

**Propuesta de Metodología de Optimización de la Operaciones Geológicas en un Pozo
Exploratorio de Hidrocarburos, Caso Estudio Pozo Prosperidad-1 Cuenca Llanos
Orientales, Colombia.**

Aura Cristina Jaimes Sandoval

Trabajo de Grado para Optar el título de Geóloga

Director

**Eric Alexander Moreno Cuervo
Msc. Exploración de Hidrocarburos**

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga**

2019

Dedicatoria

A mis padres Nubia Stella y Alvaro por su apoyo, consejos, amor y ayuda en los momentos difíciles, me han dado todo lo que soy como persona, valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje para lograr mis objetivos.

A mi hermana Bárbara por su apoyo constante durante mi carrera.

Agradecimientos

A Gran Tierra Energy Colombia y el área de Operaciones Geológicas por las enseñanzas durante el desarrollo de la práctica empresarial, los conocimientos adquiridos sin duda marcaran la pauta en mi carrera profesional y en especial a Christian Sánchez por la dedicación, entrega y disposición para la realización de este proyecto. Gracias.

Tabla de Contenido

	Página
Introducción	20
1. Objetivos.....	21
1.1 <i>Objetivo General</i>	21
1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	21
2. Planteamiento del Problema.....	22
3. Justificación.....	23
4. Metodología	24
4.1. <i>FASE I</i>	24
4.2. <i>FASE II</i>	24
4.3. <i>FASE III</i>	25
4.5. <i>FASE IV</i>	26
4.6. <i>FASE VI</i>	26
5. Marco Referencial	27
5.1. <i>Marco Teórico</i>	27
5.1.1. Reporte Geológico Diario (Daily Geological Report-DGR).....	28

5.1.2. Reporte de la Unidad de Registro continuo (Daily Mudlogging Report -DMLR).....	30
5.1.3. Registro de Evaluación de Formación (Formation Evaluation Log-FEL).	31
5.1.4. Reporte de Derrumbes (Caving Data Sheet -CAV).....	32
5.1.5. Reporte de Geomecánica (Geomechanics Report).	34
5.1.6. Reporte de Incidentes (Incident Report).....	34
5.2. <i>Marco Contextual</i>	35
5.3. <i>Marco Geológico</i>	37
5.3.2.1. Formación Guayabo.	39
5.3.2.2. Formación León.....	39
5.3.2.3. Formación Carbonera	40
5.3.2.3.1. Miembro Carbonera C1.	40
5.3.2.3.2. Miembro Carbonera C2.	41
5.3.2.3.3. Miembro Carbonera C3.	41
5.3.2.3.4. Miembro Carbonera C4.	41
5.3.2.3.5. Miembro Carbonera C5.	41
5.3.2.3.6. Miembro Carbonera C6.	42
5.3.2.3.7. Miembro Carbonera C7.	42
5.3.2.3.8. Miembro Carbonera C8.	42
5.3.2.4. Formación Mirador.....	42
5.3.2.5. Formación Los Cuervos.....	43
5.3.2.6. Formación Barco.	43
5.3.2.7. Formación Guadalupe.....	43

5.3.2.8. Formación Gachetá.....	44
5.3.2.9. Formación Une.	44
5.3.2.10. Paleozoico.....	44
6. Resultados.....	45
7. Etapa Pre-Operativa	45
7.1. Información general del pozo planeado.....	45
7.2 Descripción y resumen del prospecto exploratorio.....	47
7.3. Composición litológica esperada del pozo y prognosis geológica	49
7.4. Trayectoria del pozo planeado y definición de la tolerancia del target	49
7.5. Profundidades y criterios para definición de los puntos de revestimiento	52
7.6. Pozos Offset	54
7.7. Posibles problemas de ingeniería o geología durante la perforación	57
7.8. Planeación de reportes, registros y parámetros para el seguimiento geológico durante la perforación por parte del Wellsite Geologist.....	58
7.9. Reportes de la Unidad de Registro Continuo (Unidad de Mudlogging).....	59
7.10. Requisitos para el muestreo de ripios durante la perforación en la unidad de registro continuo	60
7.11. Registros Logging While Drilling y Wireline	62
7.11.1. Registros MWD/LWD.....	62
7.11.2. Registros Wireline	63

7.12. <i>Pre spud meeting del pozo</i>	64
8.13. <i>Logística de trabajo de Operaciones Geológicas y canales de comunicación durante el desarrollo del proyecto.</i>	65
8. Etapa Operativa	65
8.1. <i>Muestreo</i>	66
8.1.1. Entrenamiento al personal de recoge muestras.....	67
8.1.2. Frecuencia del muestreo	67
8.2. <i>Recolección, lavado, marcación y almacenamiento de muestras</i>	67
8.2.1. Tipos de Muestras.....	69
8.2.1.1. Muestras Húmedas	69
8.2.1.2. Muestras para Análisis de Palinología.....	70
8.2.1.3. Muestras para análisis de Geoquímica y Bioestratigrafía.....	71
8.2.1.4. Muestras secas	71
8.2.1.5. Muestras de Chequeo.....	72
8.2.1.6. Muestras de derrumbes o cavings.....	72
8.3. <i>Lavado de muestras</i>	73
8.3.1. Muestras en lodo base agua	73
8.3.2. Muestras en lodo base aceite	73
8.4. <i>Descripción de muestras</i>	74
8.4.1. Procedimiento para la descripción litológica.....	77
8.5. <i>Evaluación de Manifestación de Hidrocarburos</i>	77

