejes del sinclinal de La Jagua y el Sinclinal de la loma se encuentran orientada con la influencia del sistema transcurrete de la falla de Bucaramanga-Santa Marta. Tomado de Arias y Morales (1999).

4.1.4.2 Fallas. Las principales fallas de la cuenca son las fallas rumbo deslizantes de Oca y Bucaramanga-Santa Marta, a menor escala la falla de rumbo El tigre y las fallas de cabalgamiento de Cerrejón, Chitaga y Labateca (Figura 10).

Los rasgos tectónicos más prominentes en las zonas montañosas del Departamento del Cesar son las fallas. Se observan dos sistemas mayores de fracturamiento, el más prominente de dirección NE - SW a E - W controla gran parte del drenaje, y otro de dirección N - S y NNW -SSE subparalelo a la Falla de Santa Marta - Bucaramanga.

La Falla de Oca de dirección E-W de tipo dextral la cual al juntarse con la Falla de Bucaramanga-Santa Marta forman una sintaxis tectónica positiva representada en parte del levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta.

La Falla de Bucaramanga-Santa Marta con orientación SE-NW de tipo sinistral que influencia en el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta como fue anteriormente mencionado.

Las Fallas de Chitaga y Labateca son la continuación de la Falla de Bocono en Venezuela, las cuales son fallas de cabalgamiento.

Los pliegues son afectados regionalmente por las fallas inversas Hatillo y El Tigre que tienen una orientación NE-SW. Dentro de los sinclinales se observan fallas locales, de tipo inverso, con dirección NE-SW, como lo son las fallas El Descanso, La Loma, Calenturitas, La Envidia, El Rosario; también existen algunas fallas de rumbo. Tomado de Arias y Morales (1999).

Figura 10. Principales fallas presentes en el Departamento del Cesar.



Fuente: Tomado de Arias & Morales (1999).

4.1.5 Evolucion Geológica. La evolución de la cuenca comienza con un evento metamórfico precámbrico (Evento Nickeriense) que constituyen las rocas de basamento de la Sierra nevada de Santa marta, permitiendo así la depositación de

sedimentos clásticos que son posteriormente deformados y metamorfizados por eventos orogénicos de edad Silurico- devónico denominados La Virgen.

Durante el Triásico-Jurasico la cuenca es afectada por eventos distensivos generando estructuras de graben, ocurriendo en los paleo altos procesos erosivos que rellenaron parte de estos grabens con sedimentos continentales acompañados con eventos volcánicos representados por las formaciones La quinta y Guatapuri.

Durante el Cretácico se dan eventos transgresivos en la cuenca depositando en esta, sedimentos calcáreos en una plataforma abierta con cambios de facies: empezando con la depostación cretácica se encuentra la Formación Rio Negro de edad Barremiano-Aptiano, seguido por los depósitos sedimentarios del Grupo Cogollo de edad Aptiano, Las lutitas de la Formación La Luna de edad Turoniano-Santoniano que representan el comienzo del retiro del mar y culminando con los depósitos lutíticos de la Formación Molino.

Para el Paleoceno-Eoceno comienza la secuencia continental representada por los depósitos del Paleoceno de la Formación Barco y los depósitos del Eoceno de la Formación los Cuervos, En el Eoceno-Oligoceno se producen eventos orogénicos que originan el levantamiento de la Sierra Nevada de Santamarta y la Serranía del Perija por lo cual no se encuentra depositación para la cuenca en el Mioceno medio.

Debido al levantamiento durante el Mioceno tardío y el Plioceno se continúa el fallamiento en la Serranía del Perija, generando una discordancia para la cuenca de que va desde el Mioceno hasta el Pleistoceno que se observan en el contacto discordante de la Formación los Cuervos con la Formación Cuesta de edad Plioceno.

En el presente, los efectos de compresión continúan siendo causados por la interacción de las placas del Caribe y Suramérica, y se caracterizan por erosión, acarreo y sedimentación de materiales no compactos, formación de sabanas y terrazas. Tomado de Arias y Morales (1999).

4.2 REGISTROS GEOFÍSICOS

Un registro geofísico, es un registro continuo de las mediciones realizadas en un Pozo mediante una sonda capaz de responder a las variaciones de algunas propiedades físicas de las rocas que son perforadas.

Dentro de las aplicaciones más importantes de los registros geofísicos se encuentran: profundidad, identificación y espesor de la litología, densidad de la roca, porosidad y resistividad. Adicionalmente de una correlación entre Pozos.

Éstas características se logran identificar por medio de las curvas Gamma Ray, Densidad, Resistividad y Caliper que se toman más frecuentemente en los registros del proyecto El Hatillo y que son la base para la interpretación de los registros geofísicos que están incluidos en este trabajo.

La identificación de la litología, en algunos casos, se puede realizar a través del registro gamma ray y densidad únicamente, aunque la curva de resistividad es de mucha importancia y muy útil en la identificación de fluidos.

4.2.1 Registro Gamma Ray. La medición de la radiactividad natural de los materiales de las formaciones geológicas, ha sido durante mucho tiempo utilizado como un indicador de litologías. En la mayoría de las secuencias sedimentarias, altos valores gamma ray se deben a los altos niveles de un isótopo del potasio (K^{40}); aunque existen circunstancias donde las concentraciones de uranio contribuyen a la mayoría la radiación emitida.

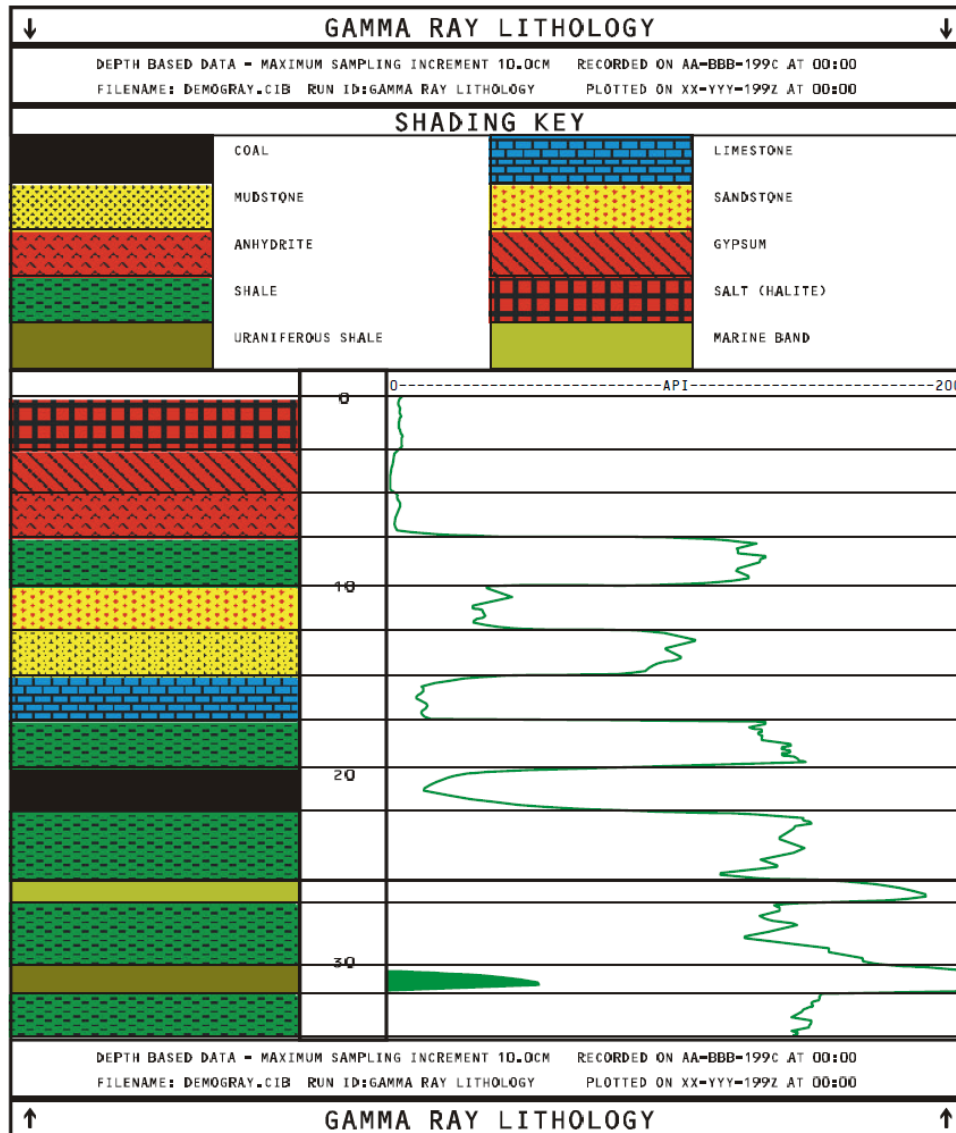
El isótopo K40 está presente dentro de la composición de las micas y en los minerales de arcilla. Shales típicos tienen valores de gamma en el rango de 80 a 200 unidades API.

Formaciones con menor contenido de K40 muestran niveles reducidos de rayos gamma. Areniscas, calizas, dolomías y carbones varían desde 0 hasta 50 API. Las calizas son por lo general las más bajas, seguido por dolomías, areniscas y carbones.

Materiales de rocas ígneas y metamórficas son casos especiales donde la actividad de rayos gamma pueden tener rangos de muy bajo a muy alto, dependiendo de su composición química. Tomado de Firth D. (1994).

La figura 11 ilustra algunas de las respuestas típicas gamma en formaciones sedimentarias.

Figura 11. Respuesta típica de la curva Gamma Ray en formaciones sedimentarias.



Fuente: Tomado de Firth D. (1994).

4.2.2 Registro de Densidad. Algunos minerales tienen una densidad distintiva, (carbón por ejemplo, en alrededor de 1,3 gcm-3 y halita en la mayoría de 2,03 gcm- 3); en otras rocas sedimentarias los materiales son más similares en

valor (típicamente 2,5 gcm-3 a 2,8 gcm-3) y debe ser evaluado en conjunto con otros registros.

Los carbones varían entre 1,1 a 1,5 gcm-3 de acuerdo al rango, con un promedio los carbones bituminosos tienen una densidad alrededor de 1,3 gcm-3.

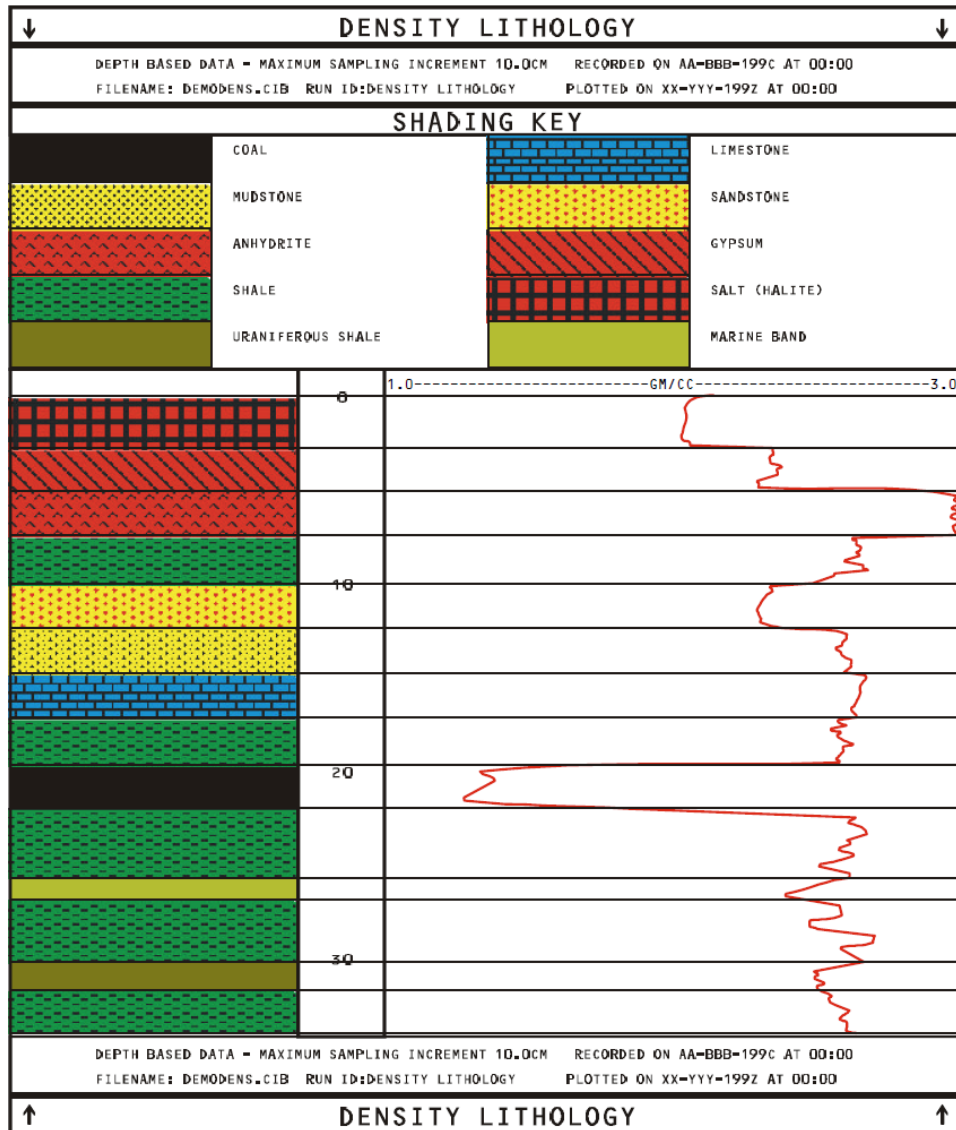
Las areniscas cuarzosas tienen una densidad de 2,65 gcm-3, las calizas 2,71 gcm-3 y dolomías 2,87 gcm-3. Las areniscas porosas, las calizas y las dolomías fracturadas tienen valores cercanos a cero por lo tanto, se puede diferenciar unas de otras, y del carbón con la curva de densidad únicamente.

Las evaporitas se distinguen por una densidad de 2,03 g cm-3 (halita), 2,35 g cm-3 (yeso) y 2,98 g cm-3 (anhidrita).

Rocas ígneas y metamórficas son generalmente altas en densidad.

Una interpretación litológica básica se puede hacer mediante las curvas gamma y densidad. Tomado de Firth D. (1994).

Figura 12. Respuesta típica de la curva de densidad en formaciones sedimentarias.



Fuente: Tomado de. Firth D. (1994)

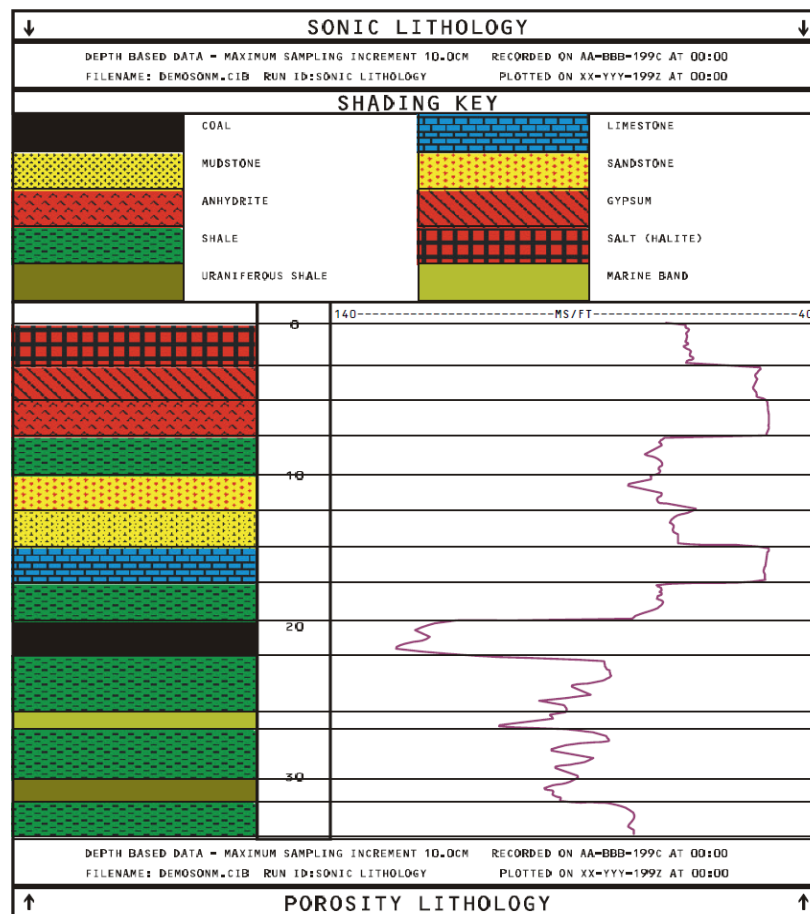
4.2.3 Registro de Resistividad. El registro de resistividad mide el volumen y la salinidad del agua que contiene la roca y los minerales de arcilla.

La resistividad se ve influenciada por la porosidad de la formación, la resistividad del agua, la temperatura, diámetro de la perforación y el fluido resistivo.

De los carbones, antracitas y lignitos son generalmente bajos, mientras que en carbones bituminosos la resistividad varía. Porosidades bajas, generalmente, dan lugar a mayores valores de resistividad y viceversa.

Materiales de rocas ígneas y metamórficas tienen valores de resistividad muy altos. Por ejemplo, la mica es un muy buen aislante. Tomado de Firth D. (1994).

Figura 13. Respuesta típica de la curva de porosidad en formaciones sedimentarias.



Fuente: Tomado de Firth D. (1994)

Figura 14. Resumen de las respuestas de registros en diferentes litologías.

		GAMMA RAY		DENSITY		SONIC		POROSITY		RESISTIVITY Ω-M				
		0	API 150	1.0	GM/CC 3.0	140	μS/FT 40	50	SST PU	0	0	10	100	1000
SHALE	MARINE													
	NON-MARINE													
COAL	BITUMINOUS													
	INFERIOR													
	LIGNITE													
	ANTHRACITE													
SANDSTONE	POROUS													
	TIGHT													
SILTSTONE														
EVAPORITES	GYPSUM													
	SALT													
	ANHYDRITE													
LIMESTONE	POROUS													
	TIGHT													

Fuente: Tomado de Firth D. (1994).

4.3 DIAGRAMA DE CAJA (BOX PLOT)

Un diagrama de cajas es un gráfico representativo de las distribuciones de un conjunto de datos en cuya construcción se usan cinco medidas descriptivas de los mismos, a saber: mediana, primer cuartil, tercer cuartil, valor máximo y valor mínimo.

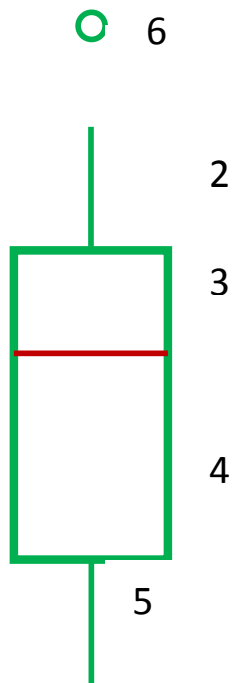
Esta presentación visual, asocia las cinco medidas que suelen trabajarse de forma individual. Presenta al mismo tiempo, información sobre la tendencia central, dispersión y simetría de los datos de estudio. Además, permite identificar con claridad y de forma individual, observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. A estas observaciones se les conoce como valores atípicos.

Partes del Boxplot

1. Límite superior: Es el extremo superior del bigote. Los datos por encima de este límite se consideran atípicas.
2. Tercer cuartil (Q3): Por debajo de este valor se concentran como máximo el 75% de los datos.
3. Mediana: Coincide con el segundo cuartil. Divide a la distribución en dos partes iguales. De este modo, 50% de las observaciones están por debajo de la mediana y 50% está por encima.
4. Primer cuartil (Q1): Por debajo de este valor se encuentra como máximo el 25% de los valores
5. Límite inferior: Es el extremo inferior del bigote. Los valores por debajo de este valor se consideran atípicas.

6. Valores atípicos: Datos que están apartadas del cuerpo principal de datos. Pueden representar efectos de causas extrañas, valores extremos o en el caso de la tabulación manual, errores de medición o registro. Se colocan en la gráfica con asteriscos (*) o puntos (.) según se alejan menos o más del conjunto de datos. Se utiliza un superíndice numérico para indicar el número de veces que aparece ese dato como atípico.

Figura 15. Diagrama de Caja (BoxPlot)



5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo de la practica empresarial y garantizar que los objetivos propuestos fuesen alcanzados, se realizo el trabajo siguiendo la siguiente metodología.

- **Revisión Bibliográfica.** Revisión de la información existente del área de estudio como mapas, columnas estratigráficas generales, informes de estudios anteriores, artículos geológicos. La búsqueda de esta información se llevo a cabo en la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y en la Base de Datos de Vale Coal Colombia.
- **Construcción de la base de datos.** Se realizo un listado con la información existente de cada Pozo y se generó una base de datos única, con base en la cual se elaboró un plan de acción con el objetivo de completar la información.
- **Selección de registros de pozos que no tenían interpretación litológica.** Se seleccionaron las perforaciones a las cuales se hará una interpretación litológica a partir de los registros geofísicos; ver TABLA 3.

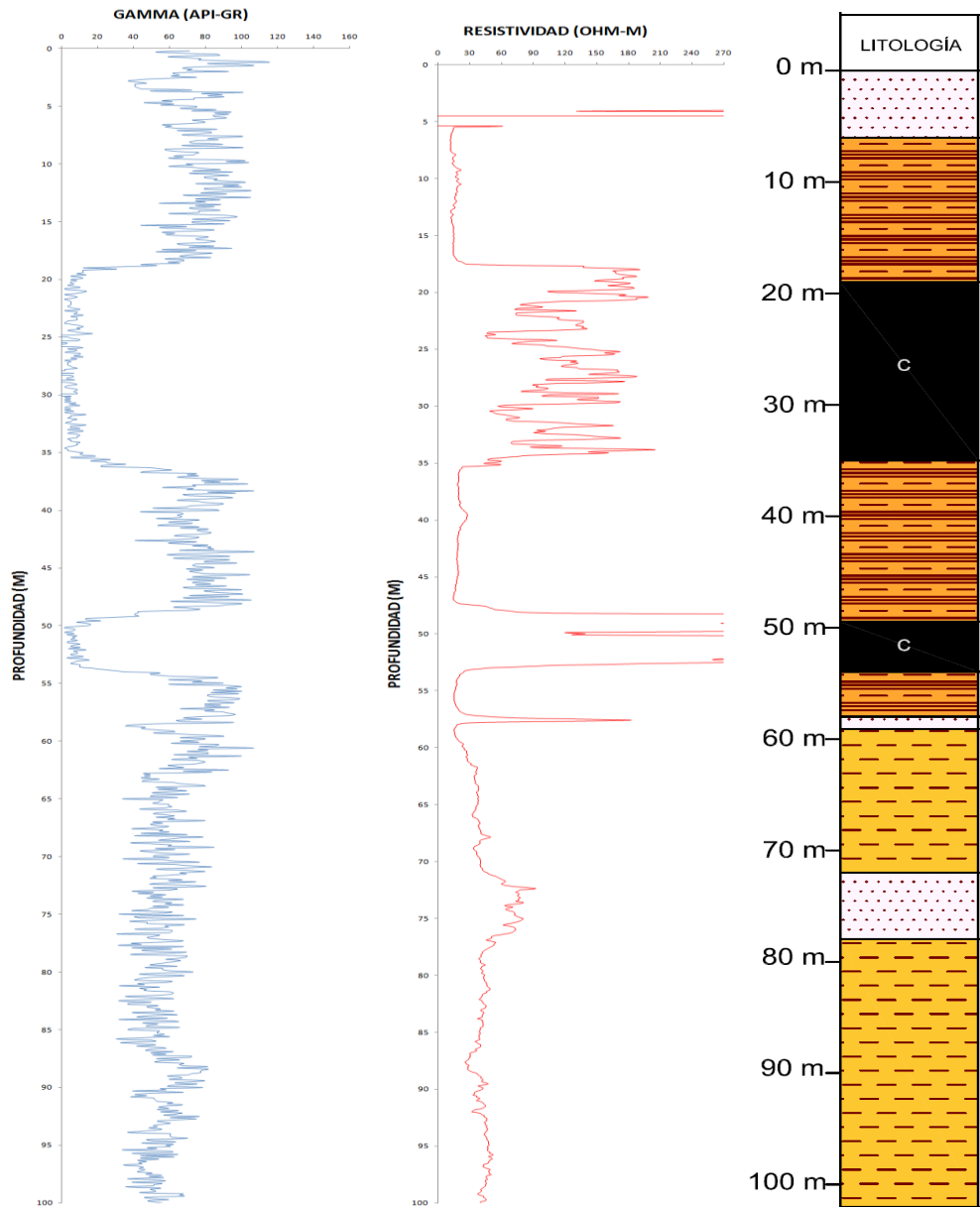
Tabla 3. Listado y ubicación de Pozos campaña 2004 que no tenían interpretación litológica.

Borehole ID	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura	Profundidad registrada	Tipo de perforación
H04-PT001	1052483.17	1553370.90	36.13	103.10	TRIC
H04-PT002	1052543.61	1553231.39	36.11	227.50	TRIC
H04-PT003	1052577.63	1553420.88	36.38	91.50	TRIC
H04-PT004	1052637.34	1553283.12	36.12	218.80	TRIC
H04-PT005	1052741.33	1553463.79	36.2	156.00	TRIC
H04-PT006	1052721.08	1553509.84	36.36	133.80	TRIC

Borehole ID	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura	Profundidad registrada	Tipo de perforación
H04-PT007	1052800.78	1553326.03	36.37	241.20	TRIC
H04-PT008	1052845.78	1553557.42	36.59	86.00	TRIC
H04-PT009	1053100.67	1553641.08	37.15	114.70	TRIC
H04-PT010	1053514.98	1553920.22	37.79	91.70	TRIC
H04-PT011	1053150.51	1553538.29	37.02	241.40	TRIC
H04-PT012	1053293.87	1553792.39	37.04	80.80	TRIC
H04-PT014	1053938.67	1554174.35	38.76	99.70	TRIC
H04-PT015	1053608.27	1553769.39	37.65	209.00	TRIC
H04-PT016	1054423.26	1554360.86	47.07	241.30	TRIC
H04-PT017	1054780.21	1554704.24	44.86	184.20	TRIC
H04-PT018	1054068.22	1553996.76	38.67	247.50	TRIC
H04-PT019	1054741.22	1554750.13	48.72	108.90	TRIC
H04-PT020	1054026.98	1554053.26	38.59	222.50	TRIC

- **Interpretación litológica y construcción de las columnas estratigráficas de cada Pozo.** Con la interpretación de los registros geofísicos se construyeron las columnas estratigráficas, ver figura 13.

Figura 16. Ejemplo de: Columna Estratigráfica interpretada a partir de las curvas Gamma Ray y Resistividad del registro geofísico y graficada en Excel.



Nota. Estas curvas se importaron del archivo. Las del registro a excel, y se le adicióno la interpretación litológica realizada en el software Autocad.

- **Complementación de la base de datos.** Se complemento la base de datos de Pozos existente con toda la información requerida para cada uno de los Pozos de la campaña de 2004, ésta información incluye:

- Campaña de perforación
 - Nombre del Pozo
 - Coordenadas geográficas
 - Profundidad (Perforada y registrada)
 - Columna Estratigráfica
 - Registro Geofísico
 - Descripción del Pozo
 - Análisis de calidad (Para Pozos corazonados)
- **Análisis estadístico de la curvas de los registros geofísicos (Campañas 2004 y 2011).** Después de la interpretación litológica de los registros, se construyeron los diagramas de caja y las estadísticas básicas (valor min, valor max, cuartiles, media, etc) utilizando el software estadístico Minitab versión 14.

Con base en de los diagrama de cajas y las estadísticas básicas se obtuvieron los rangos de valores de las curvas Gamma Ray y Resistividad y de ésta manera generar un valor promedio para cada litología para cada uno de los Pozos para las campañas de perforación de 2004 y del 2011.

- **Validación de los resultados obtenidos para la campaña del 2004.** A partir de los resultados estadísticos obtenidos para las dos campañas se pudo verificar la validez de las interpretaciones litológicas que se hicieron para la

campana del 2004 utilizando como patrón de referencia la campana de perforación del 2011 por tener información muy completa (núcleos, columnas estratigráficas, descripción, fotos) y por encontrarse dentro del mismo yacimiento.

- **Conclusiones**
- **Elaboración del informe final.**

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS

Para la correcta identificación de un estrato, capa o manto de carbón es necesario un análisis detallado de las curvas de radioactividad, densidad y resistividad de los registros geofísicos.

Cada tipo de roca exhibe características propias que permiten su identificación. Los carbones del yacimiento El Hatillo presentan valores de radioactividad muy bajos, su densidad varía entre 1.3 y 1.5 g/cm³, mientras que la curva de resistividad marca los valores más altos por encima de 150 OHM

Las areniscas interestratificadas con los carbones del yacimiento El Hatillo, se identifican por la curva de densidad que tiene valores altos, la radioactividad es media, y la resistividad es alta y aumenta con el tamaño de grano. La diferencia entre los carbones y las areniscas de éste yacimiento se da en la curva de densidad. Se debe tener en cuenta que el comportamiento de las areniscas varía según su matriz y el tamaño de grano.

Las arcillolitas y limolitas del yacimiento El Hatillo son muy similares, pero en la curva Gamma Ray se muestra la diferencia, esto es debido a que ésta curva mide la cantidad de minerales arcillosos (radioactividad API), siendo así, los valores más altos para las arcillolitas; la densidad es casi igual para ambos materiales y la resistividad un poco mayor en las limolitas.

De esta manera se logró interpretar la litología en los registros las curvas radioactividad y resistividad (Figuras 20 a 39) y realizar la columna estratigráfica de los Pozos de la campaña del año 2004. Cabe aclarar que la curva de densidad

no pudo ser interpretada debido a problemas en la sonda que impidieron la correcta toma de los datos.

De igual manera es importante aclarar que los registros geofísicos de los pozos de perforación en la mina El Hatillo presentan características propias del yacimiento tales como:

El espesor de los mantos y en general de los estratos rocosos en las columnas obedece a un espesor aparente, esto debido a la relación entre el ángulo de buzamiento de los estratos y la total verticalidad de los pozos que hace que estos se muestren de mayor espesor en las columnas estratigráficas.

Algunos mantos de carbón (especialmente los de mayor espesor) presentan intercalaciones arcillosas y/o limosas las cuales no son descritas en la columna por su delgado espesor y a la escala a la cual se están interpretando los registros geofísicos. Estas intercalaciones en la mayoría de los casos y mediante análisis de laboratorio se ha demostrado que no afectan la calidad del carbón por lo que al momento de minar los mantos dichas intercalaciones se extraen junto con el carbón. Las intercalaciones mayores a 10 cm. de espesor se consideran factores de dilución y son separadas del carbón en el minado. Igualmente algunos mantos tienen extremos (techos y pisos) muy carbonosos que dificultan establecer el espesor exacto del manto en los registros geofísicos.

La variación en cuanto al tipo de carbón (litotipo) en un mismo mantos es lo que genera variaciones en la curva de resistividad, de esta manera los carbones más frágiles y con mayor grado de fracturamiento permiten el flujo de aguas lo cual aumenta los valores de la resistividad, pero esto ocurre sin alterar las demás curvas de un registro como se puede observar en algunos mantos de carbón.

El depósito El Hatillo según los registros de pozo está compuesto principalmente por arcillas y limolitas estratificadas, con alrededor de 20 mantos de carbón económicamente explotables, algunos estratos de areniscas medianamente cementadas y de grano fino y calizas.

Es de mucha importancia tener en cuenta que los registros geofísicos son la única evidencia de los pozos de perforación del año 2004 por lo que se hace difícil tener una mayor precisión en las variaciones y espesores de las litologías presentes en el yacimiento. Aun que con base en las comparaciones hechas con los pozos de perforación de la campaña de 2011 que tienen toda su información completa (núcleos, registros, columnas estratigráficas, etc) y las cuales se llevaron a cabo en la misma área, se puede corroborar dicha información interpretada mediante un análisis estadístico de los valores de las curvas Gamma Ray y Resistividad de los registros geofísicos.

En las figuras 20 a 39 de muestra la interpretación litológica de los registros geofísicos, en anexos se encuentra las columnas estratigráficas interpretadas con un mayor detalle estratigráfico.

Cabe aclarar que la curva de densidad en los pozos 2004 tuvo problemas con la sonda lo que no permitió la toma de esta.

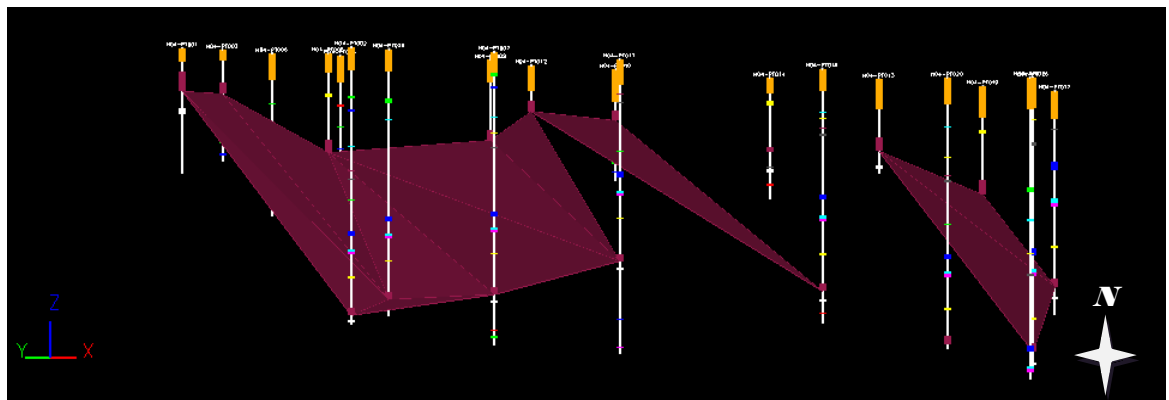
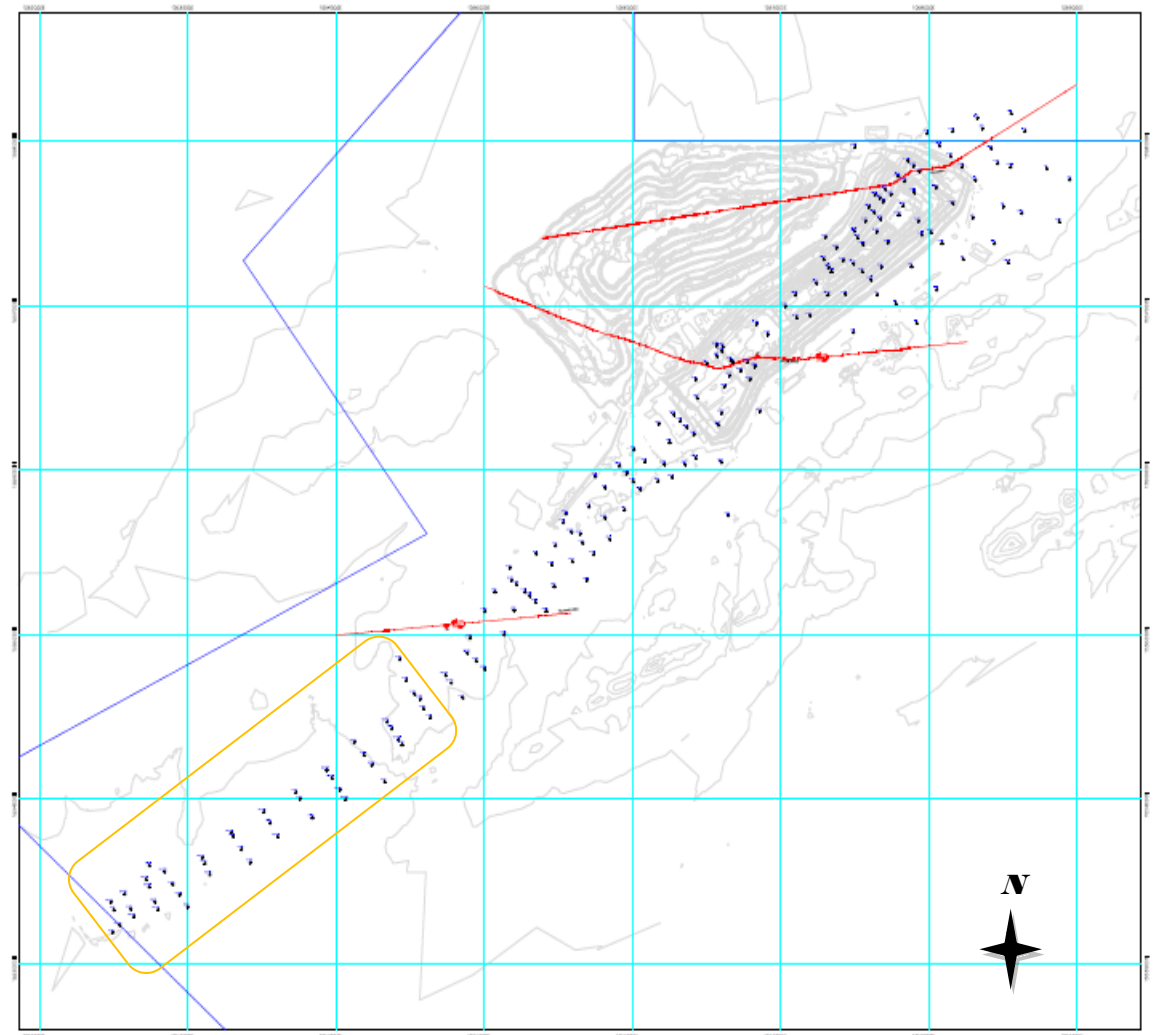
En la tabla 3 se listan los pozos descritos y las coordenadas de estos en una malla de perforación rectangular ubicados hacia la zona sur del yacimiento.

Tabla 3. Listado y ubicación de Pozos campaña 2004 que no tenían interpretación litológica.

POZO ID	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura	Profundidad registrada	Tipo de perforación
H04-PT001	1052483.17	1553370.90	36.13	103.10	TRIC*

POZO ID	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura	Profundidad registrada	Tipo de perforación
H04-PT002	1052543.61	1553231.39	36.11	227.50	TRIC
H04-PT003	1052577.63	1553420.88	36.38	91.50	TRIC
H04-PT004	1052637.34	1553283.12	36.12	218.80	TRIC
H04-PT005	1052741.33	1553463.79	36.2	156.00	TRIC
H04-PT006	1052721.08	1553509.84	36.36	133.80	TRIC
H04-PT007	1052800.78	1553326.03	36.37	241.20	TRIC
H04-PT008	1052845.78	1553557.42	36.59	86.00	TRIC
H04-PT009	1053100.67	1553641.08	37.15	114.70	TRIC
H04-PT010	1053514.98	1553920.22	37.79	91.70	TRIC
H04-PT011	1053150.51	1553538.29	37.02	241.40	TRIC
H04-PT012	1053293.87	1553792.39	37.04	80.80	TRIC
H04-PT014	1053938.67	1554174.35	38.76	99.70	TRIC
H04-PT015	1053608.27	1553769.39	37.65	209.00	TRIC
H04-PT016	1054423.26	1554360.86	47.07	241.30	TRIC
H04-PT017	1054780.21	1554704.24	44.86	184.20	TRIC
H04-PT018	1054068.22	1553996.76	38.67	247.50	TRIC
H04-PT019	1054741.22	1554750.13	48.72	108.90	TRIC
H04-PT020	1054026.98	1554053.26	38.59	222.50	TRIC

Figura 17. Localización de los pozos de perforación.



Nota: En el recuadro los pozos de las campañas de perforación del año 2004.

El sinclinal de La Loma presenta una dirección de rumbo NE-SW y buza hacia el SE, por esto en la malla de perforación la profundidad de cada pozo varía según su posición. En el caso de los pozos de las campañas de 2004 y 2011, los pozos que se ubican en la tercera línea de perforación, es decir, hacia la parte más sur, corresponden a los de mayor profundidad ya que hacia esta zona la estructuras se encuentra más profunda y con la secuencia de mantos completa, estos alcanzan una profundidad perforada de hasta 250 metros (Pozos H04-PT-02, H04-PT-04, H04-PT-07, H04-PT-011, H04-PT-015, H04-PT-016, H04-PT-018, H04-PT-020).

Hacia la parte norte, la secuencia no se encuentra completa y es más somera por lo que los pozos ubicados en esta línea de perforación son menos profundos, llegando a 120 mt. de profundidad.

Estos pozos son H04-PT-01, H04-PT-03, H04-PT-06, H04-PT-08, H04-PT-010, H012-PT-012, H04-PT-014, H04-PT-09, H04-PT-019.

Los pozos H04-PT-05 y H04-PT-17 están ubicados hacia la parte media de la malla de perforación con una profundidad media de 160 mt.

En las figuras 18 y 19 se muestra la correlación entre los pozos de las línea Norte y la correlación entre los pozos de la línea Sur de la malla de perforación, se observa claramente la continuidad del manto 30 (manto de mayor espesor en el depósito El Hatillo) y los demás mantos, con variaciones en espesores (espesor aparente) y de profundidad.

Posiblemente las variaciones de profundidad, se deben a una profundización de la cuenca en sentido Oeste-Este lo cual genera un mayor espacio de acomodación de los sedimentos permitiendo un aumento de espesor en el mismo sentido.

Figura 18. Correlación estratigráfica-Línea de perforación Norte. De izquierda a derecha los pozos: H04-PT-001, H04-PT-003, H04-PT-006, H04-PT-010, H04-PT-012, H04-PT-014, H04-PT-019

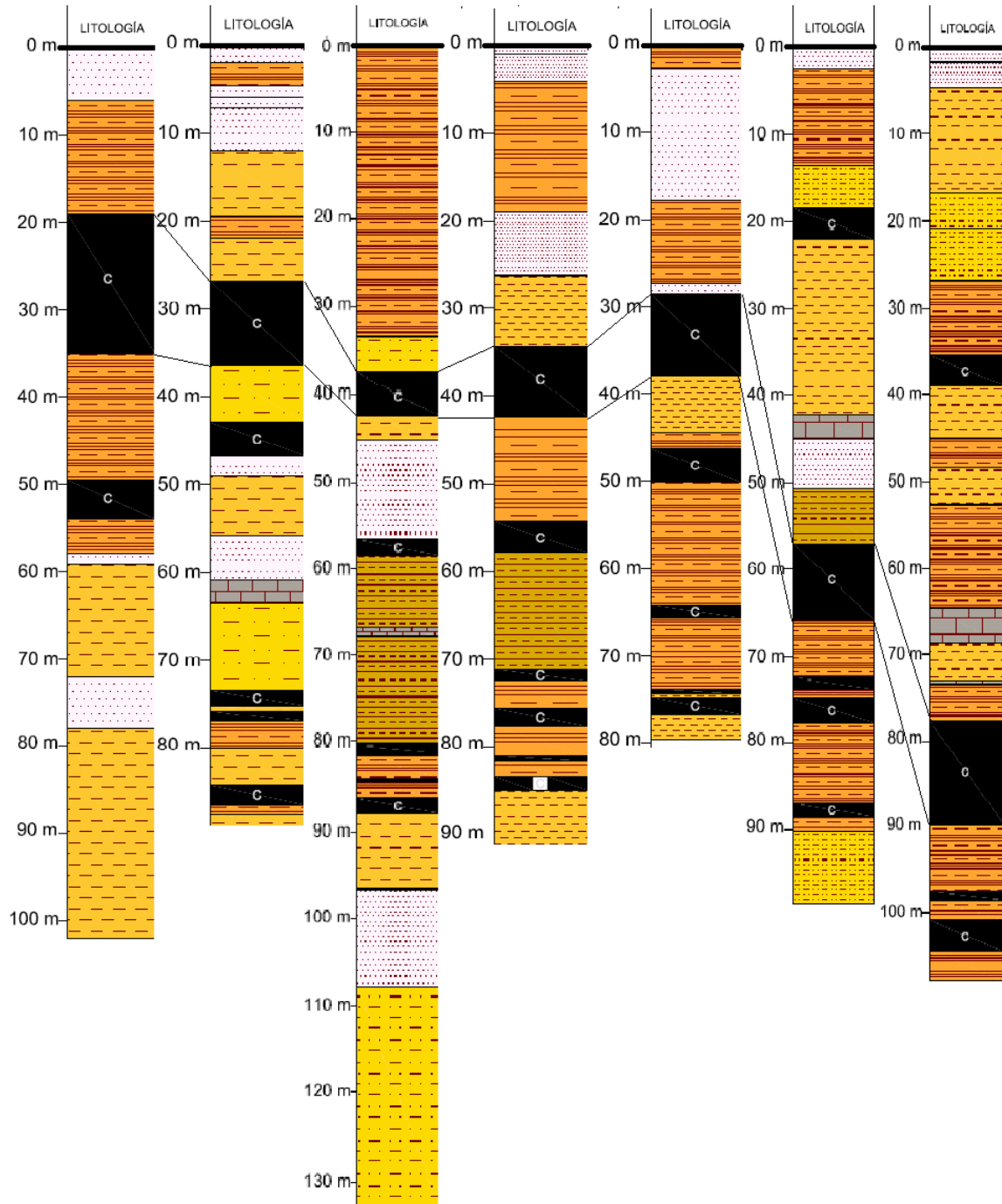
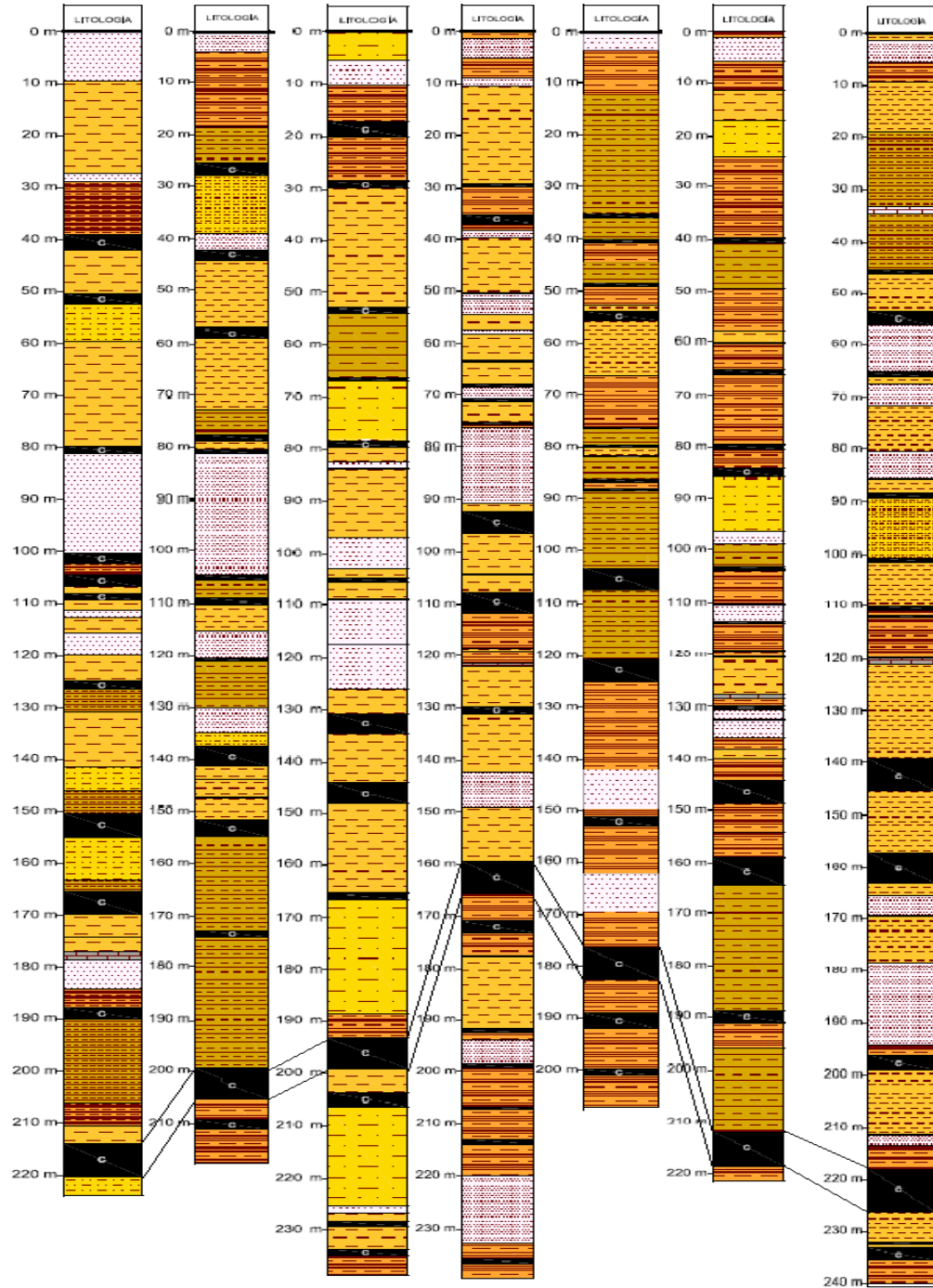
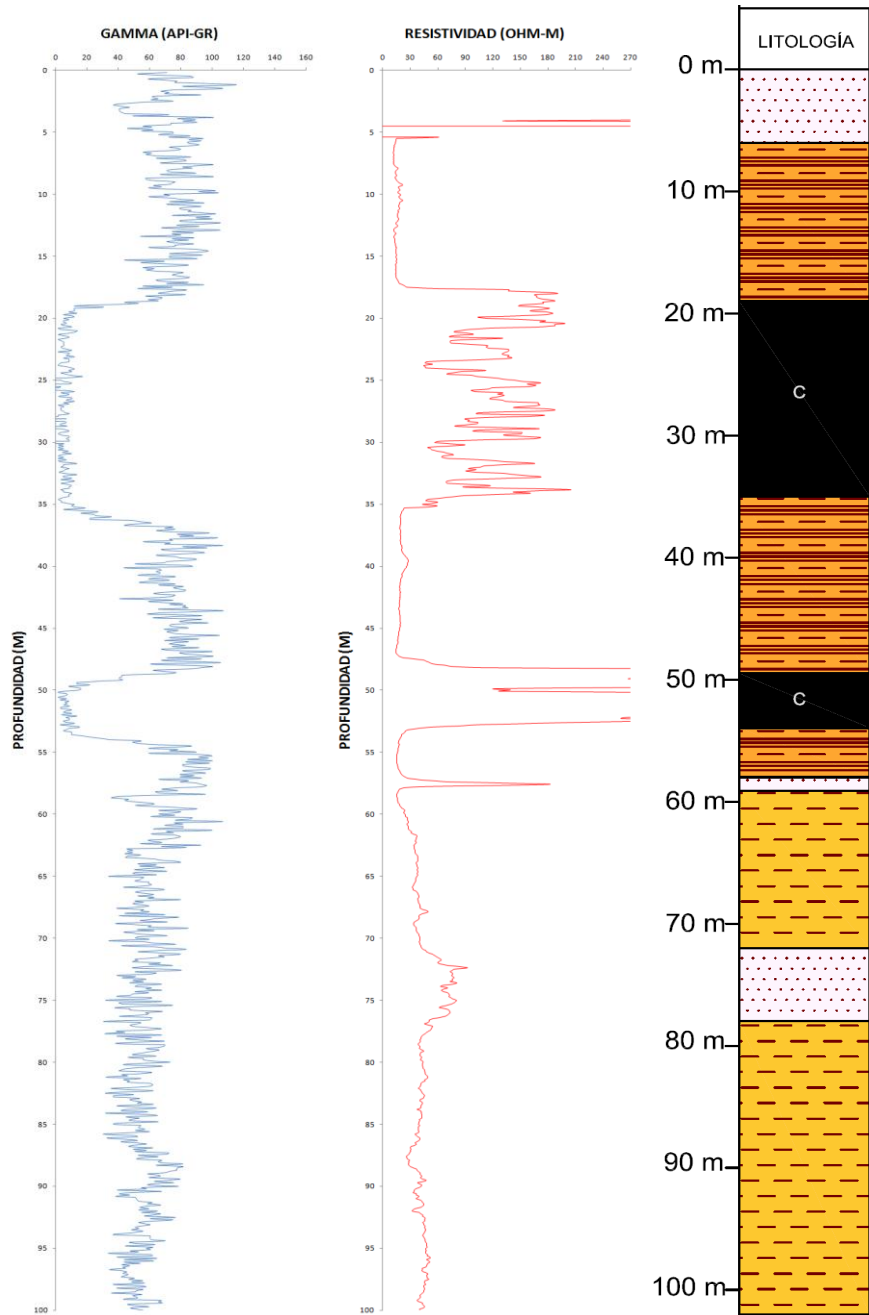


Figura 19. Correlación estratigráfica-Línea de perforación Sur. De izquierda a derecha los pozos: H04-PT-002, H04-PT-004, H04-PT-007, H04-PT-011, H04-PT-015, H04-PT-020, H04-PT-016.