8.5.1. Análisis de las proporciones de gas	77
8.5.1.1. Relación de Humedad.....	78
8.5.1.2. Proporción de humedad (Wh):	78
8.5.1.3. Relación de Balance (Bh):	79
8.5.1.5. Proporción de C1 /C2	80
8.5.2. Terminología	80
8.5.2.1. Hidrocarburos livianos o pesados.....	80
8.5.2.2. Gas no Asociado	80
8.5.2.3. Gas Seco.	80
8.5.2.4. Gas Húmedo	81
8.5.2.5. Condensado.	81
8.5.3. Análisis del Gas Ratio	81
8.5.4. Manifestación de aceite	84
8.6. Toma de registros	86
8.7. Reportes diarios, desarrollo de canales de comunicación y disposición de la información	87
9. Etapa Post Operativa	88
9.1. Diagrama de Flujo de la Metodología Propuesta para Optimización de las Operaciones Geológicas en un Pozo Exploratorio de Hidrocarburos	89
10.Discusión.....	91
11. Conclusiones.....	93

12. Recomendaciones.....	95
---------------------------------	-----------

Referencias Bibliográficas	96
---	-----------

Lista de Tablas

	Página
Tabla 1. Formato de Reporte Geológico Diario- <i>DGR</i>	29
Tabla 2. Formato de Reporte Unidad de Registro Continuo- <i>DMLR</i>	31
Tabla 3. Formato de Reporte de Derrumbes- <i>CAV</i>	34
Tabla 4. Información general del pozo.	46
Tabla 5. Ejemplo de prognosis geológica del pozo Prosperidad-1.	50
Tabla 6. Criterios y puntos de revestimiento del pozo Prosperidad-1.	53
Tabla 7. Pozos Offset y principal información geológica del pozo Prosperidad-1.	55
Tabla 8. Reportes a cargo del WSG en locación indicando su periodicidad, responsabilidad y forma de envió.	59
Tabla 9. Reportes requeridos a la unidad de registro continuo con frecuencia y horario de envío.	60
Tabla 10. Muestreo de ripios o muestras de zanja definido para el pozo Prosperidad-1.	61
Tabla 11. Registros MWD/LWD requeridos durante la perforación del pozo Prosperidad-1.	63
Tabla 12. Programa de Registros <i>Wireline</i> para el pozo Prosperidad-1.	64
Tabla 13. Resumen de los registros adquiridos en el pozo Prosperidad-1.	87

Lista de Figuras

	Pagina
Figura 1. Registro de Evaluación de Formación- <i>FEL</i>	33
Figura 2. Localización Cuenca Llanos Orientales de Colombia. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Barrero.D; Pardo.A; Vargas.C; Martínez.J. Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH. Recuperado de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf.....	36
Figura 3. Localización del pozo exploratorio Prosperidad-1.....	36
Figura 4. Columna Estratigráfica tipo de la cuenca Llanos Orientales. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Barrero.D; Pardo.A; Vargas.C; Martínez.J. Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH. Recuperado de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf.	38
Figura 5. Concepto de play para el pozo Prosperidad-1. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Barrero.D; Pardo.A; Vargas.C; Martínez.J. Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH. Recupera do de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf.....	47
Figura 6. Mapa estructural en profundidad al tope de la Formación Mirador en <i>TVDss</i> . Informe interno Gran Tierra Energy, 2019.....	47
Figura 7. Línea sísmica de rumbo a la largo del prospecto Prosperidad-1.....	48
Figura 8. Línea sísmica de buzamiento a la largo del prospecto Prosperidad-1.....	48
Figura 9. Trayectoria del pozo Prosperidad-1.....	51
Figura 10. Tolerance target para el pozo Prosperidad-1.	52
Figura 11. Diagrama del estado mecánico para el pozo Prosperidad-1.....	54

Figura 12. Correlación Estratigráfica para el pozo Prosperidad-1 con los pozos offset.....	56
Figura 13. Cadena de comunicación durante las operaciones de perforación.	65
Figura 14. Fotografía de una <i>Shale Shaker</i> o Zaranda por donde salen las ripios de perforación	68
Figura 15. Fotografía de un tamiz para recolección de muestra, malla 150µm significa que permite el paso de partículas menores o iguales a 150 µm.....	69
Figura 16. Bandejas con muestra para análisis.	69
Figura 17. Ejemplo de muestra húmeda	70
Figura 18. Muestras para análisis de Palinológico.....	71
Figura 19. Muestras secas para análisis Geoquímico, Muestra húmedas para análisis Bioestratigráfico.....	71
Figura 20. Horno para secar muestras.....	72
Figura 21. Puesto de trabajo del personal recoge muestras, en donde se tiene las muestras listas para ser descritas por los geólogos de la unidad de registro continuo, En este lugar se realiza el proceso de secado, etiquetado y empaquetado de las muestras para su posterior disposición.	75
Figura 22. Unidad de Registro Continuo o Unidad de <i>Mudlogging</i> en donde se realiza la descripción de muestras de zanja, monitoreo y registro continuo de evaluación de presión, datos geológicos y de ingeniería.	76
Figura 23. Cromatógrafo, sistema de filtro en la línea de gas y cilindro de helio que brinda arrastre al cromatógrafo.	78
Figura 24. Pixler Formación Mirador del pozo Prosperidad-1.	82

Figura 25. Pixler Marcador del Paleoceno Formaciones Los Cuervos y Barco del pozo Prosperidad-1.	82
Figura 26. Pixler Formación Gacheta del pozo Prosperidad-1.	83
Figura 27. Pixler Formación Une del pozo Prosperidad-1	83
Figura 28. Fluoroscopio en donde se introducen las muestras para realizar fluorescencia al corte.....	85
Figura 29. Muestra a la que se le realizó descripción y evaluación de la manifestación de aceite en el pozo Prosperidad-1.	85
Figura 30. Diagrama de Flujo para la Optimización de las Operaciones Geológicas.....	88

Glosario

BHA: Bottom Hole Assembly: parte inferior de la sarta de perforación incluye broca, motores, estabilizadores y demás, debe proporcionar la fuerza para la broca fracture la roca.

CASING: tubería implementada para el revestimiento de un pozo.

CAVING: Fragmentos de derrumbe de pozo durante la perforación.

GL: Ground Level. Elevación del terreno.

LWD: Logging While Drilling, herramienta de adquisición de registros eléctricos mientras se está realizando la perforación.

KICK: Patada de pozo. Flujo de fluidos de formación en el pozo durante las operaciones de perforación. La patada es causada físicamente porque la presión en el pozo es menor que la de los fluidos de formación, lo que provoca el flujo.

MD: Measured Depth. Profundidad medida de un pozo, medida de longitud de la perforación realizada, más larga que la profundidad real del yacimiento, ya que el pozo es atacado lateralmente.

MWD: Measured While Drilling, herramienta de control direccional empleada para la evaluación de las propiedades físicas, generalmente la presión, la temperatura y la trayectoria del pozo en el espacio tridimensional, durante la perforación.

PLAY: área en la cual los elementos del sistema petrolífero se combinan para dar potencial a acumulaciones de petróleo en un nivel estratigráfico específico.

ROP: Rate of Penetration, velocidad con la que la barrena puede romper la roca que se encuentra por debajo de la misma y de ese modo profundizar el pozo. Esta velocidad se indica habitualmente en unidades de pies por hora o metros por hora

RTE: Rotary Table Elevation. Elevación de la mesa rotaria.

TD: Total Deep: Profundidad final de un pozo.

TVD: Thru Vertical Depth. Distancia vertical existente entre un punto en el pozo (usualmente la profundidad actual o final) y un punto en la superficie,

TVDss: True Vertical Depth Sub Sea. Medida vertical de profundidad del pozo tomando como referencia el nivel medio de la superficie del mar.

WIRELINE: Modo de registro que emplea un cable eléctrico para bajar las herramientas al pozo y transmitir datos.

WOB: Weight on Bit: Peso sobre la broca.

WSG: Wellsite Geologist: Geólogo de pozo.

Resumen

TÍTULO: PROPUESTA DE METODOLOGIA DE OPTIMIZACIÓN DE LAS OPERACIONES GEOLÓGICAS EN UN POZO EXPLORATORIO DE HIDROCARBUROS, CASO ESTUDIO POZO PROSPERIDAD-1 CUENCA LLANOS ORIENTALES, COLOMBIA¹

AUTOR: AURA CRISTINA JAIMES SANDOVAL²

PALABRAS CLAVE: Wellsite Geologist, Unidad de Registro Continuo, Registros, Muestreo.

DESCRIPCIÓN:

El área de Operaciones Geológicas es la encargada de realizar el seguimiento y coordinar todos los procesos o acciones relacionadas con la geología y/o exploración a realizar antes, durante y después de la perforación. Trabaja en concordancia con el Geólogo de pozo (*Wellsite Geologist-WSG*) y la Unidad de registro continuo (Unidad de *Mudlogging*), el equipo Direccional, del área de *MWD/LWD* y el *Company Man*. El presente trabajo busca plantear una metodología a seguir para la perforación de pozos exploratorios de hidrocarburos en donde se busca optimizar las actividades que se deben realizar para la perforación de un pozo exploratorio es decir todas las labores que se debe ejecutar en las distintas etapas: Etapa Pre Operativa en la cual se obtiene la información geológica del área donde se va a perforar el pozo, se realiza la planeación de este y se establecen los requerimientos de las distintas entidades a nivel nacional, Etapa Operativa en la cual se ejecutan todas las actividades planeadas en la etapa Pre Operativa correspondientes a el muestreo y adquisición de registros y En la Etapa Post Operativa realización del control de calidad de toda la información adquirida en la perforación del pozo y con esto generar un trabajo sistemático en el cual los procedimientos van a ser más enfocados en obtener la información necesaria y suficiente para el avance del ejercicio del desarrollo de un campo.

¹ Proyecto de Grado

² Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas UIS, Director: Eric Alexander Moreno, Geólogo.

Abstract

TITLE: PROPOSAL OF METHODOLOGY OF OPTIMIZATION OF THE GEOLOGICAL OPERATIONS IN AN EXPLORATORY WELL OF HYDROCARBONS, CASE OF STUDY WELL PROSPERIDAD-1 EASTERN LLANOS BASIN, COLOMBIA¹

AUTHOR: AURA CRISTINA JAIMES SANDOVAL²

KEYWORDS: Wellsite Geologist, Mudlogging Unit, Logs, Sampling.