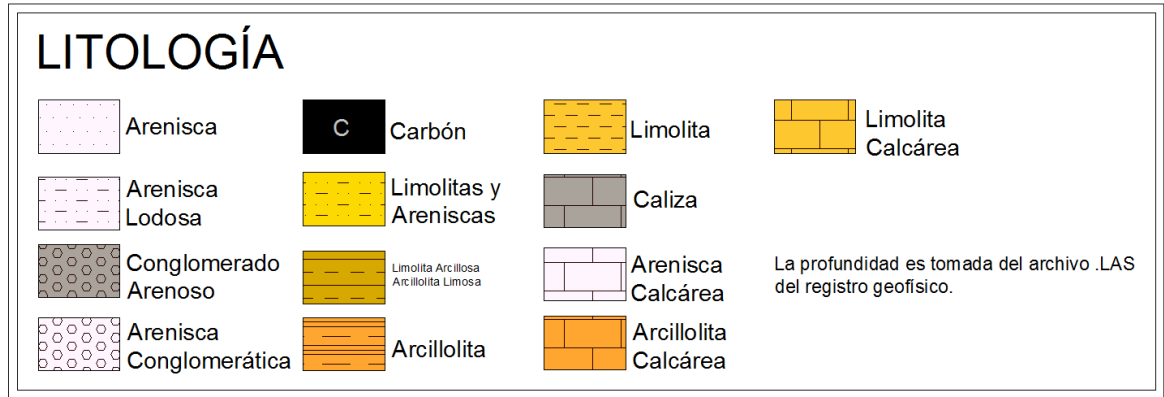
H04-PT-001

Figura 20. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -001 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

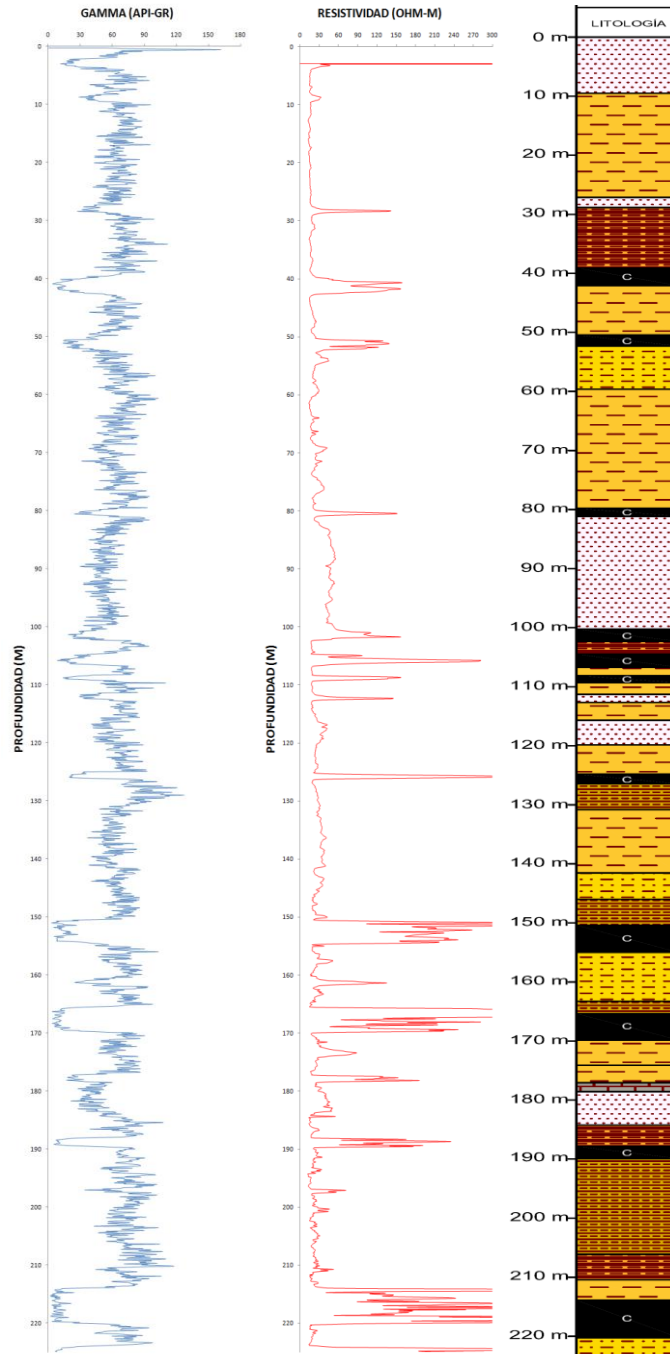
Figura 21. Litología de las secciones estratigráficas



Nota. Figuras 20 a 39

H04-PT-002

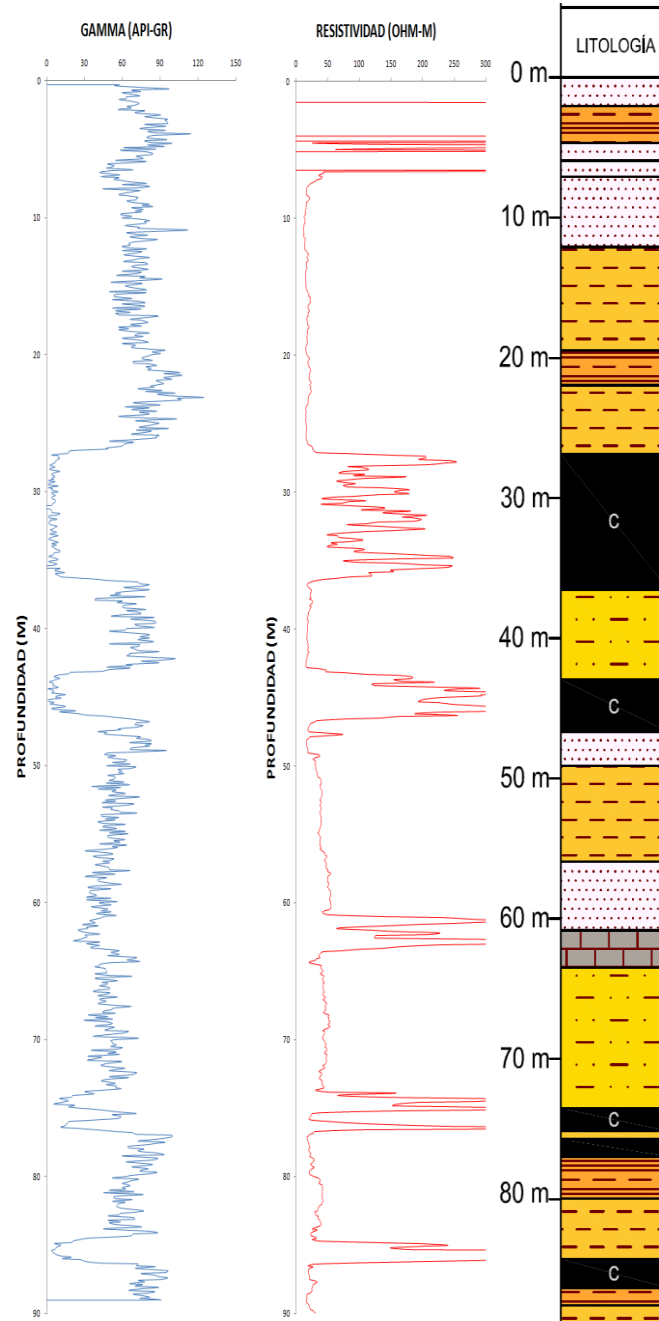
Figura 22. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -002 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-003

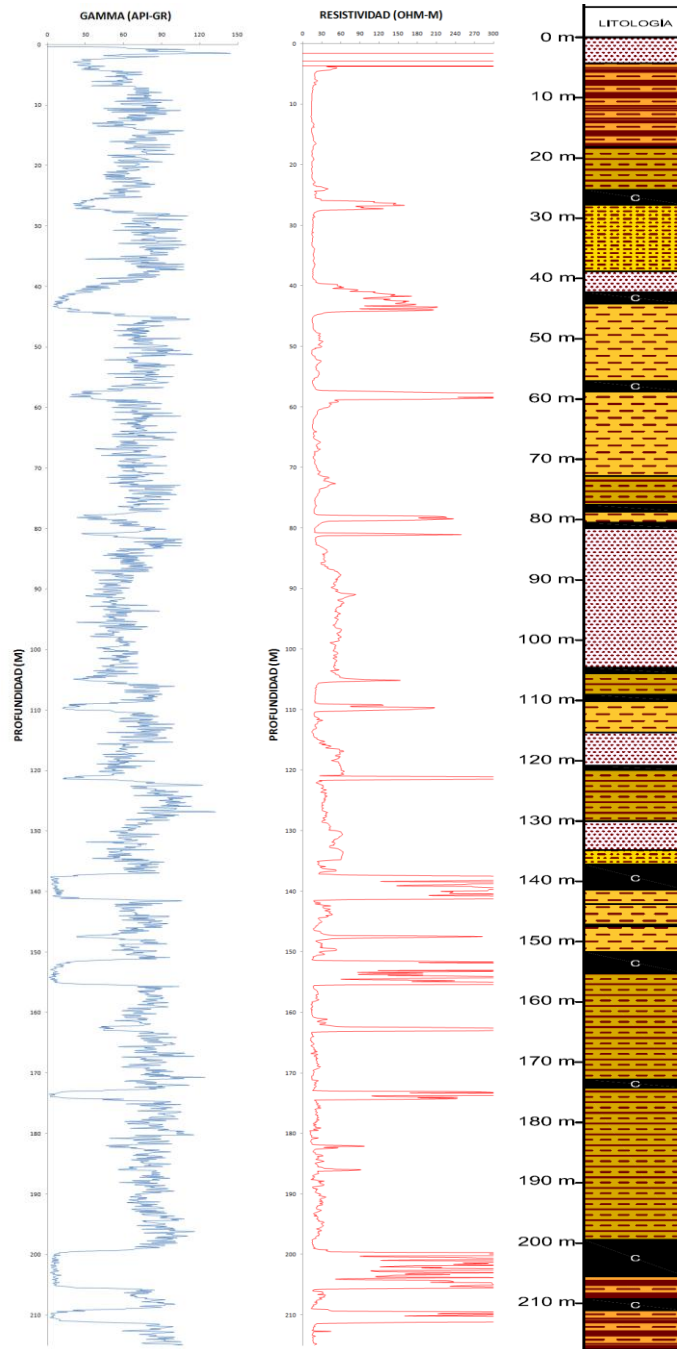
Figura 23. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -003 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-004

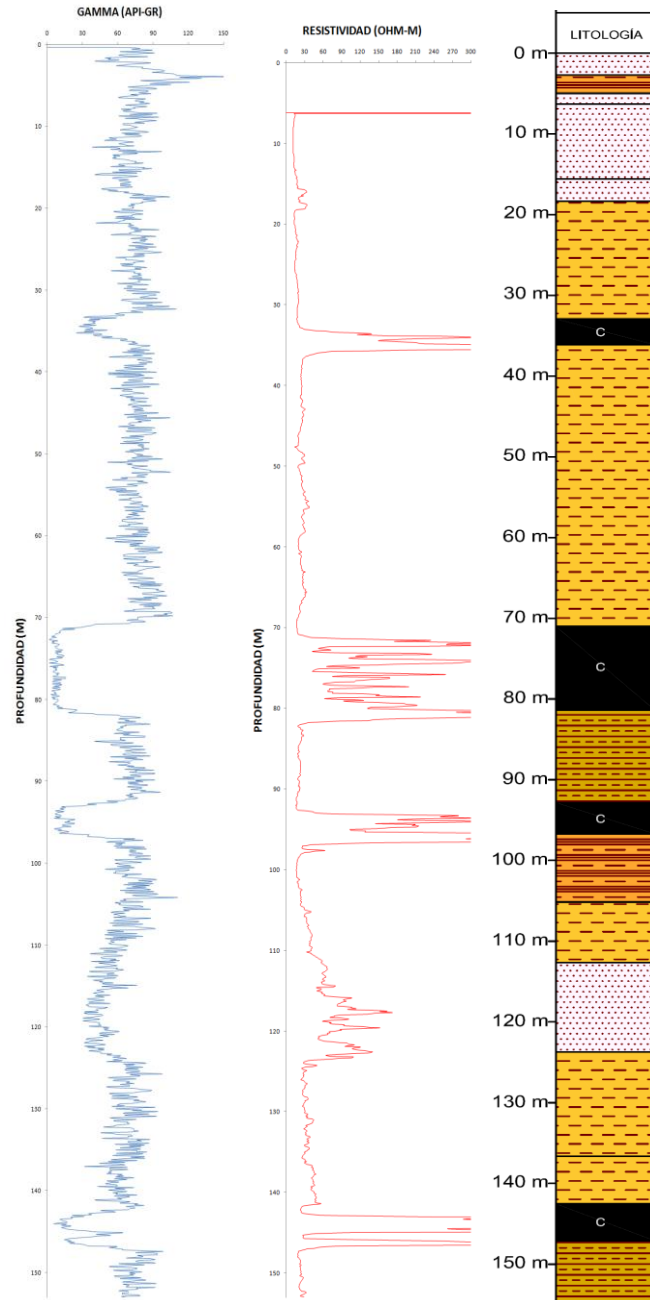
Figura 24. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -004 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-005

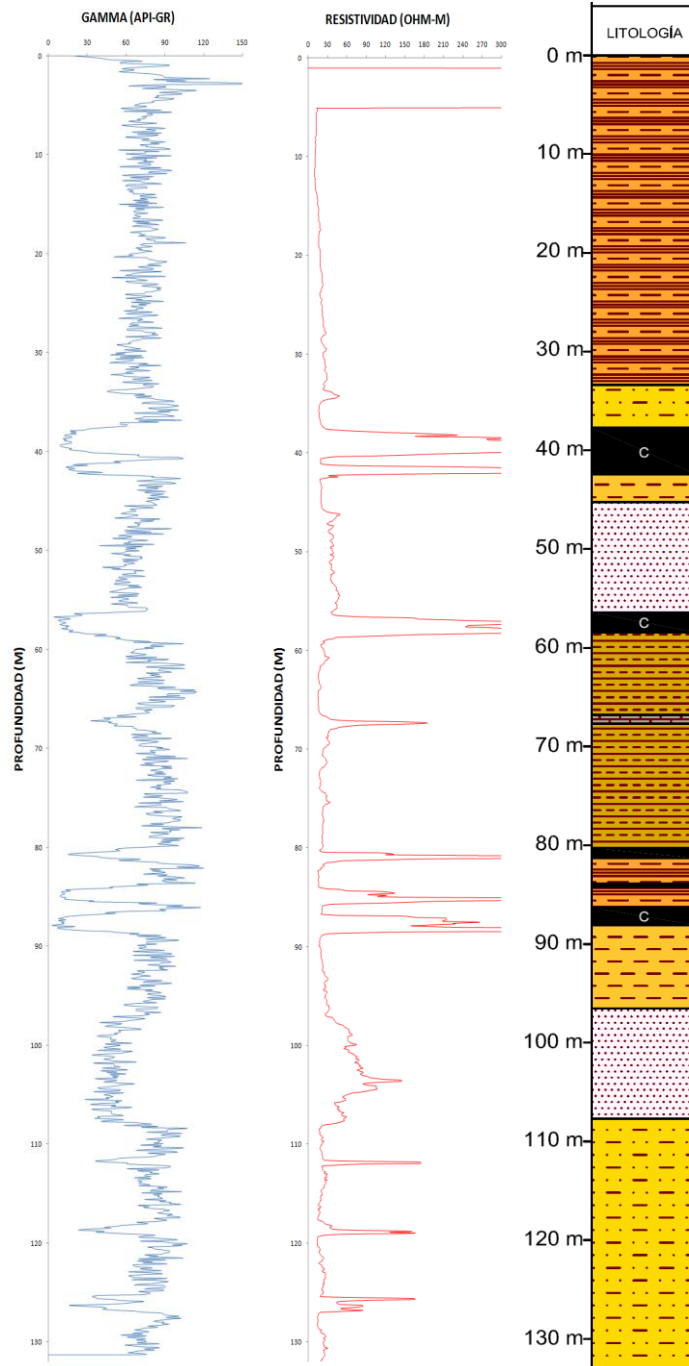
Figura 25. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -005 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-006

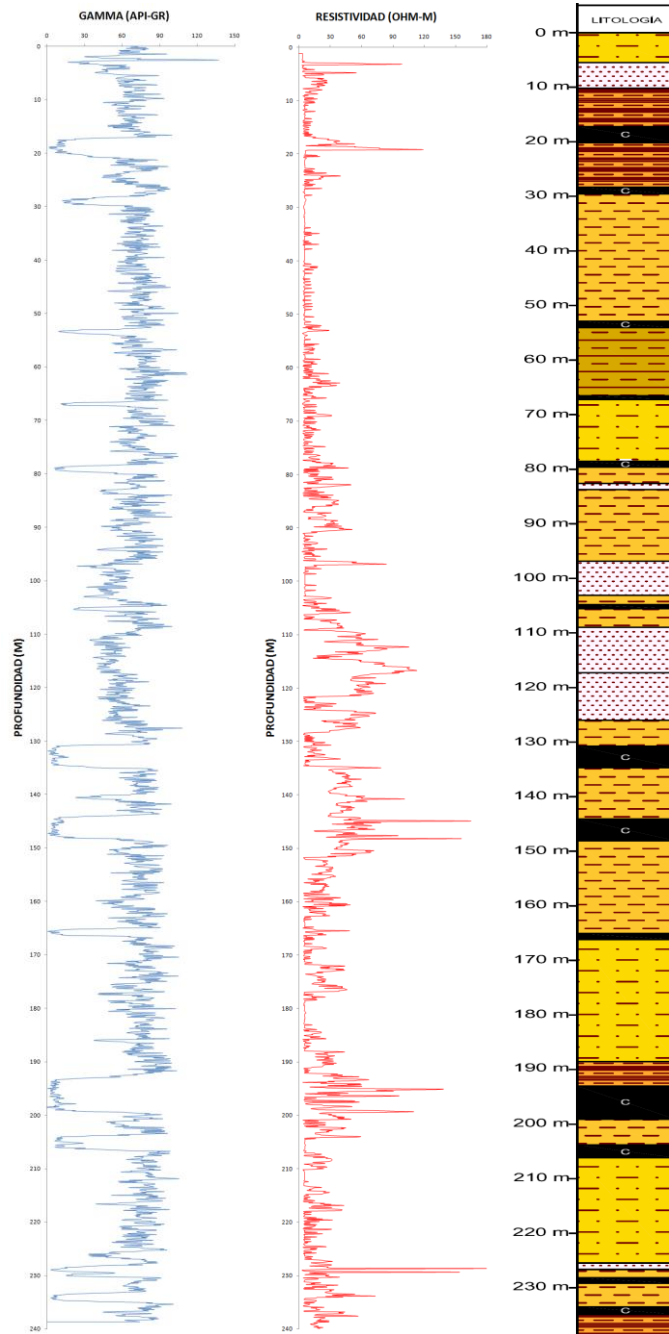
Figura 26. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -006 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-007

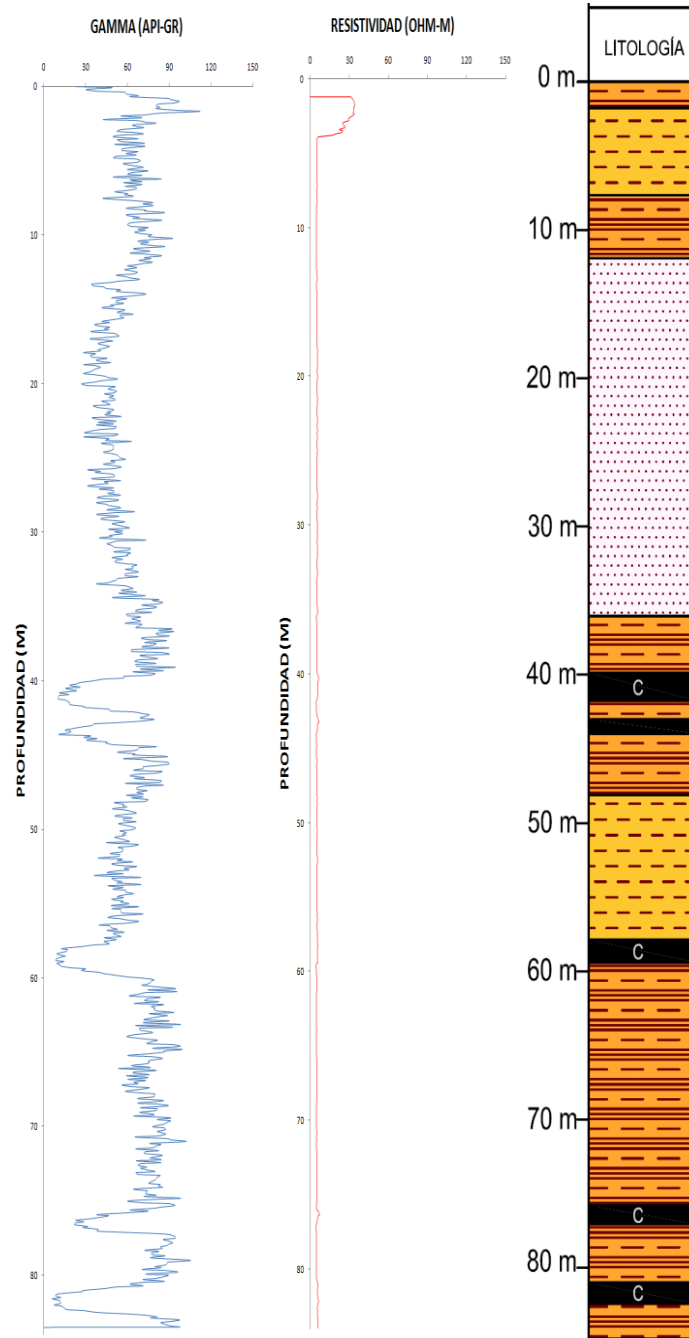
Figura 27. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -007 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-008