DESCRIPTION:

The Geological Operations area is responsible for monitoring and coordinating all processes or actions related to the geology and / or exploration to be carried out before, during and after the drilling. It works in accordance with the Wellsite Geologist-WSG and the Continuous Registration Unit (Mudlogging Unit), the Directional Team, MWD / LWD area and the Company Man. The present work seeks to propose a methodology to follow for the drilling of hydrocarbon exploratory wells where the aim is to optimize the activities that must be carried out for the drilling of an exploratory well that is to say all the tasks that must be executed in the different stages: Pre-operative Stage in which the information is obtained geological survey of the area where the well is to be drilled, the planning of this is done and the requirements of the different entities at the national level are established, Operational Stage in which all the activities planned in the Pre-Operative stage corresponding to the sampling are executed and acquisition of logs and In the Post-Operative Stage realization of the quality control of all the information acquired in the drilling of the well and with this generate a systematic work in which the procedures are going to be more focused on obtaining the necessary and sufficient information for the advancement of the development of a field.

1 Graduation Project

2 School of Geology, Faculty of Physicochemical Engineering UIS, Director: Eric Alexander Moreno, Geologist.

Introducción

A medida que la industria del petróleo evoluciona las empresas crecen y con ello la especificación de las tareas se hace necesaria para obtener resultados óptimos. En el pasado las operaciones de perforación de un pozo podrían durar un año o más y no necesariamente por la complejidad geológica de las unidades a perforar sino por los parámetros de perforación con los que se estaba llevando a cabo la operación y la falta de planeación de las actividades que se debían realizar, el precio del petróleo en este tiempo permitía llevar estos tiempos tan prolongados y aun así obtener rentabilidad. En la actualidad lo que se busca primordialmente durante la perforación de un pozo exploratorio además de encontrar hidrocarburo, es tener un balance entre los costos de la operación y el tiempo. El presente trabajo busca plantear una metodología a seguir para la perforación de pozos exploratorios en donde se busca optimizar las actividades que se deben realizar y con esto generar un trabajo sistemático en el cual los procedimientos van a ser más enfocados en conseguir la información necesaria y suficiente para el avance del ejercicio de desarrollo de un campo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

- Proponer una metodología a seguir para optimizar los procesos de las operaciones geológicas antes, durante y después de la perforación de un pozo exploratorio para lograr adquirir la mayor cantidad de información en tiempo real y su posterior disposición para futuros proyectos.

1.2 Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte correspondiente a las operaciones geológicas en perforación de pozos exploratorios.
- Definir rutinas de muestreo, seguimiento de parámetros de perforación y adquisición de registros en tiempo real.
- Interpretar los registros Mudlogging durante las operaciones de perforación.
- Determinar el alcance de las Operaciones Geológicas en la evaluación del potencial prospectivo de Hidrocarburos.
- Proponer una metodología para optimizar los procesos de las operaciones geológicas en la perforación de pozos exploratorios.

2. Planteamiento del Problema

El éxito o el fracaso de los resultados de un pozo exploratorio de hidrocarburos dependen en gran medida del buen desarrollo de las operaciones geológicas durante la perforación. El área de Operaciones Geológicas dentro de una empresa es encargada de hacer seguimiento y coordinar todos los procedimientos o acciones relacionadas con la geología y/o exploración a realizar antes, durante y después de la perforación. Trabaja en concordancia con el Geólogo de pozo (*Wellsite Geologist-WSG*) y la Unidad de registro continuo (*Unidad de Mudlogging*), El equipo Direccional, del área de *M/LWD* y el *Company Man*. El geólogo de pozo se debe asegurar de adquirir la información geológica de forma precisa, supervisa los procedimientos de adquisición de información por parte de la unidad de registro continuo, elaboración de reportes, control de calidad y realiza la revisión y complementación de la información para la posterior distribución y la toma oportuna de decisiones de acuerdo a la prioridad que corresponda, también revisa la calidad de la información, registros y reportes en la unidad de registro continuo, hacer el control y la evaluación geológica del pozo a partir de análisis litológicos, interpretación de manifestación de hidrocarburos, evaluación de muestras de corazones si es el caso de tomarlos y correlación estructural. La Unidad de registro continuo tiene como responsabilidad el muestreo y el seguimiento de parámetros de perforación tales como *ROP*, fluidos, lodo en el sistema, torque, peso sobre la broca, *RPM*.

La buena comunicación entre las áreas involucradas, la planeación de las actividades, el seguimiento de las operaciones diarias, la rigurosidad de la adquisición de datos, la forma en que se transmite la información, la organización de la información y otros factores que se desarrollan antes, durante y post- perforación, van a incidir directamente en las decisiones

que se tomen al final de la perforación de un pozo. El éxito en la recolección de información geológica de un pozo depende de la calidad y cantidad de los datos que se logren adquirir. La pérdida de información, las dificultades de obtener información valiosa por problemas operativos, la no transmisión adecuada de datos en tiempo real pueden generar que se tomen decisiones incorrectas, que pueden incidir directamente en el éxito de una empresa que explora hidrocarburos.

3. Justificación

Gran Tierra Energy está trabajando en alcanzar una hoja de ruta para optimizar las operaciones geológicas en pozos de hidrocarburos (exploratorios, de desarrollo, inyectores, etc.). En la medida que se vuelva un trabajo sistemático los procedimientos van a ser más enfocados en conseguir la información necesaria y suficiente para el avance del ejercicio de desarrollo de un campo. Contar con bases de datos completas, eficientes y organizadas le va a permitir a los grupos de geólogos de exploración y desarrollo e ingenieros de petróleos, disponer de información adecuada para planear de mejor manera la perforación de los siguientes pozos; ya sean exploratorios, de Avanzada o de desarrollo.

Los pocos estudios realizados hasta la fecha o su poca divulgación sobre la optimización de estos procesos son generalizados e imprecisos, lo cual ha generado dudas al momento de seguir una metodología adecuada. Para suplir esta necesidad, en el presente trabajo se propondrá una metodología de trabajo para la optimización de estos procesos enfocándose en muestreos litológicos, lectura de gases, shows de hidrocarburos, QC de los registros eléctricos, evaluación de los parámetros de perforación., entendimiento de los parámetros de

perforación y otros factores que se dan durante la perforación y todas las actividades asociadas.

4. Metodología

4.1. FASE I

Objetivo a desarrollar: Investigar el estado del arte correspondiente a las operaciones geológicas en la perforación de pozos exploratorios.

Actividades:

- **Investigación, compilación y análisis de los antecedentes e información bibliográfica.**

La revisión bibliográfica se llevó a cabo durante toda la práctica empresarial, iniciando con la evolución de las Operaciones Geológicas a través de la historia, se revisó los fundamentos teóricos de estos, así como sus correspondientes implicaciones.

- **Descripción Conceptual**

Consiste en la selección del pozo y los registros de pozo a utilizar. Los registros están sujetos a errores en medición por problemas ambientales y de calidad de la herramienta en el momento de la toma de datos, por esta razón es importante analizar la calidad de los registros, se debe verificar que correspondan a registros continuos.

4.2. FASE II

Objetivo a desarrollar: Definir rutas de muestreo, seguimiento de parámetros de perforación y adquisición de registros en tiempo real.

Actividad:

- **Etapla Pre operativa (antes de la perforación)**

Es la etapa previa a la perforación, se llevó a cabo la compilación de la información. Se obtuvo la información disponible de los reportes e informes de los pozos cercanos de referencia (pozos offset) a donde se planea perforar el pozo, incluye informes post mortem, datos de sísmica, correlaciones estratigráficas, registros de los pozos de correlación a diferentes escalas, registros litológicos, registros de evaluación de formación *FEL*, resultados de pruebas de producción, descripciones de las muestras de zanja, de los fluidos de formación, petrografía, bioestratigrafía y geoquímica. Esta fase se realizó en oficina, y su fin fue establecer un plan de trabajo geológico y de ingeniería para perforar el pozo, incluyendo parámetros de perforación, trayectoria del pozo, fases, insumos, litología, parámetros para realizar el muestreo, los registros que se desean correr y la posterior disposición de la información.

4.3. FASE III

Objetivo a desarrollar: Interpretar los registros de la unidad de registro continuo durante las operaciones de perforación.

Actividad:

- **Etapla Operativa (durante la perforación)**

Se llevó a cabo el control y evaluación geológica del pozo a partir de análisis litológicos, interpretación de las manifestaciones de hidrocarburos, evaluación de muestras, correlación estratigráfica, y posicionamiento estructural. También se supervisó los procedimientos de elaboración de los reportes. Se revisó la presentación y calidad de la información, registros y reportes que se generaron dentro de la unidad de registro continuo. Este seguimiento fue diario y durante las fases más importantes; se realizó dos veces por día durante el avance del pozo.

4.5. FASE IV

Objetivo a desarrollar: Determinar el alcance de las Operaciones Geológicas en la evaluación del potencial prospectivo de hidrocarburos.

Actividad:

- **Interpretación de datos**

Durante esta fase se procedió a la integración sistemática de toda la información utilizada, como los *Formation Evaluation Log (FEL)*, *Wellsite Daily Geological Report (DGR)*, *Caving Data Sheet (CAV)*, *Incident Report (INCID)*, *Daily Mudlogging Report (DMLR)*.

4.6. FASE VI

Objetivo a desarrollar: Proponer una metodología para optimizar los procesos de las operaciones geológicas en la perforación de pozos exploratorios.

Actividad:

- **Elaboración del documento final**

Por último, se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones pertinentes al estudio, teniendo en cuenta los objetivos planteados. Y finalmente la elaboración del informe final.

5. Marco Referencial

5.1. Marco Teórico

Dependiendo del tipo, política y tamaño de una empresa se hace indispensable la especialización de las tareas, cuidando cada detalle para que el porcentaje de error sea mínimo lo que se traduce en reducir costos y ahorrar tiempo.

Las operaciones geológicas tienen como objetivo dirigir todos los procesos que involucra la perforación de un pozo, debe trabajar en conjunto con otras áreas específicas como perforación, exploración, y principalmente petrofísica.

El área de Operaciones Geológicas se encarga de hacer seguimiento y coordinar todos los procedimientos o acciones relacionadas con la geología a realizar antes, durante y después de la perforación. Trabaja en concordancia con el Geólogo de pozo (*Wellsite Geologist-WSG*) y la Unidad de registro continuo. El equipo direccional, del área de *Measuring While Drilling(MWD)/Logging While Drilling(LWD)* y el *Company Man*. El geólogo de pozo debe asegurar la adquisición de la información geológica de forma precisa, supervisa los procedimientos de adquisición de información por parte de la unidad de registro continuo, elaboración de reportes diarios, realiza la revisión y complementación de la información para la posterior distribución y la toma oportuna de decisiones de acuerdo a la prioridad que corresponda, también revisa la calidad de la información, registros y reportes en la unidad de registro continuo, hace el control y evaluación geológica del pozo a partir de análisis litológicos de ripios de perforación, interpreta manifestación de hidrocarburos, evalúa muestras de corazones y correlación estructural. La unidad de registro continuo tiene como responsabilidad el muestreo y el seguimiento de parámetros de perforación.