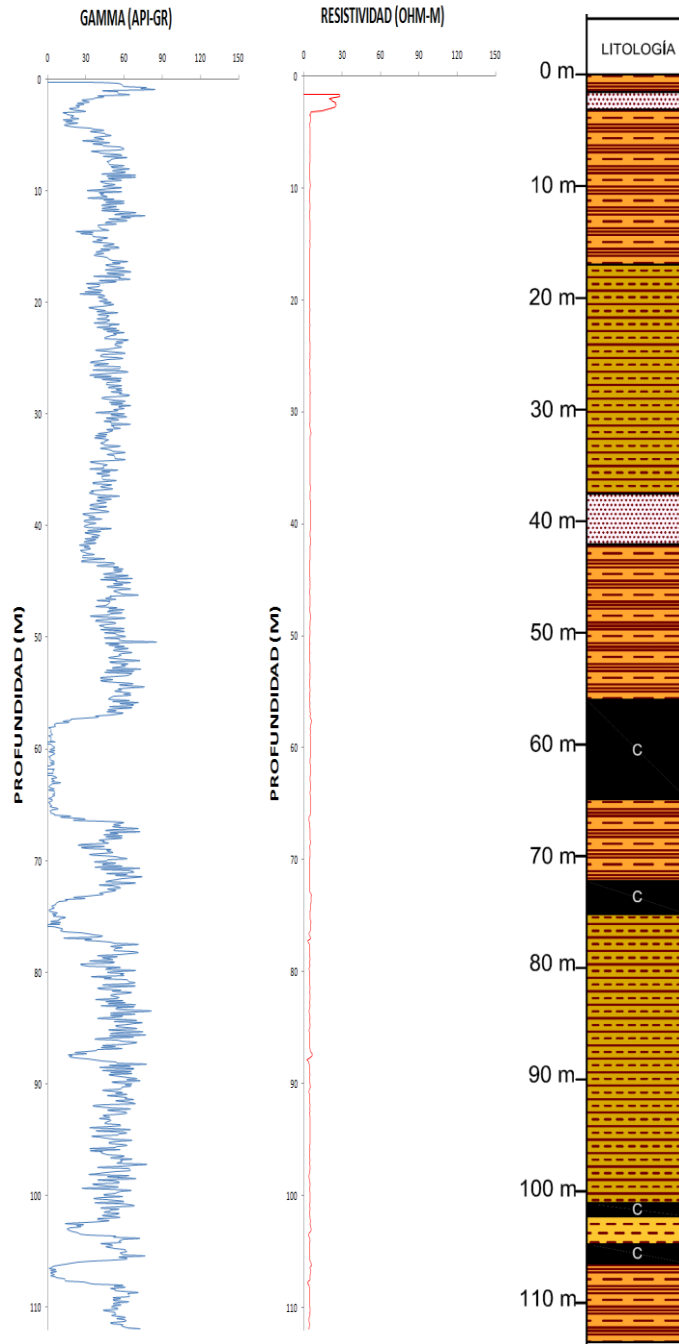
Figura 28. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -008 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-009

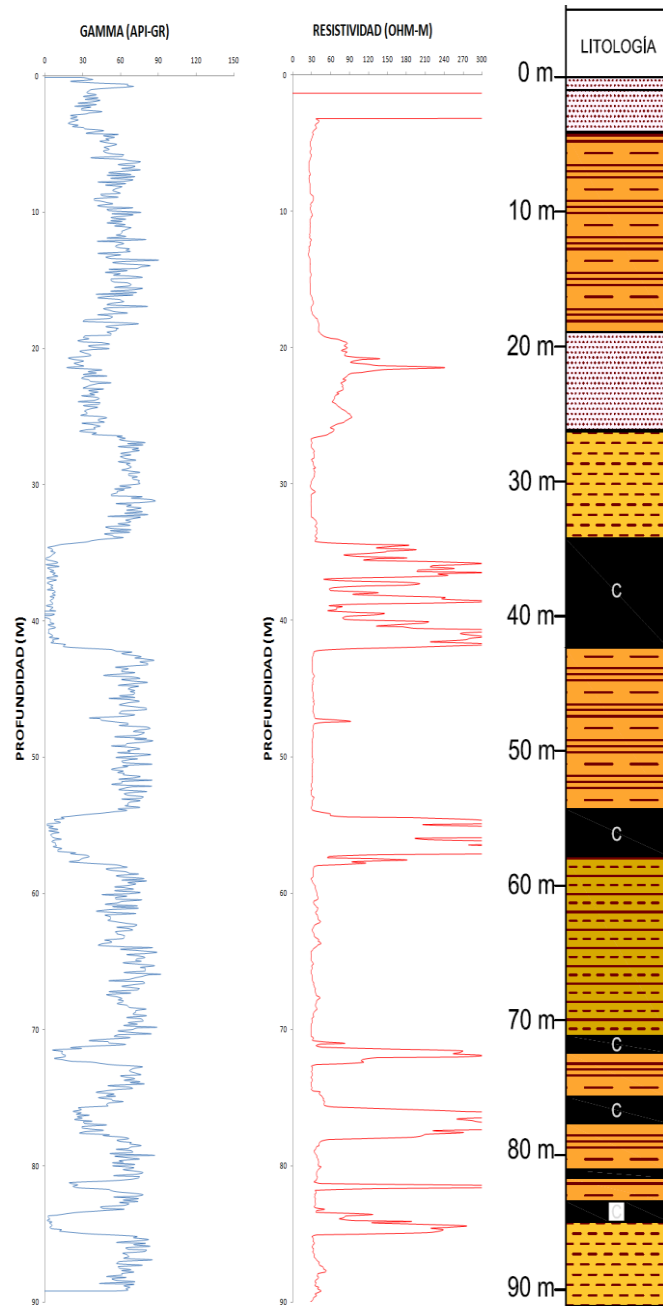
Figura 29. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -009 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota. (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-010

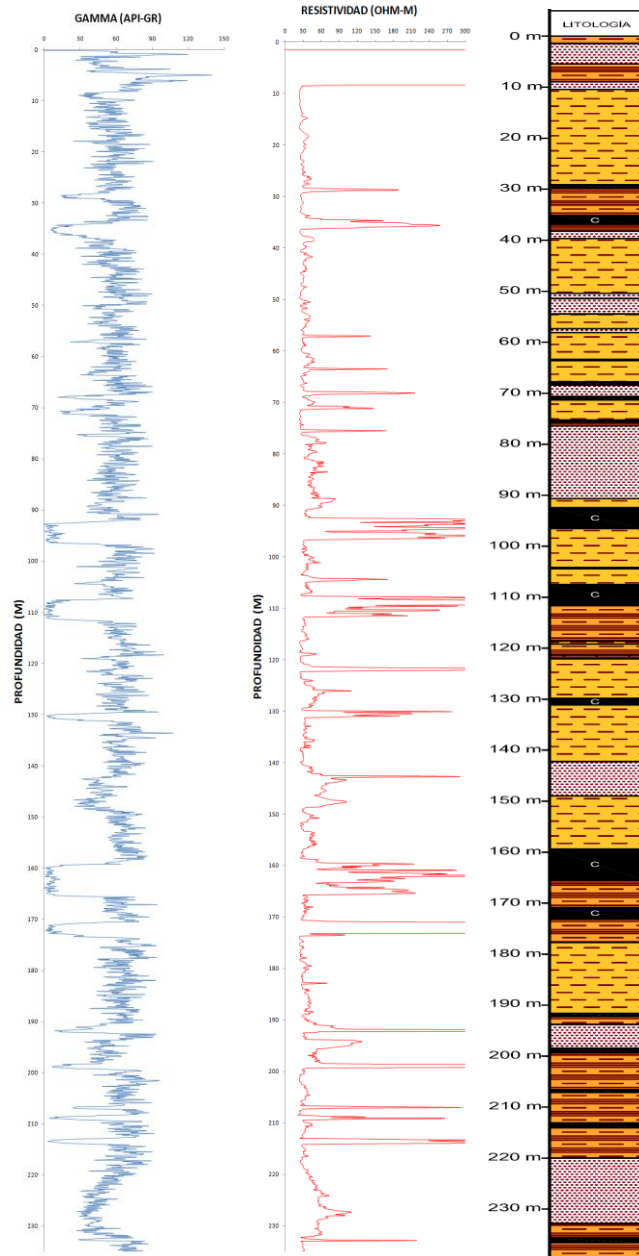
Figura 30. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -010 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-011

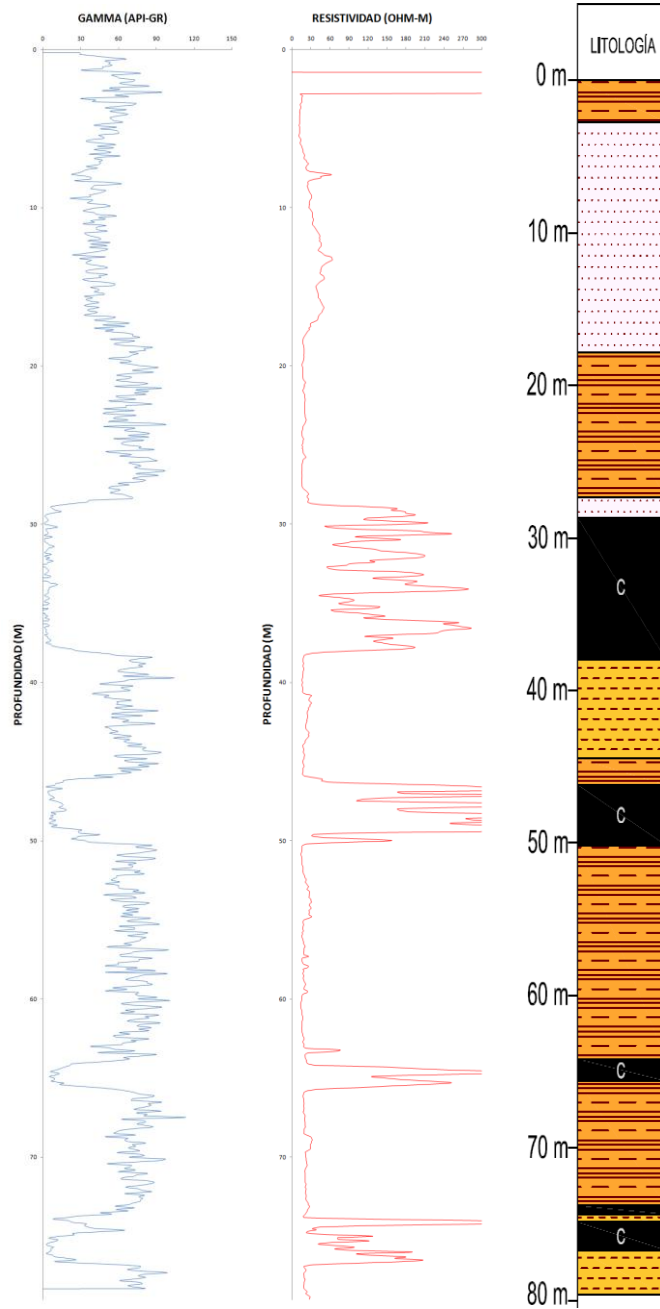
Figura 31. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -011 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-012

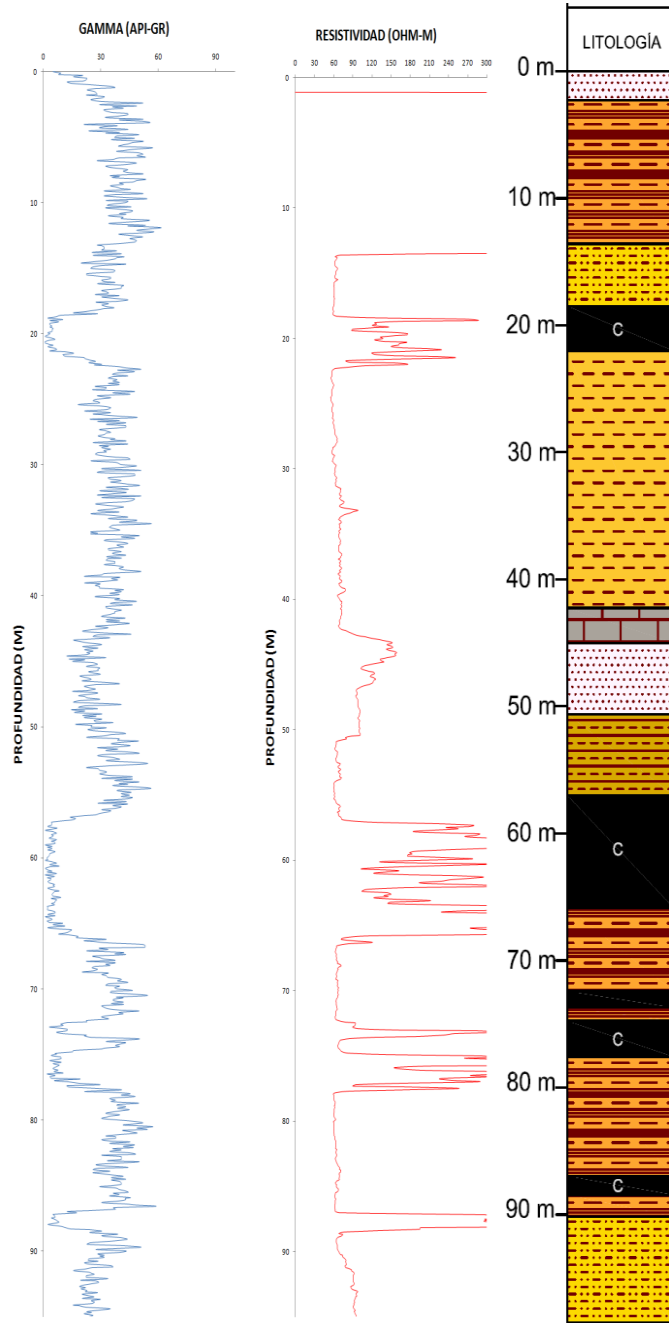
Figura 32. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -012 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-014

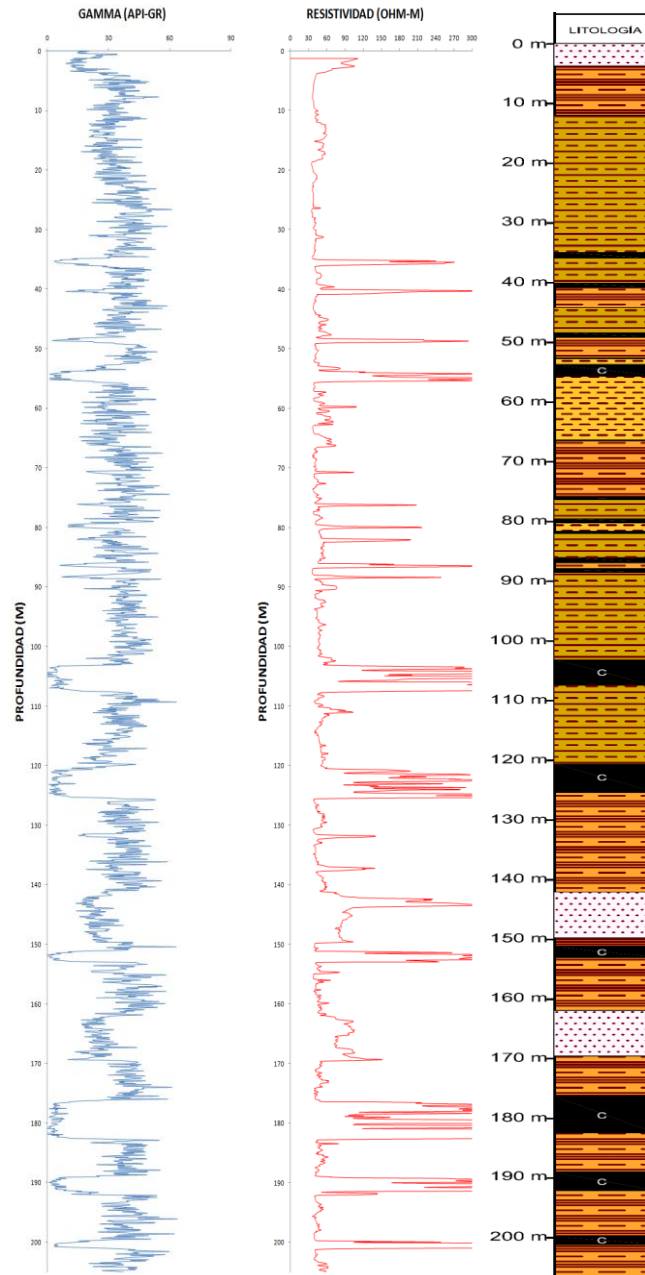
Figura 33. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -014 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-015

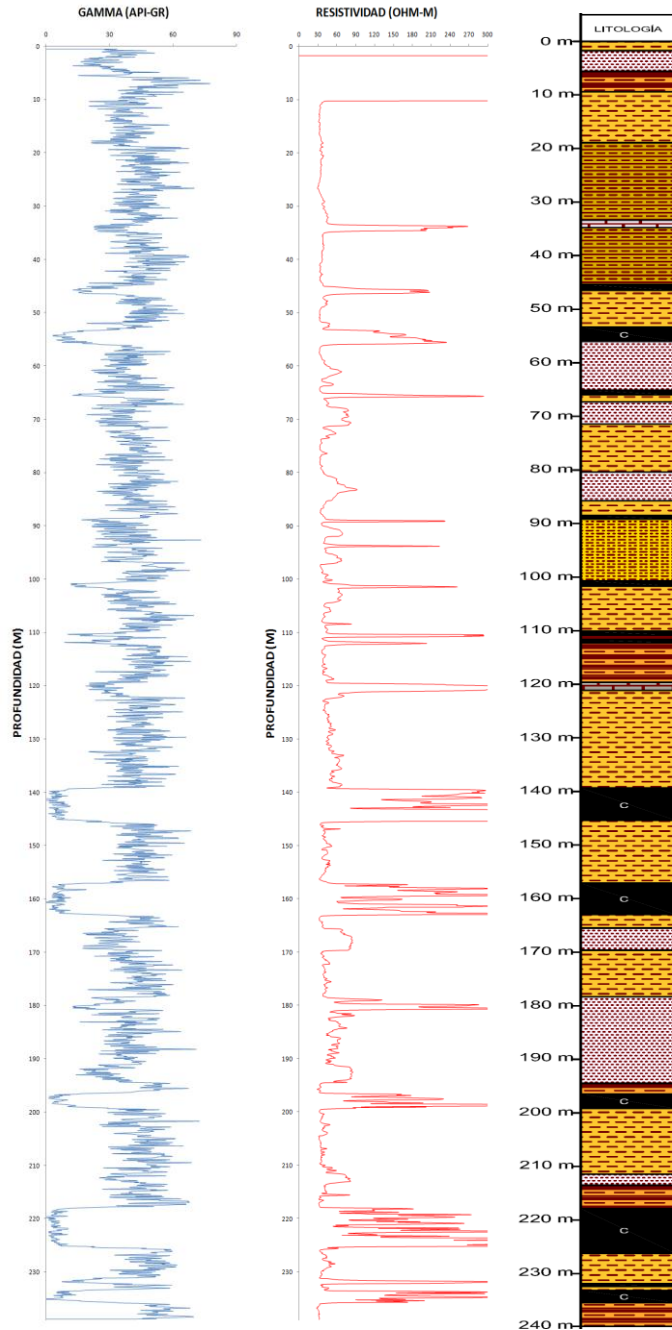
Figura 34. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -015 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-016

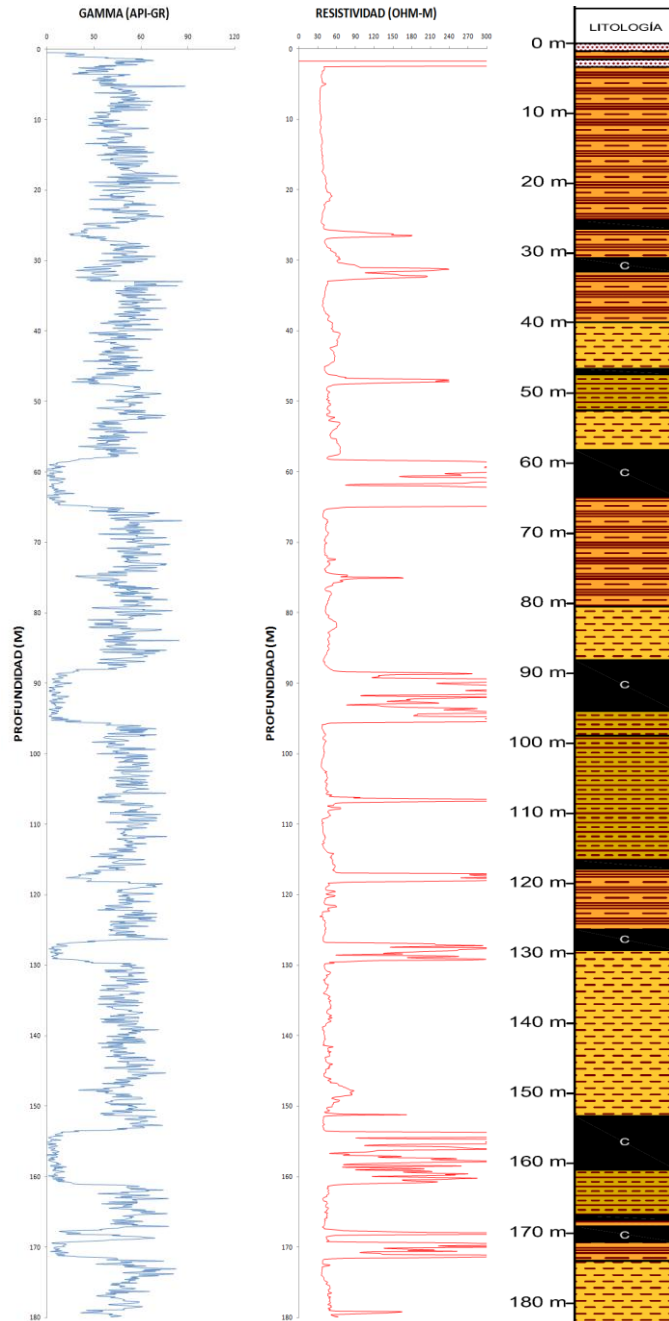
Figura 35. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -016 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-017

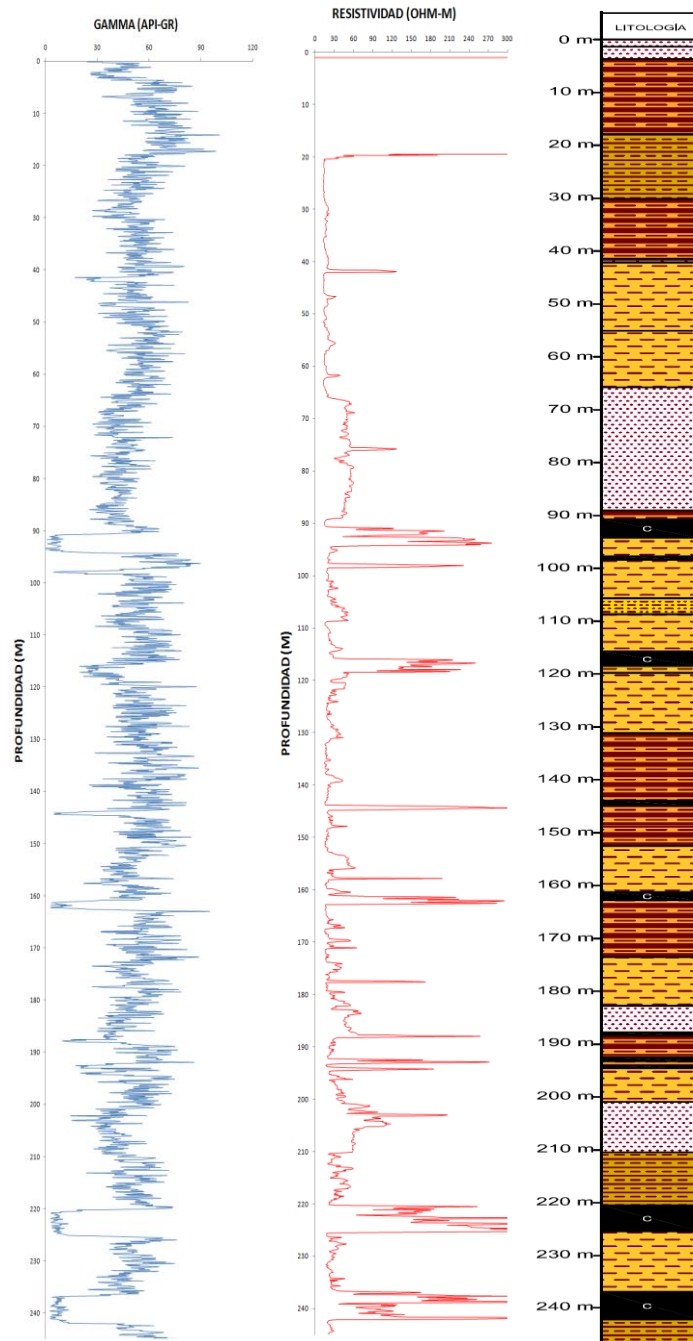
Figura 36. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -017 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-018

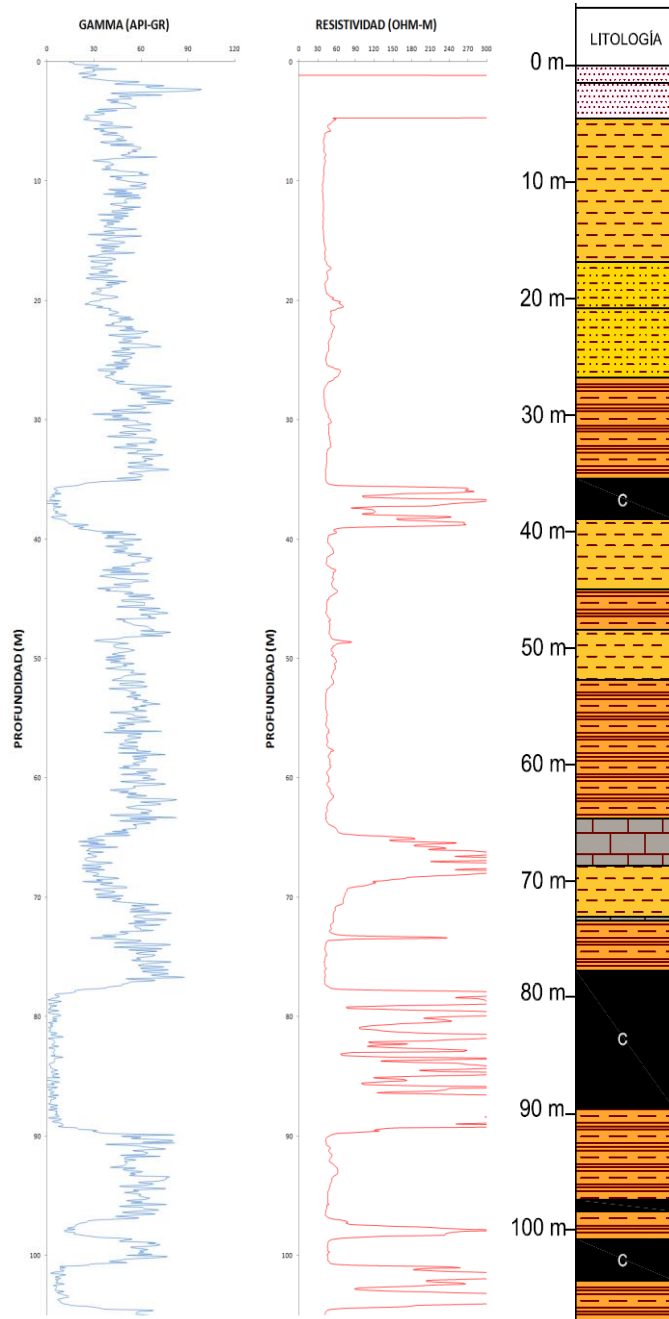
Figura 37. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -018 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-019

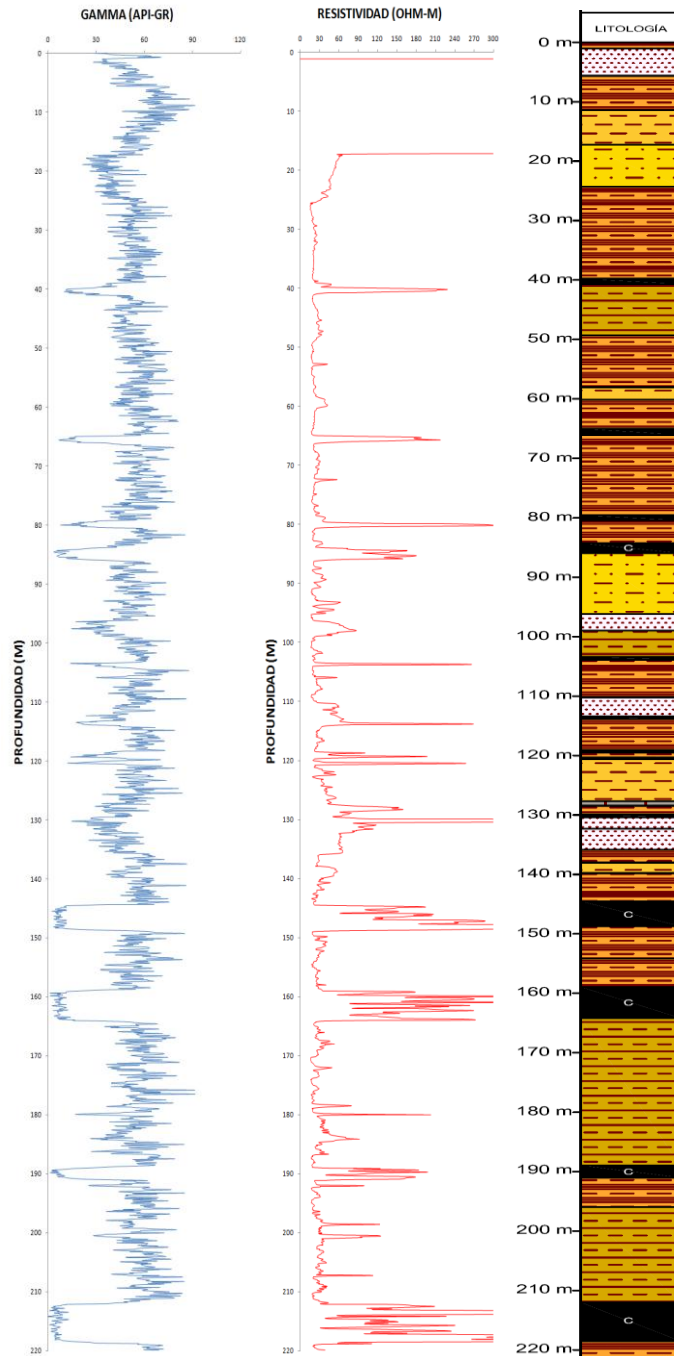
Figura 38. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -019 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

H04-PT-020

Figura 39. Interpretación litológica del Pozo H04-PT -020 a partir de las Curvas Gamma Ray y Resistividad.



Nota: (Espesor aparente. Angulo de buzamiento promedio de 50°)

6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS

El análisis estadístico se llevo a cabo con las curvas Gamma Ray y Resistividad de los registros geofísicos de la campaña de perforación del año 2004, utilizando el Software estadístico Minitab versión 14. Mediante un diagrama de caja y bigotes (Boxplot) se pudo observar el comportamiento de las curvas para los tipos de roca presentes en la Formación Los Cuervos.

Para un conjunto de 10 Pozos de la campaña de perforación del año 2004 se observo un comportamiento similar en las litologías presentes en cada uno de ellos y se corrobora llevando a cabo el mismo ejercicio para 10 Pozos de la campaña de perforación del año 2011 los cuales fueron utilizados como patrón de referencia por su completa información y cercanía con los Pozos interpretados.

Tabla 4. Pozos Analizados campañas 2004 y 2011

Numero	Campaña 2004	Campaña 2011
1	H04-PT-001	H11-01
2	H04-PT-002	H11-02
3	H04-PT-004	H11-07
4	H04-PT-005	H11-10
5	H04-PT-010	H11-13
6	H04-PT-012	H11-15
7	H04-PT-015	H11-18
8	H04-PT-016	H11-19
9	H04-PT-019	H11-20
10	H04-PT-020	H11-21

A continuación se muestra de manera individual el comportamiento de las curvas en diagramas de caja y bogotes, 10 Pozos de la campaña de perforación del año 2004 y 10 de la campaña del año 2011, ver TABLAS 5 a 25 y figuras 40 a .61.

Tabla 5. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-001

H04-PT-001									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	St Dev	Mínimum	Q1	Median	Q3	Máximo
GR (API-GR)	CO ¹	210	7.273	4.865	1.5	3.4	6.8	8.7	34.9
	CS ²	308	74.409	17.51	13.6	66.1	75.45	85.725	106.8
	SL ³	355	57.285	12.428	30.5	49.2	56	64.7	106.8
	SS ⁴	67	53.28	11.01	30.5	46.5	54.3	59.4	79.7
RE (OHM-M)	CO	210	171.26	109.61	44.9	98.6	137.4	179.25	512.9
	CS	308	21.466	14.377	11.9	15.125	18.1	20.1	122
	SL	355	38.934	7.713	15.4	36.1	40.2	44.2	54.5
	SS	67	70.28	20.52	35.9	61	70.8	76.1	182.3

Nota: ¹CO: Carbón; ²CS: Arcillolita; ³SL: Limolita; ⁴SS: Arenisca

Figura 40. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-001

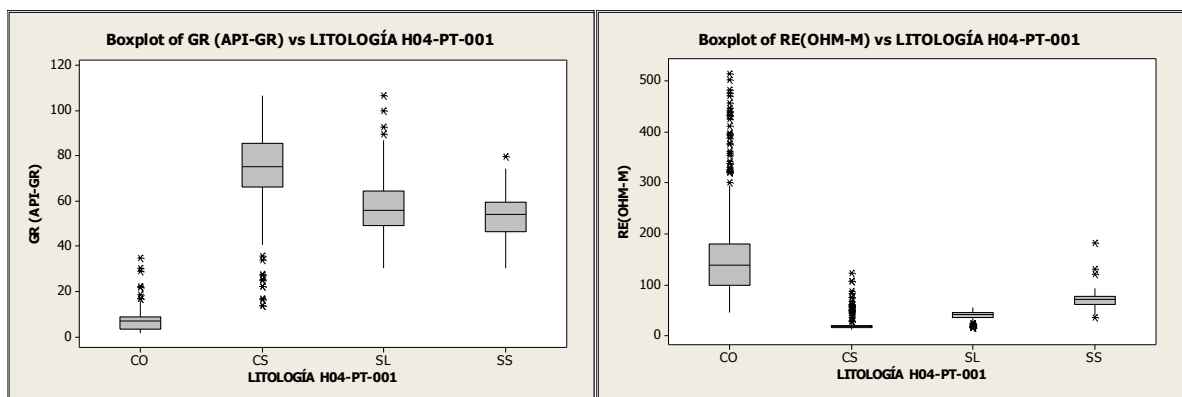


Tabla 6. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-002

H04-PT-002									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	299	22.33	17.57	2.3	8.9	15.8	30.5	91.6
	CS	440	75.348	14.457	31.8	66.1	73.95	84	127.2
	SL	1098	65.147	14.161	5.7	56.7	66.1	75	109.4
	SO	65	55.55	19.27	11.9	43.4	56.5	70.5	94.5
	SS	319	52.673	12.259	21.6	45.1	52.2	59.8	94.5
RE (OHM-M)	CO	299	158.46	114.45	14.9	73.4	133	212.3	563.6
	CS	440	21.77	6.742	12.4	17.3	20.4	24.3	71.5
	SL	1098	27.848	28.516	12.6	17.6	22.65	29.5	443.6
	SO	65	20.271	7.59	14.7	15.3	16.5	23.45	46.8
	SS	319	42.955	15.662	16.6	34.8	43.9	48.2	145.1

Figura 41. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-002

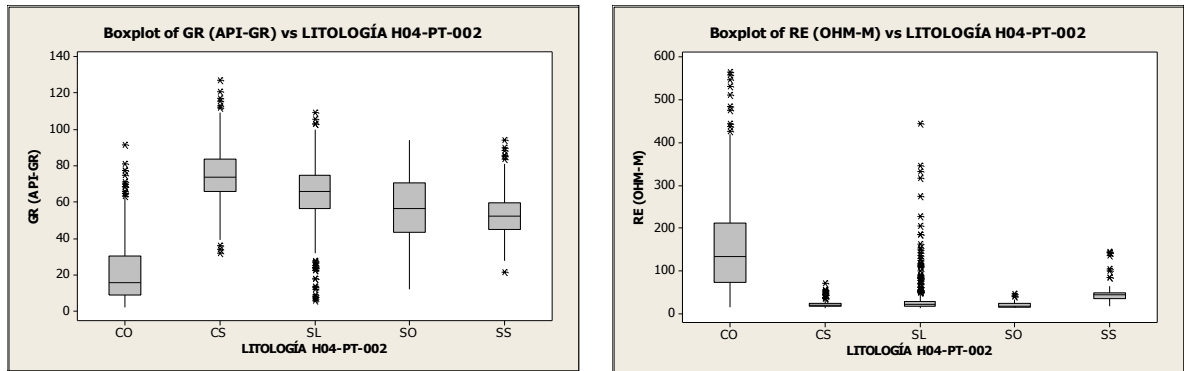


Tabla 7. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-004

H04-PT-004									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	200	19.96	15.77	1.3	6.8	14.7	30.5	69.5
	CS	281	61.81	30.89	2.2	50.05	69.5	82.95	132.3
	SL	1248	76.532	15.008	19.1	67.6	76.3	86.5	116
	SS	369	56.86	15.772	8.7	48.3	57	65.4	105.6
RE (OHM-M)	CO	200	199.97	124.46	18.3	96.78	180.55	294.78	471.7
	CS	281	60.23	93.07	13.4	15.2	17.8	31.95	400.4
	SL	1248	27.089	29.295	11.5	17.1	21.2	27.7	348.4
	SS	369	53.03	19.21	16.5	47.75	53	59.05	171.2

Figura 42. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-004

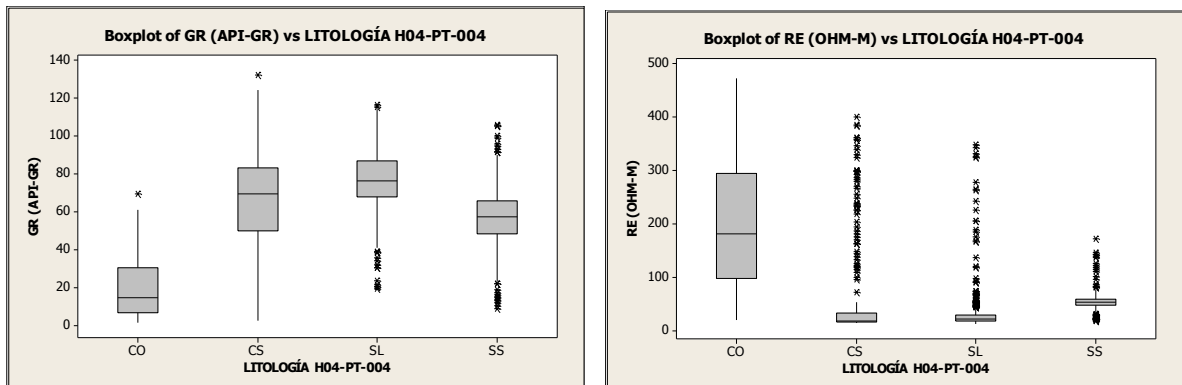


Tabla 8. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-005

H04-PT-005									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	200	17.73	14.54	2	7.9	12.1	23.4	68.2
	CS	92	70.93	10.99	38.4	62.2	70.7	78.78	97.2
	SL	977	72.487	12.556	18.5	65	72.5	81.4	110.2
	SS	198	52.584	12.733	30.5	43.5	50.9	60.2	91.6
RE (OHM-M)	CO	200	201.15	118.59	28.7	103.9	175.2	291.35	486.3
	CS	92	13.218	2.261	11	11.4	12.4	14.35	19.4
	SL	977	25.592	8.214	12.9	19.7	24.3	29.1	86
	SS	198	64.51	31.71	18.2	39.68	59.1	83.53	172.2

Figura 43. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-005

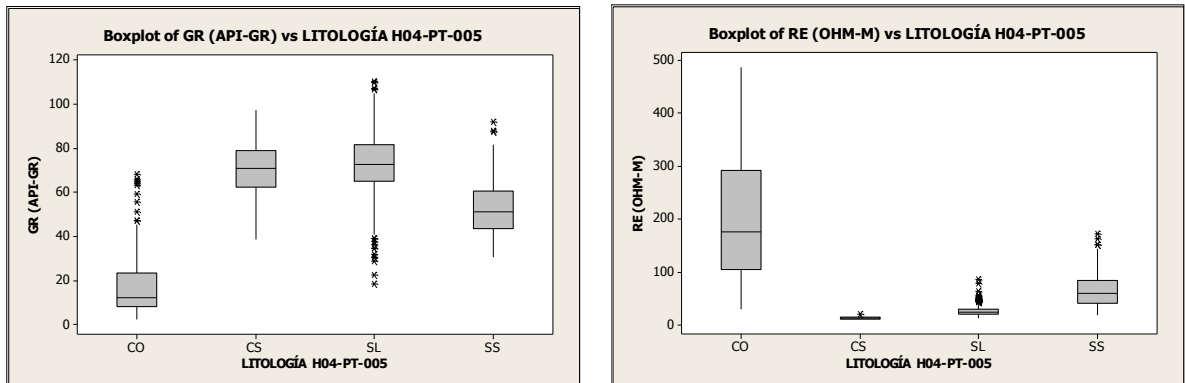


Tabla 9. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-010

H04-PT-010									
Variable	LITOLÓGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	166	12.987	11.789	1	4.575	8.1	20.4	63.8
	CS	434	62.112	11.188	26.8	53.8	62.1	69.8	90.1
	SL	176	64.931	11.136	35.2	57	64.8	73.1	91.6
	SS	82	35.22	8.346	17.4	30.275	34.9	41.6	52.6
RE (OHM-M)	CO	166	209	113.69	33.6	112.05	207.1	282.13	490.8
	CS	434	35.44	26.25	24.5	28.78	30.8	34.33	382.4
	SL	176	36.28	10.503	28.3	31.1	34	38.2	115.8
	SS	82	80.16	31.52	35.5	64.9	79.1	85.93	239.8

Figura 44. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-010

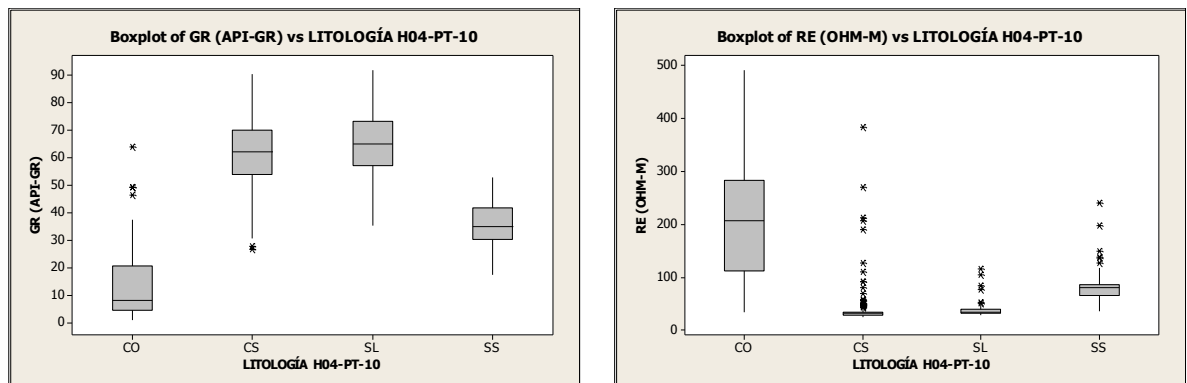


Tabla 10. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-012

H04-PT-012									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	164	9.073	8.869	1.1	3.4	5.75	11.375	45.2
	CS	338	70.766	13.485	16.5	62.275	71.2	80.1	113.2
	SL	87	64.61	15.61	22.9	56	65.1	75.9	104
	SS	162	46.053	11.161	21.5	37.8	44.5	53.4	73.8
RE (OHM-M)	CO	164	174.44	91.69	24.9	105.53	160.75	219.05	438.1
	CS	338	20.328	6.984	13.6	16.8	18.8	21.425	84.1
	SL	87	25.08	19.34	16.1	17.8	20.4	25.2	171.3
	SS	162	30.88	13.87	11.2	17.03	29.2	43.53	63.3

Figura 45. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-012

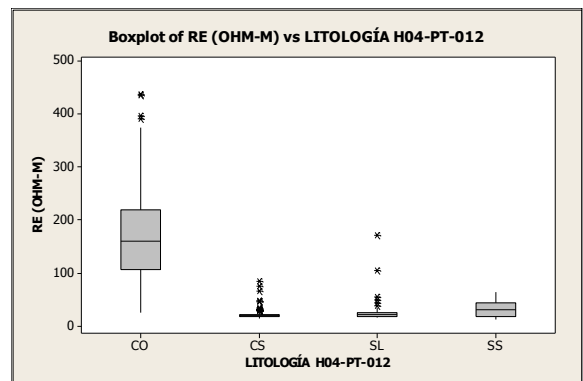
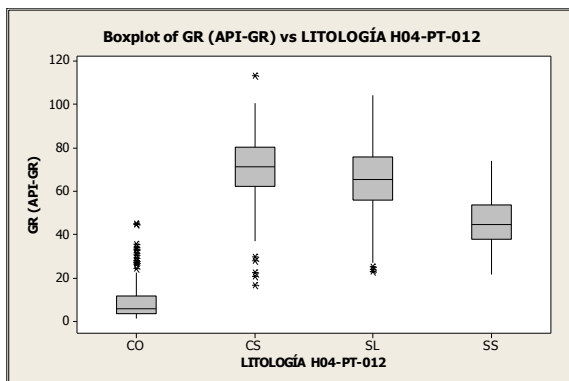


Tabla 11. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-015

H04-PT-015									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	286	8.482	7.421	0.8	3.4	5.7	11.2	46.4
	CS	1179	38.485	8	15.3	33.3	38.4	44.1	63.8
	SL	411	32.848	8.196	12.2	27.1	31.8	38.4	63.3
	SS	171	22.984	6.006	9	19.2	22.4	27.1	43.8
RE (OHM-M)	CO	286	246.05	128.52	37.5	137.78	236.65	327.18	623.1
	CS	1179	46.923	16.717	34.9	40.2	43.3	49.1	355.9
	SL	411	52.362	9.947	35.3	46.8	51.4	56.4	108.8
	SS	171	101.57	44.84	56.9	80.5	91.6	101	335.8

Figura 46. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-015

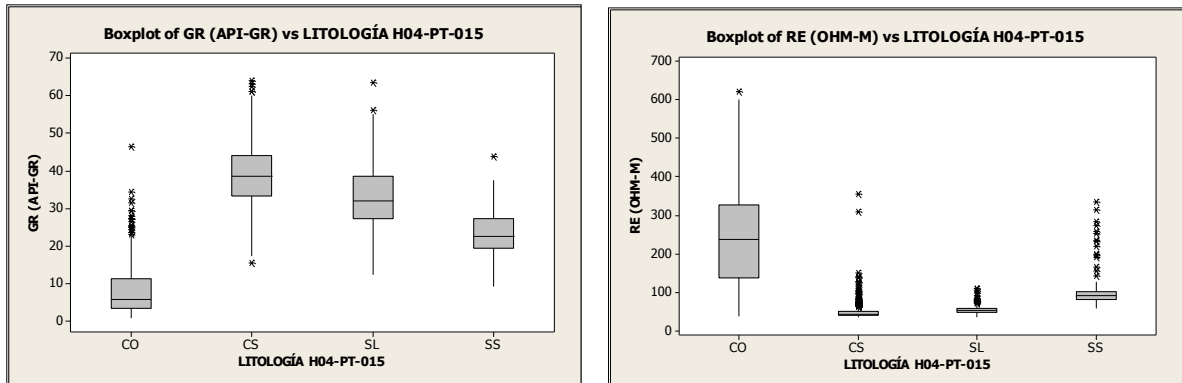


Tabla 12. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-016

H04-PT-16									
Variable	LITOLÓGIA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	317	9.454	7.127	1.3	4.4	7.3	12.45	40.7
	CS	178	47.548	10.225	20.4	40.7	48	53.825	69.7
	SL	1342	43.704	9.421	16	37.3	43.6	49.925	72.9
	LS	16	27.11	5.24	18.9	21.8	27.6	31.33	36.3
RE (OHM-M)	CO	317	202.9	99.8	36.1	127.8	188.6	263.4	494.8
	CS	178	39.028	9.258	27.6	32.6	37.75	41.225	90.3
	SL	1342	42.252	11.031	29.5	35.1	39.2	45.4	223.2
	LS	16	278.8	77.6	114.8	231.1	297.3	333.5	373.7
	SS	426	69.61	43.07	31.8	48.05	61.25	77.8	359.7

Figura 47. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-016

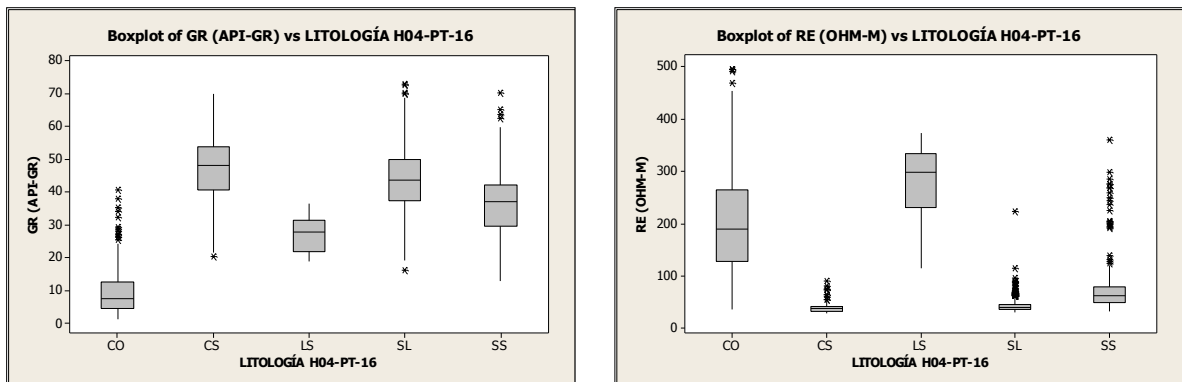


Tabla 13. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-019

H04-PT-019									
Va Variable	LITOLÓGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	199	7.565	6.77	1	3.4	5.7	9	47.8
	CS	405	58.216	11.306	21.5	50.9	58.5	65.7	90.8
	SL	366	46.425	10.532	20.4	38.7	45.8	53.7	78.9
	LS	45	31.96	7.53	20.4	26.2	31.7	36.4	53.1
RE (OHM-M)	CO	199	250.24	130.29	44.2	156.2	238.3	317.6	818.7
	CS	405	47.753	9.685	40	43.3	45.6	49.25	131.3
	SL	366	50.282	11.314	37.7	41.7	48.75	55.05	122.7
	LS	45	229.4	82.6	58.1	170.9	234.7	302.2	366.4