Durante la perforación se debe llevar control de todas las operaciones geológicas que se realizan es por esto que en su desarrollo existen los siguientes reportes:

- Reporte Geológico Diario (*Daily Geological Report-DGR*)
- Reporte de la Unidad de Registro Continuo (*Daily Mudlogging Report -DMLR*).
- Registro de Evaluación de Formación (*Formation Evaluation Log-FEL*).
- Reporte de Derrumbes (*Caving Data Sheet -CAV*).
- Reporte de Geomecánica (*Geomechanics Report*)
- Reporte de incidentes (*Incident Report*)

5.1.1. Reporte Geológico Diario (Daily Geological Report-DGR). La información contenida en este reporte se actualiza periódicamente cada 24 horas a partir de la hora cero, y es distribuido diariamente antes de las 06:00 horas.

Debe incluir la información general del pozo en el encabezado: nombre del pozo, elevación de la mesa rotaria (*RTE*) respecto al nivel del mar, elevación del terreno (*GLE*), coordenadas de superficie, nombre del taladro de perforación y el bloque o contrato en el que se encuentra el pozo. Debe indicar la profundidad alcanzada en las últimas 24 horas en *MD*, *TVD*, *TVDss*, el progreso de la perforación, la tasa de penetración (*ROP*), el diámetro de la broca, la formación que se perforo las últimas 24 horas y el porcentaje representativo de la litología. Incluye un resumen de las operaciones que se realizaron en las últimas 24 horas desde las 00:00hrs hasta las 24:00hrs, una actualización de las 6 horas siguientes es decir desde las 00:00hrs hasta las 06:00hrs y las actividades planeadas que se realizaran las próximas 24 horas de acuerdo al plan de avance. Debe contener un resumen presentado a modo de tabla de la trayectoria planeada versus el plan direccional actual, un resumen

litológico, los topes de las formaciones comparados con los inicialmente planeados en la prognosis, descripción de muestras de aceite y gas si los hay , resumen de actividades y comentarios.

Es responsabilidad del *Wellsite Geologist* la distribución; su insumo principal es el reporte diario de la unidad de registro y la calidad de la información contenida en este reporte es por cuenta del WSG, pero debe ser revisado y aprobado por el área de Operaciones Geológicas antes de distribuirlo masivamente dentro de la organización. El área de Operaciones Geológicas, lo revisa, lo distribuye masivamente dentro de la organización y se encarga de disponerlo dentro de un servidor para usos posteriores. En la Tabla 1 se muestra un ejemplo del formato del *DGR*.

GranTerra		PROSPERIDAD-1				Date:		
		WELLSITE DAILY GEOLOGICAL REPORT				Report No:		
						DFS:		
R.T.E	G.L.E.	Surface Coordinates: (MAGNA SIRGAS BOGOTA)		Drilling Rig	Block			
24:00 Hrs DEPTH	MD (ft)	TVD (ft)	TVDSS (ft)	24hr Progress	Av ROP ft/hr	Hole Size		
Formation								
24 Hour Operation summary								
06:30hrs Update								
24 hour Forecast								
LAST SURVEY	TVD (ft)	Inc (°)	AZIMUT (°)	N/S (ft)	E/W (ft)	DOG LEG (°/100)	VS (ft)	
MD (ft)							CL-CI Distance (ft)	
BIT N°	SIZE	TYPE	SERIAL	JETS	T.F.A.	MAKE		
MUD TYPE	MW	FV	SOL	FILT.	PI/YIP	GELS	Chical	
Lithological Summary (00:00hrs to 24:00hrs)								
Lithological Summary (00:30hrs to 06:00hrs)								
FORMATION TOPS								
FORMATION	PROGNOSIS TOP (ft)			ACTUAL TOPS (ft)			Source	
	MD	TVD	TVDSS	MD	TVD	TVDSS		
GUAYABO								
LEON								
LEON Seismic marker								
CARBONERA								
MIRADOR								
PALEOCENE								
GUADALUPE								
GACHEIA								
UNE								
TD								
OIL SHOWS								
INTERVAL (ft)	SHOW	STAIN	FLOURESCENCE				CUT	RES FLUO
From To	Rating	%	Color	%	Color	Index	Index	Form
GAS SHOWS								
EQUVALENT GAS: 1% = 100 Unidades = 10000 ppm								
INTERVAL	GAS	TOTAL	BOG	C1	C2	C3	nC4	iC5
From To	Type	(%)	(%)					
SUMMARY ACTIVITIES 00:00 – 24:00 Hrs.								
REMARKS								
CONTRACTOR PERSONNEL								
OPERATIONS				WELL SITE				
GEOLOGISTS				GEOLOGISTS				

Tabla 1. Formato de Reporte Geológico Diario-*DGR*.

5.1.2. Reporte de la Unidad de Registro continuo (Daily Mudlogging Report -DMLR).

La información contenida en este reporte se obtiene periódicamente cada 24 horas a partir de la hora cero, y es distribuido diariamente antes de las 06:00 horas. Elaborado por la unidad de registro continuo y es responsabilidad del Wellsite Geologist la distribución y el control de calidad de la información contenida en este. Cuando no se encuentre el WSG en la plataforma por cualquier motivo, es responsabilidad de la unidad de registro continuo enviarlo a los equipos de perforación y de Operaciones Geológicas.