Figura 48. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-019

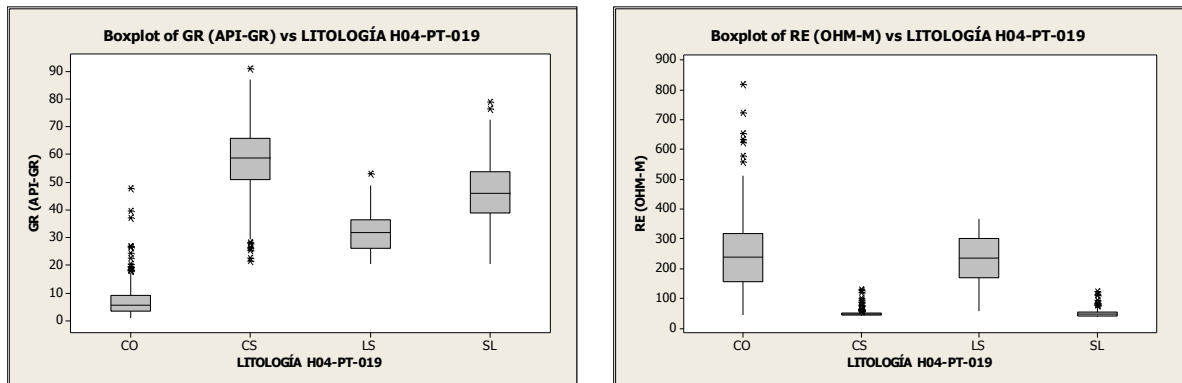


Tabla 14. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H04-PT-020

H04-PT-020									
Variable	LITOLÓGIA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	242	10.612	8.118	1.1	5.5	7.9	12.625	48.6
	CS	1036	56.013	11.235	11.4	49.7	56	63.3	87.8
	SL	627	51.462	11.544	13.2	43.8	50.9	58.8	91.6
	LS	9	43.22	11.29	29.3	34.7	39.4	54.85	62.3
	SS	114	40.683	10.24	14.7	33.1	41.75	46.575	66.7
RE (OHM-M)	CO	242	183.88	96.72	31.3	114.05	163.85	231.18	505.9
	CS	1036	26.675	11.434	15.6	20.4	23.85	29.275	124.7
	SL	627	34.385	17.239	16.3	22.7	29.5	42.4	202.6
	LS	9	136.1	22.59	88.1	120.1	145	151.95	159.6
	SS	114	63.79	18.53	19.3	56.83	61.5	67.5	117.8

Figura 49. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H04-PT-020

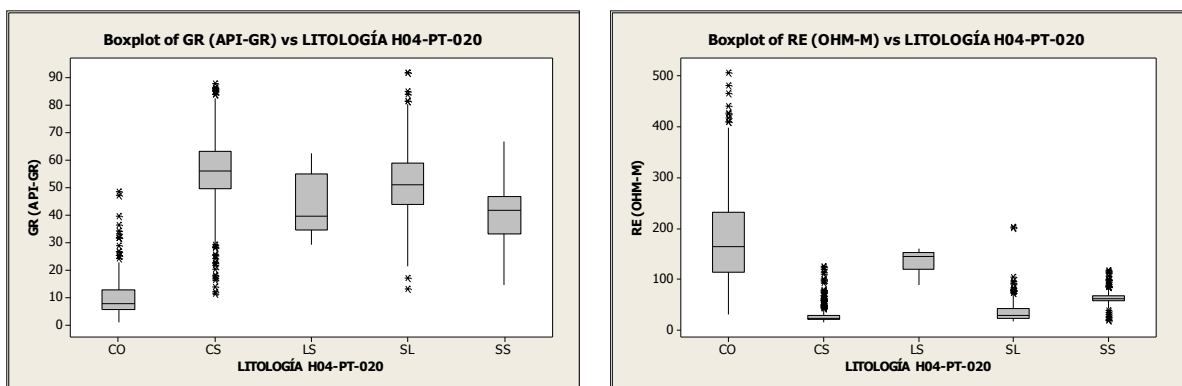
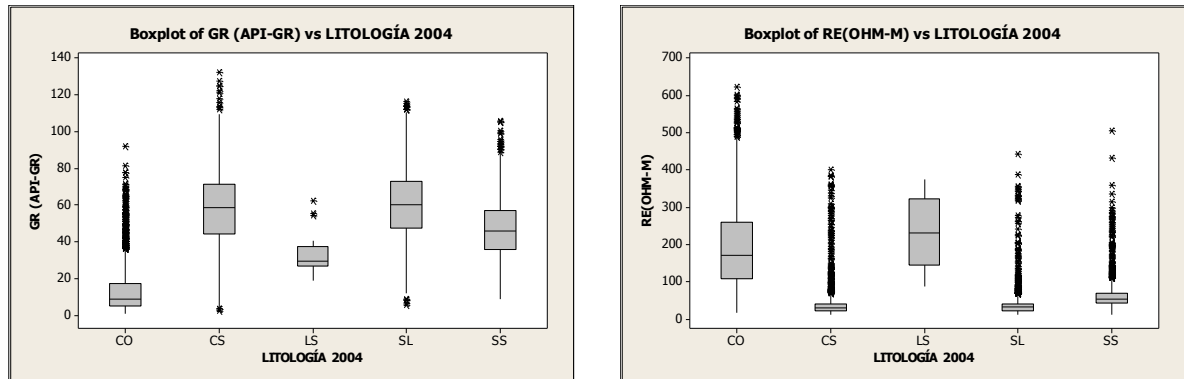


Tabla 15. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en los Pozos del año 2004

H04-PT-2004									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	2545	13.384	12.898	0.8	5.1	8.7	17.4	91.6
	CS	4950	58.15	19.068	2.2	44.1	58.5	71.2	132.3
	LS	25	32.91	11.05	18.9	26.9	29.3	37.25	62.3
	SL	7772	60.363	17.726	5.7	47.5	59.9	72.9	116
	SS	2451	46.205	15.169	8.7	35.6	45.8	56.7	105.6
RE (OHM-M)	CO	2545	192.8	114.43	14.9	108.1	169.3	260.8	623.1
	CS	4950	33.781	29.223	11	20.2	28.5	39.8	400.4
	LS	25	227.4	93.9	88.1	145.3	230.2	322.2	373.7
	SL	7772	33.692	21.743	11.5	22.1	31.1	40.2	443.6
	SS	2451	60.263	35.282	11.2	42.3	53.7	69.4	505.8

Figura 50. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología (Resumen) para los Pozos del año 2004



Los diagramas presentados anteriormente muestran una tendencia en cada una de las litologías presentes en los Pozos analizados.

La Formación Los Cuervos, como ya se mencionó anteriormente, está constituida principalmente por arcillolitas, limolitas, en menor proporción areniscas medianamente cementadas, mantos de carbón y algunos niveles calcáreos.

Los Pozos perforados cruzan las litologías presentes y los registros geofísico tomados de cada uno de ellos, muestra características específicas según el tipo de roca.

Con los análisis estadísticos realizados se pudo establecer los rangos de las curvas Gamma Ray y Resistividad en los cuales se mueven dichas curvas para un tipo de roca determinado.

El registro Gamma Ray se utiliza para determinar la presencia de minerales arcillosos presentes en la roca; siendo así, para el depósito El Hatillo, la litología con los valores mas bajos en la curva Gamma Ray corresponde a los carbones, seguido de las areniscas, las limolitas y en último lugar con los valores más altos las arcillolitas.

Es importante resaltar que algunas areniscas presentan altos valores en la curva Gamma Ray debido a la presencia de matriz arcillosa.

Los niveles calcáreos encontrados, tienen valores medios en la curva Gamma Ray, igualmente que los suelos arenosos conglomeráticos.

Por otra parte el registro de resistividad, que se comporta de manera inversa al registro Gamma Ray, indica a los carbones como el tipo de litología mas resistivo a la corriente. Las calizas también muestran un comportamiento similar lo cual indica que esta litología es altamente resistiva. Las areniscas con un comportamiento medio permiten el paso de la corriente lo cual las hace mas conductoras.

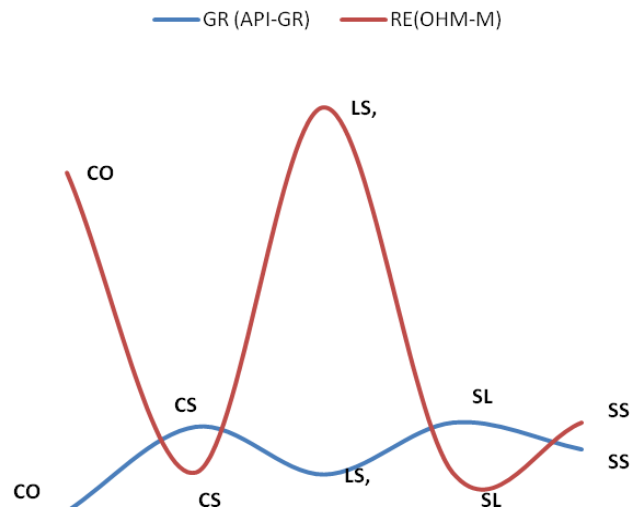
Las limolitas tienen un grado de resistividad de medio a bajo, debido al tamaño de grano, la presencia en algunos casos de minerales arcillosos y la buena compactación que presentan en el yacimiento El Hatillo.

Las arcillolitas y las areniscas con matriz arcillosa, son el tipo de roca menos resistivo, los minerales arcillosos permiten el flujo de la corriente, reflejado en los bajos valores de resistividad que se muestran en las curvas.

La densidad, la cual no fue tomada en cuenta para las estadísticas realizadas, es importante en la identificación de los carbones, para las demás litologías no es muy representativa y es muy variable en todas las demás litologías del yacimiento. En la figura 45 se observa el comportamiento inverso de las curvas Gamma Ray y Resistividad para cada una de las litologías presentes en el yacimiento El Hatillo.

- **CO:** Carbón
- **CS:** Arcillolita
- **LS:** Caliza
- **SL:** Limolita
- **SS:** Arenisca

Figura 51. Curvas Gamma Ray y Resistividad y litología para los Pozos del año 2004.



Análisis estadístico para los registros Gamma Ray y Resistividad de la campaña de perforación del año 2011

Ahora veremos cómo es el comportamiento de las litologías presentes en los Pozos perforados el año 2011. Estos Pozos se utilizaron como patrón de referencia y garantizan la litología presente por medio de núcleos, columnas, fotos y registros geofísicos.

Tabla 16. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-01

H11-01									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	1610	55.28	48.98	3.07	12.08	30.72	107.96	163.37
	CS	8673	116.8	29.39	2.89	110.17	122.79	133.77	181.53
	LS	130	94.82	35.17	46.82	55.85	98.21	125.21	153.04
	SL	745	123.94	12.29	92.63	115.48	122.23	132.1	161.23
	SS	790	107.14	14.98	66.09	97.75	105.84	117.41	143.73
FE	CO	1610	38.826	38.379	2.134	9.287	31.358	50.737	230.675

H11-01									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
(OHM-M)									
	CS	8673	9.125	21.846	1.263	5.029	6.347	8.421	939.325
	LS	130	71.17	59.93	9.87	13.01	60.04	121.52	173.72
	SL	745	8.8163	2.3367	3.48	7.9765	9.1	10.0285	14.428
	SS	790	17.453	5.528	2.99	15.692	16.758	18.072	39.3

Figura 52. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-01

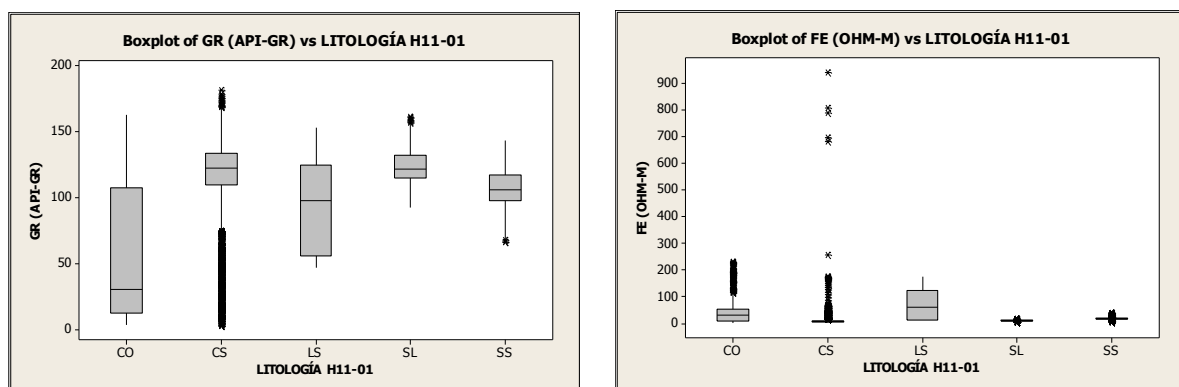


Tabla 17. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-02

H11-02									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	3855	26.319	38.067	0	2.916	7.334	31.104	153.223
	CS	12413	119.58	22.14	4.51	109.22	122.3	133.52	184.68
	LS	390	75.28	20.66	49.22	59.93	68.57	86.42	137.23
	SL	3215	116.22	20.17	54.52	106.13	117.35	130.07	164.18
	SS	2535	99.636	17.943	22.179	89.866	99.586	109.659	149.423
FE (OHM-M)	CO	3855	250.76	154.47	14.01	134.08	232.99	354.93	770.83
	CS	12413	48.311	49.648	14.208	30.677	39.839	49.799	589.931
	LS	390	239.06	151.11	33.88	109.67	173.07	403.65	504.4
	SL	3215	62.36	69.26	14.69	29.44	40.13	57.6	505.42
	SS	2535	73.435	26.17	18.699	58.925	73.084	82.28	252.349

Figura 53. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-02

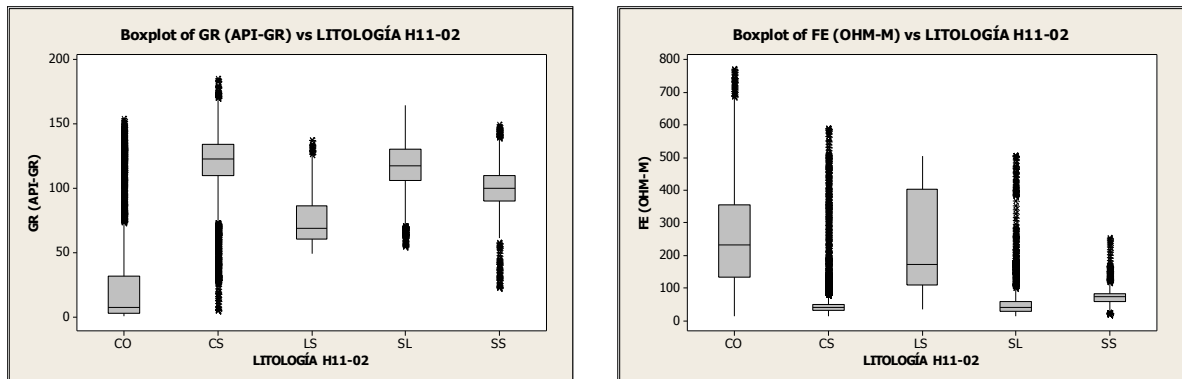


Tabla 18. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-07

H11-07									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	3540	15.249	25.936	0	2.721	5.26	12.697	151.997
	CS	10132	126.99	22.74	10.16	116.08	128.78	141.3	189.73
	LS	345	76.2	23.63	30.47	62.21	73.82	90.69	132.41
	SL	1795	117.74	21.02	16.69	108.74	120.26	130.59	157.17
	SS	4165	96.182	20.87	18.32	83.798	96.857	108.194	172.13
FE (OHM-M)	CO	3540	181.11	115.59	5.53	97.61	175.42	245.17	881.2
	CS	10132	14.066	35.636	1.665	4.89	8.986	13.795	734.802
	LS	345	108.96	54.84	13.29	55.62	124.86	159.99	185.85
	SL	1795	15.416	14.705	3.264	10.575	13.822	17.983	274.474
	SS	4165	31.292	28.173	2.605	17.583	26.088	35.72	288.736

Figura 54. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-07

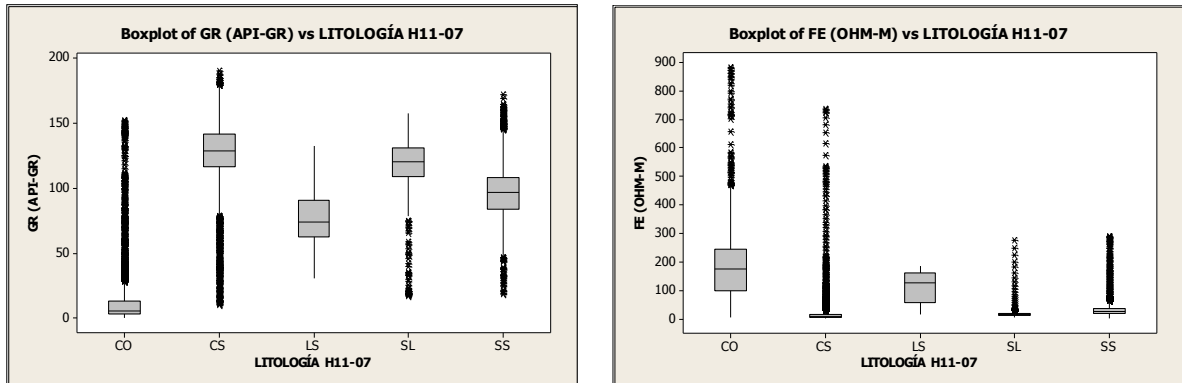


Tabla 19. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-10

H11-10									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	2744	27.876	44.403	0	3.345	6.778	24.847	179.322
	CS	7188	127.03	26.52	4.23	118.49	130.99	142	192.26
	SL	5383	122.88	28.71	2.64	113.39	129.58	141.38	182.05
	SS	4092	111.04	27.16	34.24	93.84	113.65	130.64	183.02
FE (OHM-M)	CO	2744	150.69	104.23	8.83	77.08	146.52	210.01	999.1
	CS	7188	29.159	50.036	0	12.746	18.01	28.416	981.226
	SL	5383	33.938	67.779	0	18.023	23.343	28.95	996.028
	SS	4092	63.95	81.39	11.43	26.67	36.88	53.02	521.37

Figura 55. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-10

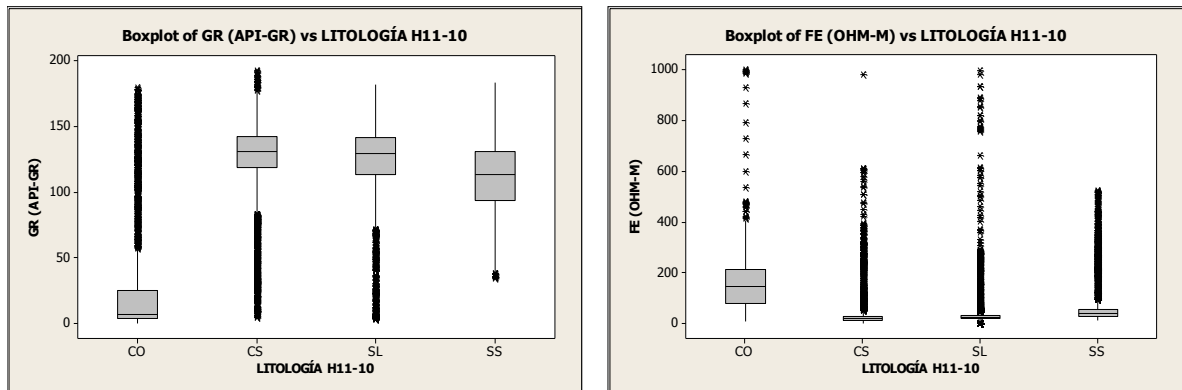


Tabla 20. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-13

H11-13									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	3374	22.799	39.868	0	2.586	5.344	14.653	161.097
	CS	10206	125.09	27.35	0.862	114.04	129.38	142.13	201.61
	LS	415	77.27	24.09	37.67	59.82	69.56	86.28	134.29
	SL	2031	118.07	16.52	51.8	108.09	117.31	129.46	163.34
	SS	1520	90.074	21.739	42.063	71.886	87.832	107.57	159.373
FE (OHM-M)	CO	3374	291.81	226	2.32	104.83	255.51	431.56	994.65
	CS	10206	27.294	60.051	0.036	10.109	20.021	27.36	990.789
	LS	415	46.7	48.36	3.07	10.39	27.16	71.1	198.97
	SL	2031	27.533	12.426	0.026	17.668	27.042	35.896	92.878
	SS	1520	62.846	29.213	13.571	40.775	54.926	81.387	161.583

Figura 56. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-13

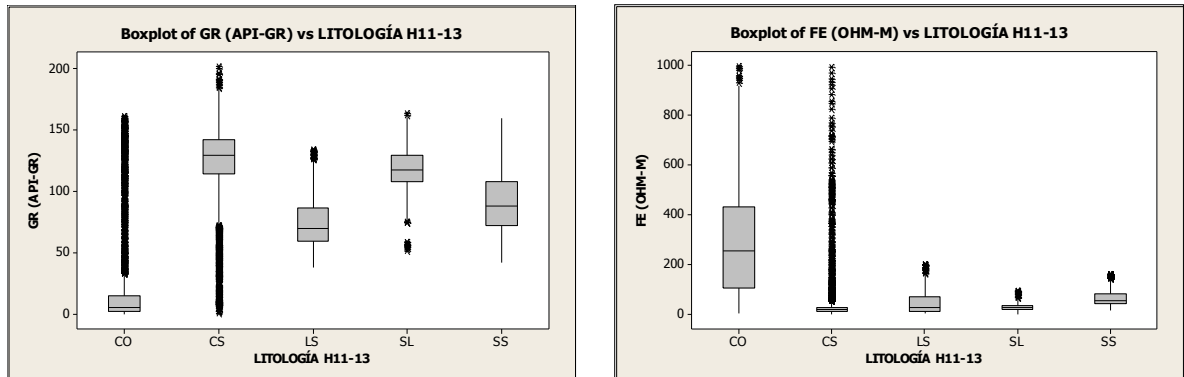


Tabla 21. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-15

H11-15									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	1547	18.376	27.468	0	3.515	6.503	15.994	148.08
	CS	1866	116.35	35.52	9.58	85.68	125.5	142.72	198.09
	SL	3590	127.77	20.19	33.04	116.62	129.19	142.1	171.9
	SS	1132	74.851	21.328	25.222	62.22	71.623	80.675	138.326
FE (OHM-M)	CO	1547	238.35	164.87	9.75	108.08	196.77	347.15	770.87
	CS	1866	17.53	48.86	0.001	8.05	10.02	13.18	825.39
	SL	3590	25.255	56.955	6.115	12.836	16.98	20.727	598.685
	SS	1132	30.543	24.184	0.001	14.593	35.995	42.54	154.014

Figura 57. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-15

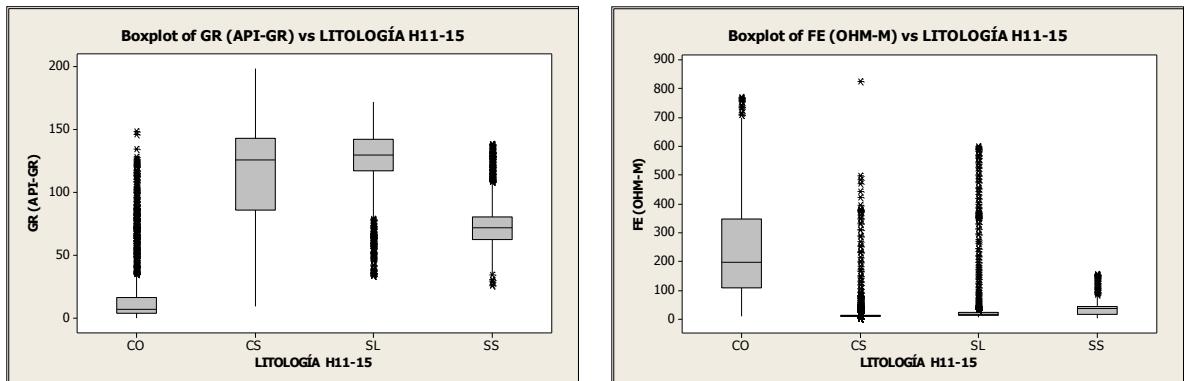


Tabla 22. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-18

H11-18									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	2041	27.544	41.961	0	1.792	5.375	39.414	201.905
	CS	7709	115.53	35.68	1.79	94.23	120.21	140.1	209.25
	LS	113	97.83	40.91	39.77	53.66	112.15	138.22	155.15
	SL	535	126.29	35.32	6.99	115.91	135.44	149.95	177.9
	SS	922	74.882	16.618	37.264	60.733	74.976	87.785	123.078
FE (OHM/M)	CO	2041	156.08	127.81	8.45	44.49	139.13	221.92	995.04
	CS	7709	27.767	61.921	0.012	10.326	14.733	21.618	850.413
	LS	113	128.7	136.7	15.7	17.6	27.4	241.2	416.3
	SL	535	35.32	33.84	12.9	22.71	26.11	31.56	191.2
	SS	922	39.61	78.04	0.029	1.65	4.21	20.3	414.07

Figura 58. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-18

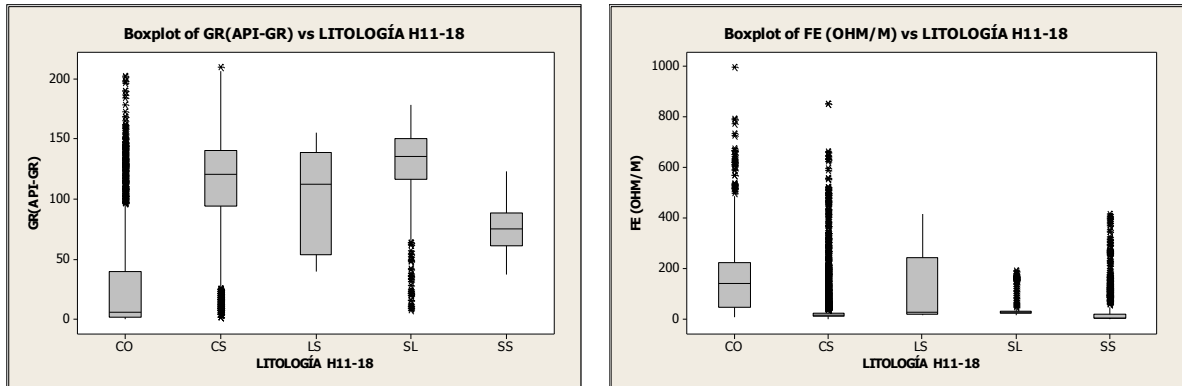


Tabla 23. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-19

H11-19									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	1075	17.339	24.361	0	1.792	5.554	22.573	118.599
	CS	7531	135.77	19.33	100.15	121.65	134.36	147.62	212.48
	LS	100	143.75	18.62	97.28	128.68	145.02	156.27	186.68
	SL	1518	136.78	20.4	71.84	123.26	137.41	151.38	185.6
	SS	2184	107.88	30.41	5.02	87.25	104.09	130.24	186.5
FE (OHM/M)	CO	1075	184.89	113.39	3.25	97.97	170.43	272.34	399.54
	CS	7531	17.698	16.653	1.853	8.998	14.445	22.592	370.091
	LS	100	20.45	3.112	15.525	18.432	19.803	21.714	26.929
	SL	1518	13.82	7.777	3.051	8.586	12.03	18.647	49.737
	SS	2184	47.26	62.37	3.03	12.05	34.26	53.91	395.88

Figura 59. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-19

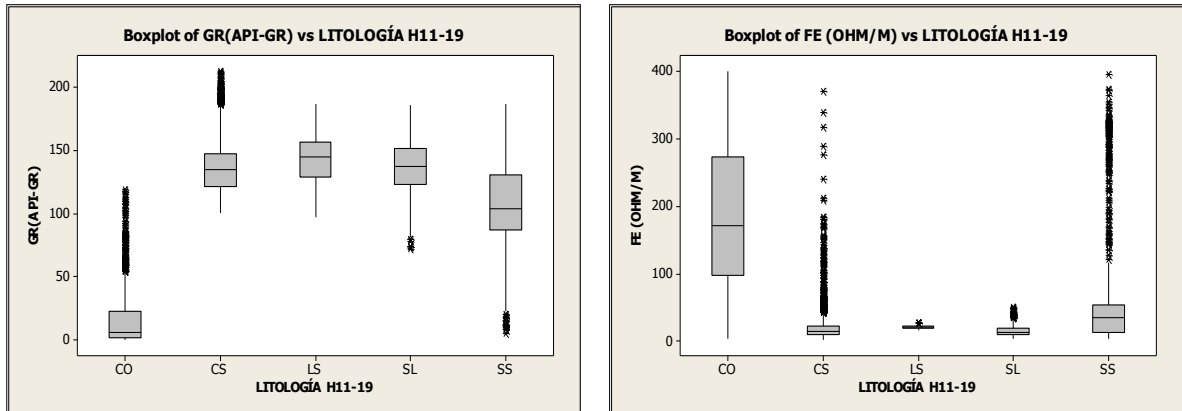


Tabla 24. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-20

H11-20									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	571	16.83	17.622	0.776	4.224	11.033	22.669	98.262
	CS	13471	127.71	23.41	2.59	116.71	129.46	142.31	190.32
	LS	237	101.07	23.45	56.89	79.17	106.28	118	146.36
	SL	3021	119.11	23.9	18.88	108.69	122.48	133.86	182.56
	SS	2957	97.99	31.865	1.724	84.901	98.951	120.025	161.097
FE (OHM/M)	CO	571	253.57	89.35	49.84	187.58	253.42	325.81	399.61
	CS	13471	12.036	13.284	0.001	5.532	8.426	14.919	192.249
	LS	237	20.18	19.67	3.03	3.67	6.56	34.78	61.96
	SL	3021	9.815	11.317	0.784	2.701	4.976	13.473	79.678
	SS	2957	23.732	30.598	2.93	5.99	10.86	40.659	272.018

Figura 60. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-20

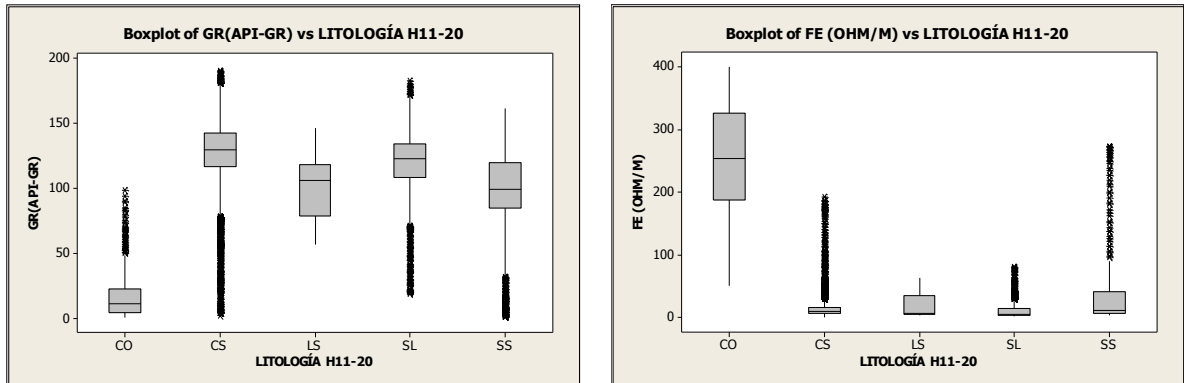
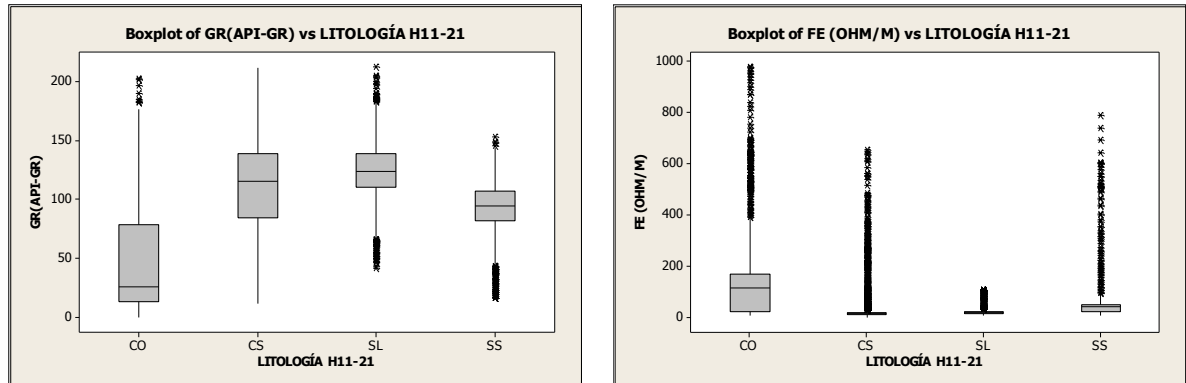


Tabla 25. Estadísticas básicas para cada una de las litologías en el Pozo H11-21

H11-21									
Variable	LITOLOGÍA	Nº	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
GR (API-GR)	CO	1410	49.01	47.4	0	12.78	25.88	78.5	201.89
	CS	5370	110.25	38.18	11.32	83.96	115.34	138.15	210.95
	SL	2866	124.15	23.16	41.9	109.84	123.76	138.8	211.92
	SS	1144	91.972	24.044	16.339	82.018	93.989	106.931	152.55
FE (OHM/M)	CO	1410	149.46	172.53	5.96	23.84	113.43	170.68	976.58
	CS	5370	24.112	54.897	0.405	10.62	13.478	17.892	652.181
	SL	2866	21.063	13.097	8.996	14.927	17.038	22.257	109.253
	SS	1144	54.91	91.55	5.89	21.14	43.31	49.23	787.33

Figura 61. Diagramas de caja Gamma Ray GR Y Resistividad RE Vs Litología para el Pozo H11-21



- **Validación de la interpretación de los registros geofísicos para la campaña del año 2011.** En los gráficos de litología de los Pozos de la campaña del año 2011, se observa una tendencia similar de las curvas Gamma Ray Y Resistividad en cada litología, en comparación con los Pozos del año 2004.

Los Pozos de la campaña de perforación del año 2011, se localizan hacia la zona del sur yacimiento y muy cercanos a los Pozos del año 2004, éstos Pozos (Pozos 2011) son exploratorios y con el fin de mejorar el modelos geológico para el avance de la mina. También para ampliar la información existente de esta zona del yacimiento ya que los Pozos perforados son de campañas antiguas.

Se aprecia claramente un aumento en los valores de la curva Gamma Ray a medida que aparecen rocas con minerales arcillosos, de modo que, los carbones son la litología con menores valores, seguido por las areniscas, las limolitas y las arcillolitas ocupan los valores más altos. Se observa también un aumento en la resistividad con la presencia de los mismos.

Al comparar estos resultados se puede verificar que la interpretación litológica realizada para los Pozos del año 2004 es muy cercana a la litología presente en la zona.

Las graficas 62 y 63, son una comparación entre dos Pozos cercanos escogidos, y se observa que las curvas tienen el mismo comportamiento. Hay también ciertas diferencias en cuanto a los valores para cada litología, debidas a la diferencia en el tipo de sonda que registro hace unos años y la sonda que registra actualmente.

Figura 62. Curva Gamma Ray Vs Litología Pozos H04-PT-016 y H11-02

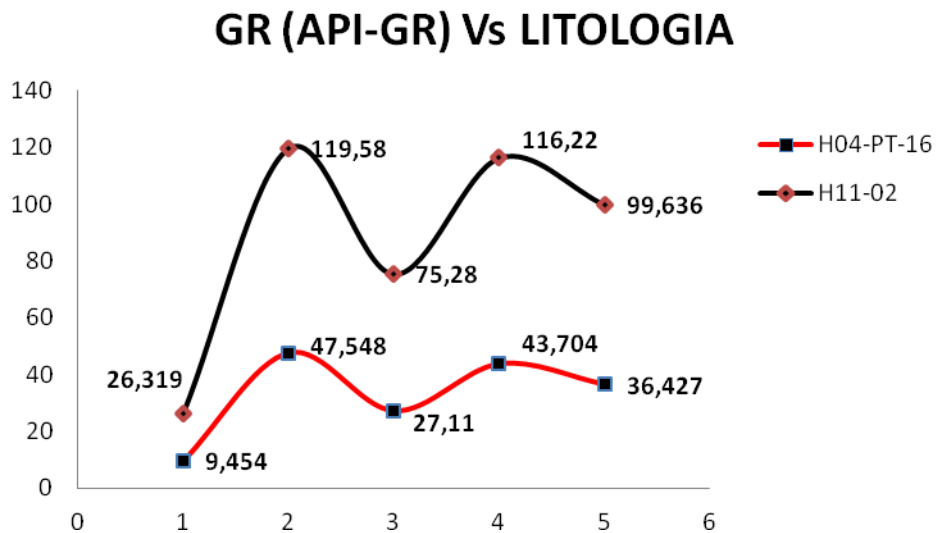


Figura 63. Curva Resistividad Vs Litología Pozos H04-PT-016 y H11-02

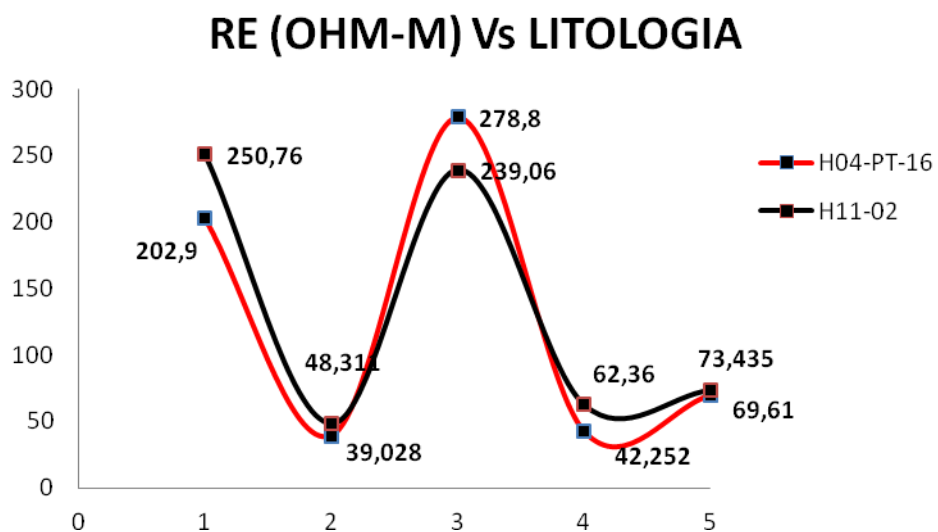


Tabla 26. Litologías presentes en los Pozos H04-PT-016 y H11-02

	LITOLOGIAS	
1	CO	Carbón
2	CS	Arcillolita
3	LS	Caliza
4	SL	Limolita
5	SS	Arenisca

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a la interpretación de los registros geofísicos se pudo elaborar las columnas estratigráficas de los 19 pozos en la campaña de perforación de 2004, y contribuir a la actualización de la base de datos y el modelo geológico de la mina.

Los valores mas bajos en la curva Gamma Ray corresponde a los carbones, seguido de las areniscas, las limolitas y en último lugar con los valores más altos las arcillolitas. Los valores de la curva Gamma Ray promedio para cada litología en los pozos del año 2004 son los siguientes:

Carbón: 13.38 API

Caliza: 32.91 API

Arenisca: 46.205 API

Limolita: 60.36 API

Arcillolita: 58.15 API

Por otra parte el registro de resistividad, que se comporta de manera inversa al registro Gamma Ray, indica a los carbones como el tipo de litología mas resistivo a la corriente, seguidos de las calizas, las limolitas y las arcillolitas La curva de resistividad tiene los siguientes valores promedio para las litologías presentes en los pozos de la campaña del año 2004:

Carbón: 192.80 OHM-M

Caliza: 227.40 OHM-M

Arenisca: 60.26 OHM-M

Limolita: 33.69 OHM-M

Arcillolita: 33.78 OHM-M

De acuerdo al análisis estadístico se establecieron rangos para las diferentes litologías en las curvas resistividad y Gamma Ray (Ver valores Q1 Y Q3 de la tabla 14)

Los valores atípicos, fuera de rango, que aparecen en los diagramas de caja son debidos a pequeñas intercalaciones que no son tenidas en cuenta en la descripción de la litología y que generan cambios en la curva.

Las rocas que contienen tamaños de grano variable o contienen mezclas de tamaño de grano (areniscas limosas, arcillolitas limosas), generan dispersión de los datos de las curvas gama ray y resistividad, haciendo difícil definir con exactitud el contacto entre las litologías.

Las curvas de los registros gamma ray y resistividad son opuestas en cada litología.

En todos los casos, se presenta una diferencia en cuanto a las profundidades registrada y perforada (núcleos), por lo cual se tuvo que hacer un ajuste para correlacionar la litología y profundidades de las curvas.

Existe una tendencia similar en los valores de las curvas de los registros para los dos campañas de perforación (ver figuras 62 y 63), aunque existen diferencias marcadas en los valores de las curvas (gama ray y resistividad Vs litología) en los pozos de la campaña del año 2004 y el año 2011, posiblemente debida al tipo de

sonda utilizado para la toma de la información y la densidad de datos. En el año 2004 la empresa encargada de la toma de los registros era Century Corp y actualmente se lleva a cabo con la empresa Weatherford.

La correlación realizada entre los pozos de la línea de perforación Norte y la correlación de los pozo de la línea de perforación Sur, muestra un comportamiento constante de los mantos, con variaciones en espesor y profundidad respecto a la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, A, Y Morales. C., 1999. Geología Del Departamento Del Cesar. Memoria Explicativa. Ingeominas.

Arias, A., Y Morales, J., 1999. Geología Del Departamento Del Cesar. Ingeominas.

Arias, A., Yepes, Y., Moreno, M. Y Otros. 2007. Inventario Interpretacion Y Evaluacion Integral De La Informacion Geologica Geofisica Y Geoquimica Adquirida Por La Anh En La Cuenca Cesar Ranchería Y El Area Especial Cesar

Barrero D. Et Al. 2007. Anh. Colombian Sedimentary Basins.

Duitama Duran, D. Y Coronel Beleño, J., 2007. Caracterizacion Litologica Del Intervalo Productor De La Formacion Los Cuervos, Bloque Norte-Mina El "Hatillo" / / Universidad Industrial De Santander/ Escuela De Geologia_Tesis Pregrado.

Firth, D. 1994. Log Analysis For Mining Applications. Reeves. Edited By Peter Elkington.

García, C. 1990. Proyecto Cesar – Ranchería, Informe Final, Tomo Iii, Geofísica. Reporte Interno No Publicado, Icp Ecopetrol, 103 Pp.

Geoestudios Ltda, 2006. Cartografia Geologica Cuenca Cesar-Rancheria. Agencia Nacional De Hidrocarburos. Informe Final

Morales Yepes, Wilmar Y Carmona Lopez, Ines. Estudio De Algunos Elementos Traza En La Cuenca Cesar - Rancheria, Colombia. 2007, Bol. Cienc. Tierra, N.2, Pp. 75-88. Disponible En:

<http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-302007000100004&lng=es&nrm=iso>. Issn 0120-363.

Notestein (F.B.), Hubman (C.W.) Y Bowler (J.W.), 1944.- Geology Of The Barco Concession, (Aguardiente Member), Republic Of Colombia, South America. Geol. Soc. Amer. Bull., Vol.55, P.1177, New York.

Plan De Trabajo Y Obras, Sector Las Cuevas. 2011. Vale Colombia Informe Interno.

Royero, J. Y Clavijo, J., 2001. Mapa Geológico Generalizado Del Departamento De Santander. Mem. Explic. Escala 1:400.000. Ingeominas. Bogotá.

Sgs Colombia S.A., 2010 Curso Básico De Muestreo De Carbón Y Coque.

Torregrosa Castillo D. 2010. Correlacion Y Caracterizacion De Los Mantos De Carbon Del Miembro Medio De La Formacion Cuervos, A Partir De Registros Electricos Y Ayuda De Lineas Sismicas, Sector Las Cuevas Mina El Hatillo. Universidad Industrial De Santander/ Escuela De Geologia_Tesis Pregrado.

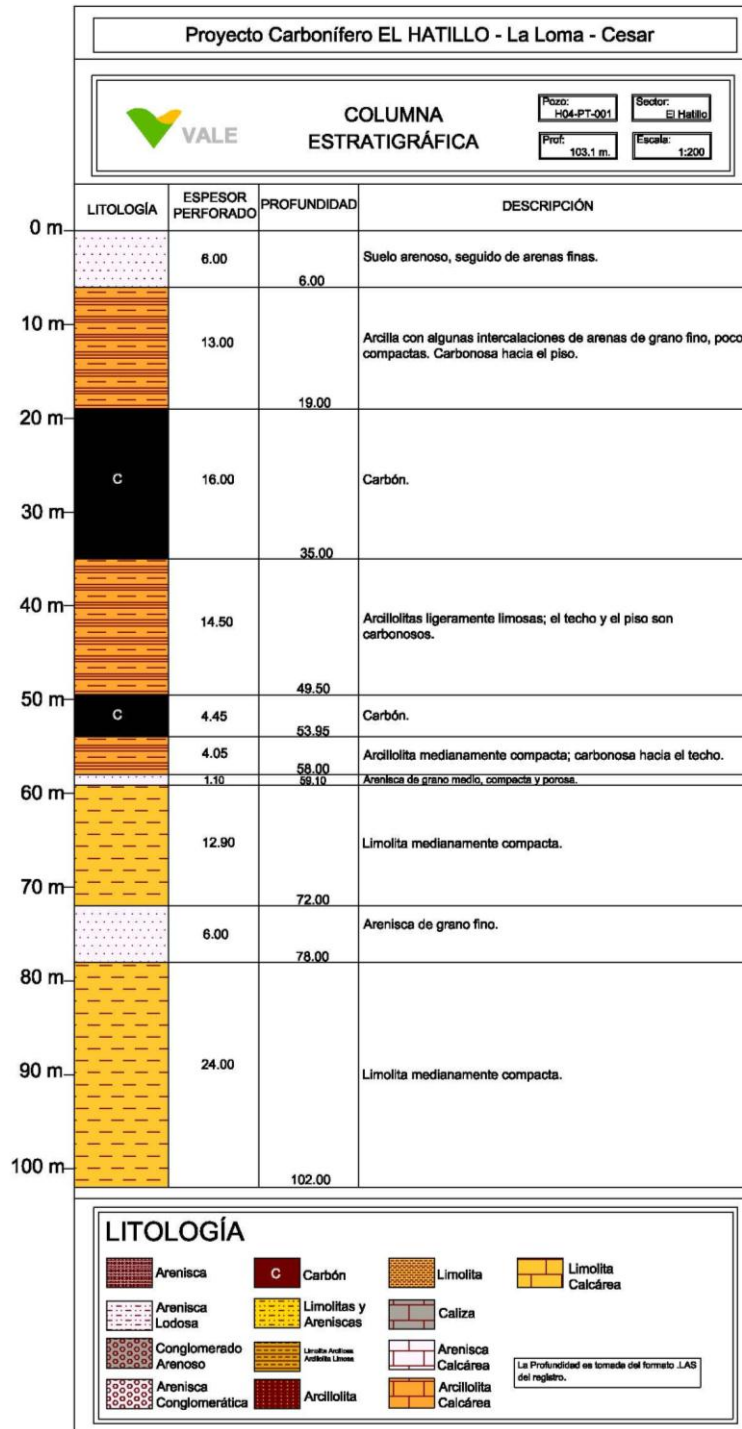
Toussaint. J. F., 1993. Evolución Geológica De Colombia. Medellin.

REFERENCIAS DE INTERNET

http://www.cesma.usb.ve/~npena/estadistica_1/BOXPLOT-ayudaenlinea4.htm

ANEXOS

ANEXO A. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.





Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



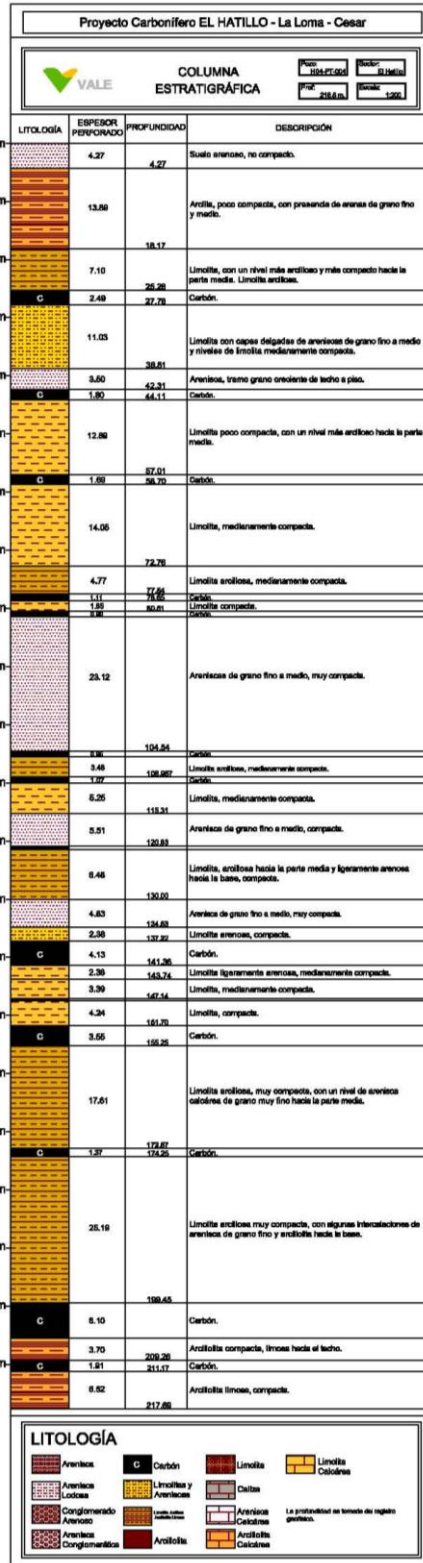
COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo: H04-PT-003 Sector: El Hatillo
Prof: 91.5 m. Escala: 1:200

LITOLÓGIA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	2.05	2.05	Suelo arenoso.
	2.59	4.65	Arcilla poco compacta.
	1.27	5.92	Arena de grano fino, poco compacta.
	1.16	7.08	Arena de grano medio, medianamente compacta.
	12.36	19.45	Transición suelo-roca. Arena de grano fino seguida de limolita, poco compacta.
	7.42	26.88	Arcilloлита hacia el techo, seguida de limolita, poco compactas.
C	9.65	36.53	Carbón.
	6.42	42.95	Limolita con intercalaciones de areniscas de grano muy fino.
C	3.71	46.67	Carbón.
	2.44	49.12	Arenisca de grano muy fino en el contacto con el carbón, seguida de arcilloлита.
	6.84	55.95	Limolita medianamente compacta.
	4.88	60.83	Arenisca de grano medio, compacta.
	2.65	63.48	Caliza.
	10.02	73.51	Limolita arenosa.
C	1.64	75.16	Carbón.
	1.22	76.38	Carbón.
	3.02	79.40	Arcilloлита.
	4.29	83.69	Limolita.
C	2.06	85.75	Carbón.
	1.22	87.07	Arcilloлита.
	1.37	88.44	Limolita.