Debe incluir la información general del pozo, desde las 0 horas a las 24 horas indicando la profundidad en *MD* y *TVD*, la actividad que se realizó, la formación que se está perforando a las 6 am, el avance de la perforación respecto al día anterior, la tasa de penetración (*ROP*), el día del *spud*, los días transcurridos desde el *spud*, tipo y breve descripción de la broca, la elevación de la mesa rotaria(*RTE*), profundidad del ultimo revestimiento(*casing*), la profundidad total propuesta, la profundidad alcanzada a las 6 horas en *MD* y *TVD*, reportar si se hicieron cambios en las herramientas de perforación(*BHA*). Incluye la información general de del lodo de perforación, el plan direccional planeado versus el avance, profundidad a la cual se definen los topes respecto a la prognosis, topes tentativos por muestreo, parámetros de perforación, evaluación de show de hidrocarburos, show de gases, *cavings* y cortes, descripción litológica, y resumen de actividades. El *DMLR* es responsabilidad de la unidad de registro continuo pero es responsabilidad del WSG el control de calidad y su distribución. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo del formato del *DGR*.




DAILY MUDLOGGING REPORT

Page 1 of 3

A. General information

Well:	Date:		Report #:	
00:00 - 24:00				
Midnight depth (ft):	T.V.D. (ft):	Activity:	Formation:	
Footage last 24 hr:	Average ROP (ft/hr):	Spud Date:	Days from spud:	
Bit #:	Size:	Type:	Accum. Total hr:	Drilled day hr:
RTE:		Last casing:	Footage:	DULL GRADING
24:00 - 06:00		Proposed TD:		
Depth at 06:00 hr (ft):	TVD (ft):	Formation:		
Footage 00:00 - 06:00 hr:	Average ROP (ft/hr):	Footage 06:00 - 06:00 hr:		
Bit #:	Size:	Type:	ACC HR (00:00 - 06:00):	ACC DRILLED TIME TOTAL:
Serial:			AV ROP (ft/hr) TOTAL:	DULL GRADING

MUD DATA

Type:	GEL - BENEX	DEPTH (FT)	ANG (°)	DRIFT (")	T.V.D. (FT)	N/S- (FT)	E/W (FT)	DLS (°/100FT)
Mud Weight	Solids							
Viscosity	C1							
P.V.P.	C4							
Gels	Filt							

LAST DEVIATION SURVEYS

FORMATION		Predicted tops		Tentative tops by samples		Struct. Difference (ft)	
MD (ft)	TVD (ft)	MD (ft)	TVD (ft)	MD (ft)	TVD (ft)	Higher (H) TVD (ft)	Lower (L) TVD (ft)
GUAYABO		Surface	Surface	Surface	Surface		
CARONERA	LEON						
	C1						
	C2						
	C3						
	C4						
	C5						
	C6						
	Fault Int. C6						
MIRADOR	C7						
	C8						
	PALEOCENO						
	GUADALUPE						
GACHETA							
UNE							
TD							

B. Drilling parameters.

Time (Hrs)	Footage (gins)	ROP Av. (ft/hr)	WOB (klb)	Flow in (gpm)	SPP (psi)	Torque (klb-ft)	RPM
------------	----------------	-----------------	-----------	---------------	-----------	-----------------	-----

C. Hydraulics.

Depth (ft)	MV (gpm)	Flow in (gpm)	ECD (psi)	Friction Hydros (psi)	Bit Area (ft ² /in ²)	Force Impact (lb)	Veloc. Jet (ft/sec)	Lost Pressure in Bit (psi)	Lost Pressure Total (psi)
------------	----------	---------------	-----------	-----------------------	--	-------------------	---------------------	----------------------------	---------------------------

D. Hydrocarbon show evaluation.

Oil Shows Interval	Litho	ts	Color	Disturb	ts	Inten	Color	Speed	Inten	Color	U.V.L	N.L	RATING
--------------------	-------	----	-------	---------	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----	--------

E. Gas Shows

GAS SHOWS		ppm										RATIO'S CALCULATIONS																																																																																												
Interval	Litho	Tot ts	S.G.G	Net	C ₁	C ₂	C ₃	IC ₄	IC ₅	IC ₆	IC ₇	IC ₈	IC ₉	IC ₁₀	IC ₁₁	IC ₁₂	IC ₁₃	IC ₁₄	IC ₁₅	IC ₁₆	IC ₁₇	IC ₁₈	IC ₁₉	IC ₂₀	IC ₂₁	IC ₂₂	IC ₂₃	IC ₂₄	IC ₂₅	IC ₂₆	IC ₂₇	IC ₂₈	IC ₂₉	IC ₃₀	IC ₃₁	IC ₃₂	IC ₃₃	IC ₃₄	IC ₃₅	IC ₃₆	IC ₃₇	IC ₃₈	IC ₃₉	IC ₄₀	IC ₄₁	IC ₄₂	IC ₄₃	IC ₄₄	IC ₄₅	IC ₄₆	IC ₄₇	IC ₄₈	IC ₄₉	IC ₅₀	IC ₅₁	IC ₅₂	IC ₅₃	IC ₅₄	IC ₅₅	IC ₅₆	IC ₅₇	IC ₅₈	IC ₅₉	IC ₆₀	IC ₆₁	IC ₆₂	IC ₆₃	IC ₆₄	IC ₆₅	IC ₆₆	IC ₆₇	IC ₆₈	IC ₆₉	IC ₇₀	IC ₇₁	IC ₇₂	IC ₇₃	IC ₇₄	IC ₇₅	IC ₇₆	IC ₇₇	IC ₇₈	IC ₇₉	IC ₈₀	IC ₈₁	IC ₈₂	IC ₈₃	IC ₈₄	IC ₈₅	IC ₈₆	IC ₈₇	IC ₈₈	IC ₈₉	IC ₉₀	IC ₉₁	IC ₉₂	IC ₉₃	IC ₉₄	IC ₉₅	IC ₉₆	IC ₉₇	IC ₉₈	IC ₉₉	IC ₁₀₀