LITOLÓGIA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limolita Arenosa Arcilloлита Lamosa		Arcilloлита Calcárea	La Profundidad es tomada del formato .LAS del registro.	
	Arenisca Conglomerática		Arcilloлита		Arcilloлита Calcárea		



Proyecto Carbonifero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo: HDL-PT-005
Sección: El Hatillo
Prof: 156 m
Escala: 1:200

LITOLOGÍA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	2.60	2.60	Suelo arenoso. No compacto.
	2.28	4.97	Arcilla, poco compacta.
	1.32	6.30	Arena de grano fino.
	9.28	15.58	Arena de grano muy fino con matriz arcillosa.
	2.75	18.34	Arenisca de grano fino.
	14.58		Limolita, con pequeños niveles de arenisca de grano fino y con contenidos arcillosos.
	3.18	32.93	Carbón.
		36.11	
	34.80		Limolita con contenidos arcillosos, muy poco compacta.
		71.02	
C	10.34		Carbón.
		81.36	
	11.45		Limolita arcillosa, poco compacta.
	3.87	92.82	Carbón.
		96.69	
	27.00		Secuencia grano creciente, comenzando con arcillolita, seguida de limolita y finalizando con areniscas de grano medio porosas. De techo a base la roca se vuelve mas compacta.
		123.70	
	12.94		Limolita, con contenidos arcillosos. Medianamente compacta.
		136.64	
	5.88	142.53	Limolita compacta.
	4.56	147.09	Carbón, con intercalación de arcillolita de 1 m. aprox. a los 145 m.
	7.74	154.84	Limolita arcillosa, compacta.

LITOLOGÍA

	C Carbón		
			Le profundidad es tomada del registro geofísico.

Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Pozo: H04-PT-008

Sector: El Hatillo

Prof: 133.8 m.

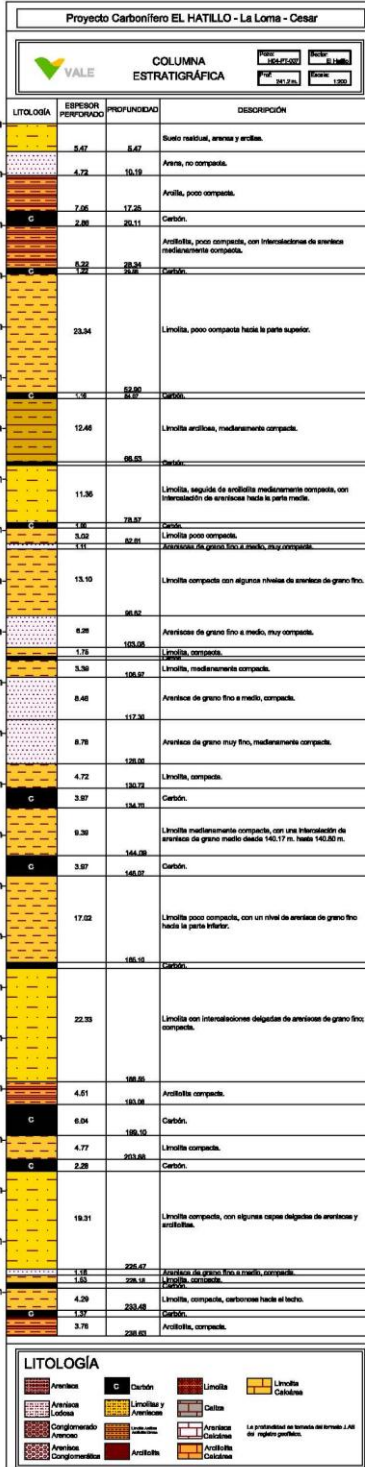
Escala: 1:200

LITOLOGÍA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	33.38	33.38	Arcilla, con cantidades de arena fina; baja compactad.
	4.29	37.68	Arenisca de grano fino hacia la parte superior, seguida de limolita arcillosa, poco compacta.
C	4.77	42.45	Carbón. Con intercalación de limolita, desde 40.23 a 41.13.
	2.81	45.27	Limolita, poco compacta.
	11.14	56.41	Arenisca de grano muy fino, poco compacta.
C	2.01	58.42	Carbón.
	8.38	66.80	Limolita arcillosa, poco compacta.
	12.57	79.37	Limolita arcillosa, medianamente compacta.
	1.00	80.38	Carbón.
	2.75	83.13	Arcillolita compacta, con una cinta de carbón de 40 cm aprox. hacia la parte inferior.
	2.27	85.40	Arcillolita compacta.
C	1.80	87.20	Carbón.
	8.43	95.63	Limolita, medianamente compacta.
	11.14	106.77	Arenisca de grano fino, con contenidos calcáreos y muy compacta.
	25.25	132.02	Limolita con intercalaciones de arenisca calcárea, muy compacta.
		133.33	

LITOLOGÍA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lúcosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Lentes Arenas Arenas de Limas		Arcillolita Calcárea		Arcillolita Calcárea
	Arenisca Conglomerática		Arcillolita				

La profundidad es tomada del registro geofísico.



Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo:
H04-PT-008

Sector:
El Hatillo

Prof:
86 m.

Escala:
1:200

LITOLOGÍA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	1.76	1.76	Suelo residual. Arcillas.
	5.88	7.65	Limos, de baja compactad.
	4.24	11.89	Arcillas no compactas.
	24.13	36.03	Arenas de grano fino a medio, no compacto, con contenidos de arcillas.
	3.82	39.85	Arcillolita medianamente compacta.
C	1.91	41.76	Carbón.
	1.22	42.98	Arcillolita.
	1.00		Carbón.
	4.13	48.12	Arcillolita medianamente compacta.
	9.76	57.89	Limolita compacta.
C	1.53	59.42	Carbón.
	13.39	72.81	Arcillolita, muy compacta.
C	1.27	74.08	Carbón.
	3.92	78.00	Arcillolita compacta.
C	1.43	79.43	Carbón.
	2.33	81.76	Arcillolita compacta.

LITOLOGÍA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limolita Arenosa Arcillita Limos		Arcillolita Calcárea		
	Arenisca Conglomerática		Arcillolita				

La Profundidad es tomada del formato JAS del registro.

Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo: H04-PT-009 Sector: El Hatillo
Prof: 114,7 m. Escala: 1:200

LITOLÓGIA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
		1.57	Suelo arcilloso.
	2.76	4.33	Arena de grano medio.
	13.84	18.16	Arcilolita, con intercalación de areniscas y limolitas hacia la parte media.
	20.53	38.71	Limolitas arcillosas, con algunos niveles de areniscas.
	4.56	43.27	Arenisca de grano fino a medio.
	13.89	57.17	Arcilolita.
C	8.91	66.08	Carbón.
	7.32	73.40	Arcilolita poco compacta, con un nivel de limolita en la parte media.
C	2.97	76.38	Carbón.
	25.88	102.26	Arcilolita limosa, con un nivel de calizas desde 87.04 hasta 87.78.
C	1.16	103.42	Carbón.
	2.49	105.92	Limolita, carbonosa hacia los contactos.
C	1.69	107.62	Carbón.
	7.05	114.68	Arcilolita.

LITOLÓGIA

	Arenisca	C	Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limolita Arcillosa Arcillosa Limosa		Arcilolita Calcárea		Arcilolita Calcárea
	Arenisca Conglomerática		Arcilolita		Arcilolita Calcárea		

La Profundidad es tomada del formato LAS del registro.

Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo:
H04-PT-010

Sector:
El Hatillo

Prof:
91.7 m.

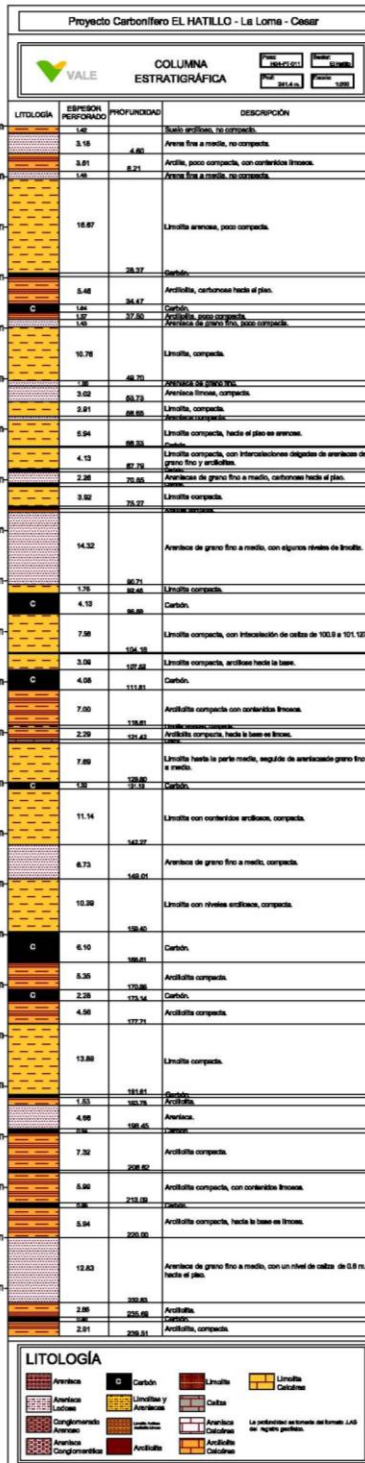
Escala:
1:200

	LITOLOGÍA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0 m		0.95		Suelo arenoso.
		3.13	4.08	Arena de grano fino a medio, poco compacta.
10 m		14.84		Arcillolita con contenidos de limo, medianamente compacta.
20 m		7.37	18.93	
			26.31	Arenisca de grano fino a medio compacta; intercalación de caliza de 0.8 m. a los 20.63 m. de profundidad.
30 m		7.95		Limolita.
			34.27	
40 m	C			Carbón.
			42.35	
50 m		12.05		Arcillolita compacta con delgadas capas de arenisca de grano fino y capas de limolita.
			54.32	
60 m	C	3.50		Carbón. Intercalación de lodolita de 57.18 m. a 57.35 m.
			57.82	
		13.32		Limolita arcillosa, seguida de arcillolita compacta.
70 m			71.14	
	C	1.26		Carbón.
			72.41	
		3.29		Arcillolita, seguida de limolita compacta.
			75.70	
	C	1.96		Carbón.
			77.66	
80 m		3.44		Arcillolita compacta.
			81.11	
		1.75		Arcillolita.
			83.44	
		1.48		Carbón.
			84.93	
90 m		6.26		Limolita compacta.
			91.19	

LITOLOGÍA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limolita Arcillosa Arcillosa Limosa		Arcillolita Calcárea		
	Arenisca Conglomerática		Arcillolita				

La Profundidad es tomada del formato .LAS del registro.



Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo: H04-PT-012 Sector: El Hatillo
Prof: 80.80 m. Escala: 1:200

	LITOLOGÍA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0 m		2.75	2.75	Suelo arcilloso, no compacto.
10 m		15.06		Arena de grano fino a medio, no compacta.
20 m		9.49	17.81	Arcilloлита medianamente compacta.
30 m		1.37	27.31	Arenisca, medianamente compacta.
40 m	C	9.28	37.97	Carbón.
50 m		6.47	44.45	Limolita compacta, con intercalaciones de arcilloлита y areniscas esporádicamente.
60 m		1.75	46.20	Arcilloлита compacta, carbonosa hacia el piso.
70 m	C	3.96	50.16	Carbón, con intercalación de limolita de 49.5 m. a 49.9 m.
80 m		14.01		Arcilloлита compacta, con niveles de limolita y una cinta de carbón hacia la parte inferior.
	C	1.43	64.18	Carbón.
		8.17	65.81	Arcilloлита, con contenidos limosos, medianamente compacta.
			73.78	Carbón.
	C	1.85	78.70	Carbón.
		2.91	79.62	Limolita compacta.

LITOLOGÍA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limolita Arcillosa Arcilloлита Limosa		Arcilloлита		Arenisca Calcárea
	Arenisca Conglomerática		Arcilloлита		Arcilloлита Calcárea		

La Profundidad es tomada del formato LAS del registro.

Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo: H04-PT-014 Sector: El Hatillo
Prof: 99.7 m. Escala: 1:200


LITOLÓGIA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	2.29	2.29	Suelo arenoso, no compacto.
	11.30	13.59	Arcilla, poco compacta.
	4.88	18.47	Limolita arenosa, poco compacta.
C	3.55	22.02	Carbón.
	20.21	42.24	Limolitas compacta, con algunos niveles de areniscas. Carbonosa en el techo y más arenosa hacia la parte inferior.
	2.76	45.00	Caliza.
	5.62	50.62	Arenisca de grano medio a grueso, medianamente compacta.
	6.36	56.98	Arcilloita limosa, medianamente compacta.
C	8.85	65.84	Carbón.
	6.57	72.42	Arcilloita compacta, limosa hacia el techo.
	1.27	74.76	Carbón.
	1.08	74.76	Arcilloita medianamente compacta.
C	2.81	77.57	Carbón.
	9.39	86.96	Arcilloita compacta, con algunos sectores limosos.
	1.48	88.44	Carbón.
	1.69	90.14	Arcilloita.
	8.38	98.52	Limolita arenosa compacta.

LITOLÓGIA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limolita Arenosa Arcilloita Limosa		Arcilloita Calcárea		
	Arenisca Conglomerática		Arcilloita				

La Profundidad es tomada del formato LAS del registro.

Proyecto Carbonifero EL HATILLO - La Loma - Cesar

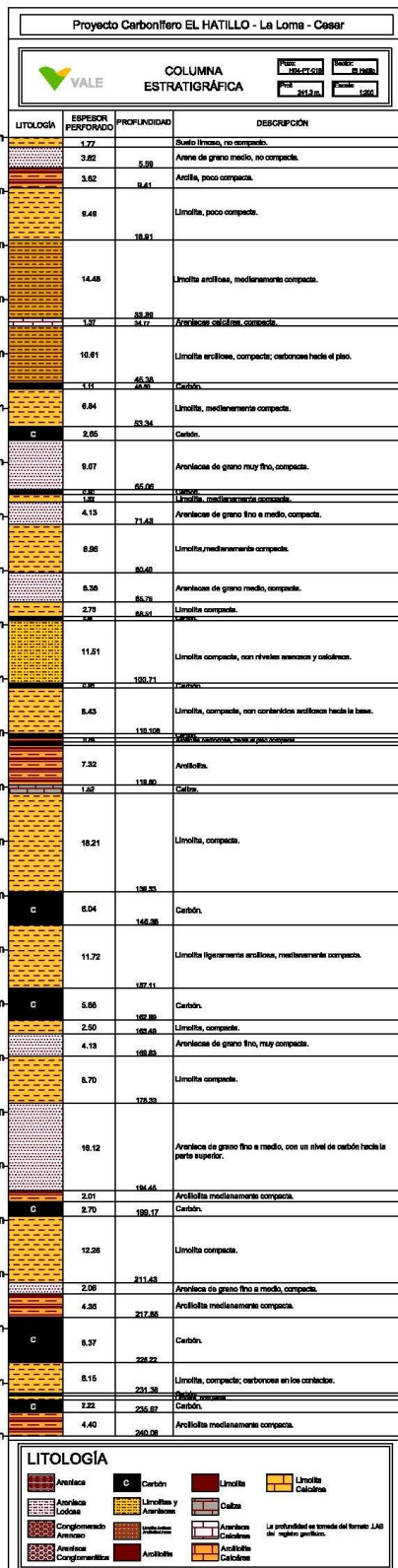

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

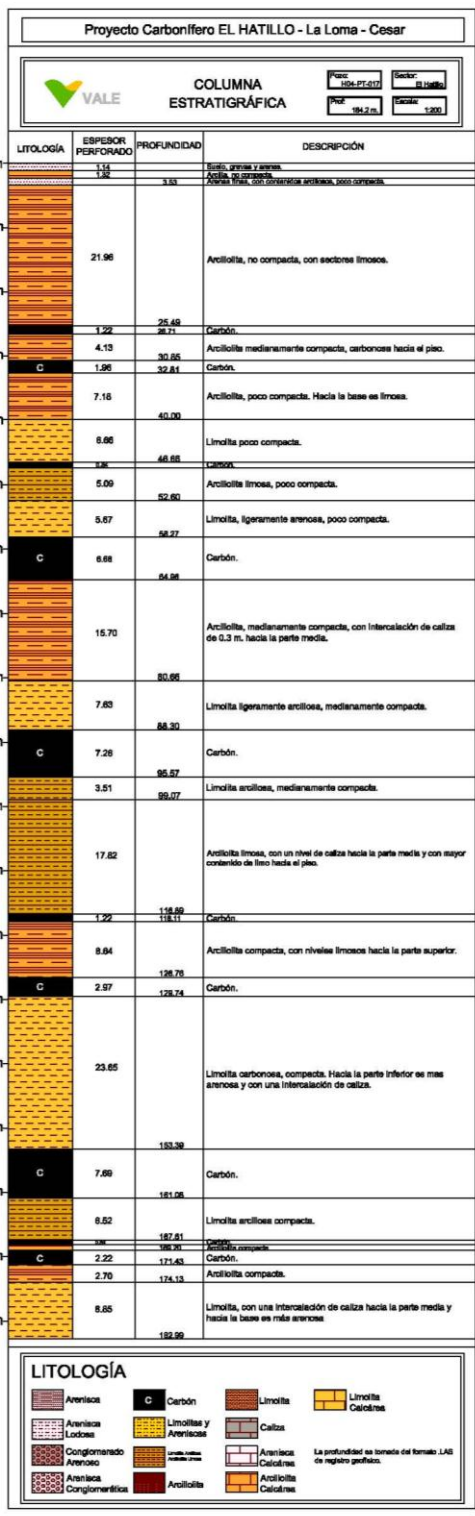
POC: 004.07.010 POC: 01.1400
 PIZ: 0000 ESCA: 1:200

LITOLÓGIA	ESPAESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	m	m	
	0.00	0.00	Suelo arenoso, con alto contenido de arcillas, no compacto.
	2.26	2.26	Arena de grano medio a grueso.
	8.44	8.44	Arcoillita, con algunos niveles limosos, no compacta.
	6.93	12.00	Limolita arcillosa, no compacta.
	16.02	16.02	Arcoillita poco compacta, con intercalaciones de limolita.
	1.88	34.68	Cebón.
	4.08	40.00	Arcoillita ligeramente limosa, medianamente compacta.
	2.44	44.19	Arcoillita medianamente compacta.
	4.08	48.26	Limolita compacta, con contenidos arcillosos.
	3.80	52.83	Arcoillita compacta.
	1.11	55.58	Limolita compacta.
C	1.80	55.58	Cebón.
	10.87	66.42	Limolita, medianamente compacta, con niveles de arenitas y arcoillita en la parte superior e inferior respectivamente.
	9.54	75.97	Arcoillita compacta, con intercalación de arenitas de grano medio hacia la parte media.
	3.07	79.07	Arcoillita limosa compacta.
	1.61	81.76	Limolita.
	2.87	85.64	Limolita arcillosa, compacta.
	1.28	86.94	Arcoillita compacta.
	14.46	101.40	Arcoillita ligeramente limosa, con intercalaciones arenosas hacia el piso y el techo.
C	4.40	105.80	Cebón.
	13.05	119.85	Limolita compacta, con contenidos de arcilla, carbonosa hacia los contactos.
C	4.77	124.62	Cebón.
	16.81	141.43	Arcoillita, con intercalación de caliza hacia la parte media.
	7.53	148.96	Arenitas de grano medio a grueso, con contenidos calcáreos hacia la parte superior.
C	1.61	150.57	Arcoillita compacta.
	1.79	152.36	Cebón.
	8.05	160.41	Arcoillita compacta, con sectores limosos.
	7.44	167.85	Arenitas de grano medio, compacta.
	6.64	174.49	Arcoillita, compacta.
C	8.04	182.53	Cebón.
	6.68	189.21	Arcoillita compacta, con sectores limosos.
C	2.87	192.08	Cebón.
	7.79	199.79	Arcoillita, compacta.
C	1.22	201.01	Cebón.
	8.04	207.05	Arcoillita, con un nivel de limolita de 2 m, aproximadamente hacia la parte media.

LITOLÓGIA

			La profundidad es tomada del registro geológico.







Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cesar



COLUMNA
ESTRATIGRÁFICA

Pozo: H04-PT-019

Sector: El Hatillo

Prof: 108.9 m.

Escala: 1:200

LITOLÓGIA	ESPESOR PERFORADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	1.49	1.49	Suelo arenoso, no compacto.
	3.07	4.57	Arcillas y arenas, no compactas.
	12.25	16.82	Limolita, poco compacta.
	3.97	20.80	Limolita arenosa, medianamente compacta.
	5.94	26.74	Limolita arenosa, compacta.
	8.70	35.45	Arcilloлита, medianamente compacta, hacia la base es limosa.
C	3.50	38.95	Carbón.
	6.04	45.00	Limolita compacta.
	3.44	48.44	Arcilloлита, medianamente compacta.
	4.29	52.74	Limolita compacta.
	11.83	64.68	Arcilloлита, compacta.
	4.03	68.71	Caliza.
	4.35	73.06	Limolita, con contenidos calcáreos.
	4.29	77.35	Arcilloлита, compacta.
C	11.77	89.12	Carbón.
	7.90	97.02	Arcilloлита limosa, compacta.
	0.95	97.97	Carbón.
	2.38	100.35	Arcilloлита, compacta.
C	3.55	103.90	Carbón.
	3.39	107.29	Arcilloлита.

LITOLÓGIA

	Arenisca		Carbón		Limolita		Limolita Calcárea
	Arenisca Lodosa		Limolitas y Areniscas		Caliza		Arenisca Calcárea
	Conglomerado Arenoso		Limas, Arcillas y Arcillas Limosas		Arcilloлита		Arcilloлита Calcárea
	Arenisca Conglomerática		Arcilloлита		Arcilloлита Calcárea	La Profundidad es tomada del formato LAS del registro.	

Proyecto Carbonífero EL HATILLO - La Loma - Cochar


COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Puntos: 150, 272, 280
 POC: 252.2 m

Escala: 1:1000
 Hoja: 1208

LITOLOGÍA	ESPESES PENSADO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
	7.81		Carbón
	4.68	8.63	Arenas finas, no compactas.
	6.78	11.41	Arcillita, no compacta.
	6.78	17.80	Limolita no compacta.
	7.10	24.30	Limolita arenosa.
	16.40		Arcillita. Líneas hasta el techo.
	6.66	30.80	Carbón
	6.58	49.28	Limolita arcillosa.
	6.75	56.04	Arcillita.
	2.06	60.11	Limolita.
	4.66	65.00	Arcillita.
	7.81		Carbón
	13.82		Arcillita compacta.
	6.66	79.88	Carbón
	3.82	84.25	Arcillita, hasta la parte media, seguida de arenosa.
C	1.68		Carbón
	10.33		Limolita, con contenidos de arenosa, compacta.
		96.18	
	2.75	98.93	Arenosa de grano fino a medio.
	4.46	103.40	Arcillita finosa, compacta.
		108.40	Carbón
	8.31	116.71	Arcillita con niveles de limolita.
	3.23	119.94	Arenosa de grano muy fino, compacta.
		123.17	
	5.25	128.42	Arcillita compacta, en costuras hasta el piso.
	1.67	130.09	Arcillita.
	7.10	137.20	Limolita medianamente compacta.
		144.30	
	1.48	145.78	Carbón
	1.81	147.59	Limolita arenosa.
	3.50	151.09	Arenosa de grano medio a gruesa, compacta.
	2.50	153.59	Arenosa de grano fino a medio.
	2.17	155.76	Arcillita.
	1.80	157.56	Limolita.
	4.72	162.28	Arcillita.
	4.18	166.46	Carbón
	6.48	172.94	Arcillita ligeramente finosa, compacta.
	4.77	177.71	Arcillita compacta.
	5.18	182.89	Carbón
	24.82		Intercalación de arcillita y limolita, algunas acciones carbonosas, y un nivel de carbón en 179.8 a 180 m.
		197.71	
C	2.01	199.72	Carbón
	4.48	204.20	Arcillita compacta.
	16.02		Arcillita finosa, con intercalaciones de arenosa de grano fino, compacta.
		220.22	
C	6.82	227.04	Carbón
	2.81	229.85	Arcillita con algunos niveles de limolita.

LITOLOGÍA

Arenosa	Carbón	Limolita	Limolita Cáliz
Arenosa Lodoso	Limolita y Arenosa	Cáliz	
Conglomerado Arenoso	Arenosa Cáliz	Arenosa Cáliz	
Arenosa Conglomerada	Arcillita	Arcillita Cáliz	

La profundidad es tomada del registro geológico.