OTHER GASES

Interval (ft)	Ther. Cuttings (bbbl)	Real cuttings (bbbl)	Cuttings (bbbl)	MW	REMARKS
---------------	-----------------------	----------------------	-----------------	----	---------

G. Lithological Description (00:00hrs to 24:00hrs):

Interval (ft)	Formation	LITHOLOGY
---------------	-----------	-----------

H. Lithological Description (24:00hrs to 06:00hrs):

Interval (ft)	Formation	LITHOLOGY
---------------	-----------	-----------

I. Summary of Activities: (00:00 - 24:00)

J. Summary of Activities: (24:00 - 06:00)	
•	
NEXT ACTIVITY:	
•	

Company Man: _____ Well Site Geologist: _____

MUD LOGGING CREW: _____ Geologist: _____

ADT Engineers: _____

Tabla 2. Formato de Reporte Unidad de Registro Continuo-DMLR.

5.1.3. Registro de Evaluación de Formación (Formation Evaluation Log-FEL). Es un registro grafico el cuál es el testigo final de la información geológica obtenida del pozo, el uso uniforme de este registro optimizará y garantizará la calidad de la información, para una evaluación final correcta. El *FEL* consta de dos partes: la parte superior o encabezado donde registra información general del pozo, la empresa operadora, el bloque/contrato donde está ubicado el pozo, la cuenca, taladro de perforación, elevación de la mesa rotaria y del terreno, día del *spud*, el día que se alcanzó la profundidad final, escala, coordenadas, información del casing, diámetros del hueco, lodo de perforación, leyendas geológicas, parámetros de perforación, personal de la unidad de registro, WSG, e ingenieros de datos.

La sección inferior corresponde al cuerpo del registro, incluye la profundidad, parámetros de perforación tales como el peso sobre la broca (*WOB*), revoluciones por minuto (*RPM*),

presión sobre la tubería, flujo, torque, intervalos de la tasa de penetración (ROP), comentarios durante la operación, porcentaje de litología, interpretación litológica a partir de muestras, mineralogía, porosidad visual, lectura de proporciones de gas e interpretación litológica. Posee una escala vertical 1: 500 en *MD* y *TVD* y comentarios especiales como minerales traza entre otros. Ver Figura 1.

La información contenida en este reporte se obtiene periódicamente cada 24 horas a partir de la hora cero, y es distribuido diariamente antes de las 06:00 horas, siempre que haya perforación, es decir cuando en el pozo se realice otro tipo de operación diferente a la perforación no se realiza este reporte. Es elaborado por la unidad de registro continuo y es responsabilidad del Wellsite Geologist la distribución y el control de calidad de la información contenida en este.

5.1.4. Reporte de Derrumbes (Caving Data Sheet -CAV). Reporta el volumen total de los cortes obtenidos; que fueron removidos del pozo durante la del hueco. Los valores se obtienen cada hora o menos, según se requiera para su control.circulación en las 24 horas o en un tiempo definido que debe quedar descrito. Este volumen puede corresponder a cortes generados por la perforación del hueco, por erosión o por repaso

Debe incluir la información general del pozo, el tipo de taladro, fase de perforación actual, diámetro de la broca, volumen total en la *shaker*, parámetros de perforación, porcentaje y forma de los fragmentos, litología y la actividad que se estaba realizando. Siempre se debe tratar de resaltar los aspectos más relevantes del reporte. Ver Tabla 3.

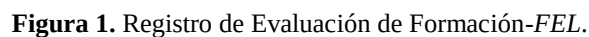


Tabla 3. Formato de Reporte de Derrumbes-CAV

5.1.6. Reporte de Incidentes (Incident Report). La información incluida en este reporte corresponde a todas las actividades que se realizaron durante la operación. La información contenida en este reporte se obtiene todo el tiempo; se actualiza periódicamente cada 24 horas a partir de la hora cero, y es distribuido diariamente antes de las 06:00 horas. Incluye todas las

actividades operacionales que se realizaron en el taladro, y los parámetros tales como profundidad del hueco, posición del gancho, peso sobre la broca (*WOB*), intervalo de tasa de penetración (*ROP*), revoluciones por minuto (*RPM*), torque, flujo, presión y lectura de gases.

5.2. Marco Contextual

5.2.1. Localización área de estudio. El pozo exploratorio que va a ser parte de esta metodología está ubicado en la cuenca Llanos Orientales en su sector occidental. La cuenca Llanos Orientales se localiza en la región centro oriental de Colombia, limitada al este por el escudo Guayanés, al oeste por la Cordillera Occidental, norte con el límite geográfico de Venezuela y al sur por el Arco del Vaupés y la Serranía de la Macarena (Barrero. D et al). Ver figura 2 y 3.



BOUNDARIES

North: Geographic Border Venezuela

South: Serranía de la Macarena (SM), Vaupés Arch (VA), and Precambrian metamorphic rocks (PM)

West: frontal thrust system of the Eastern Cordillera

East: Guyana Shield Precambrian rocks (GS)



Figura 2. Localización Cuenca Llanos Orientales de Colombia. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Barrero.D; Pardo.A; Vargas.C; Martínez.J. Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH. Recuperado de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf

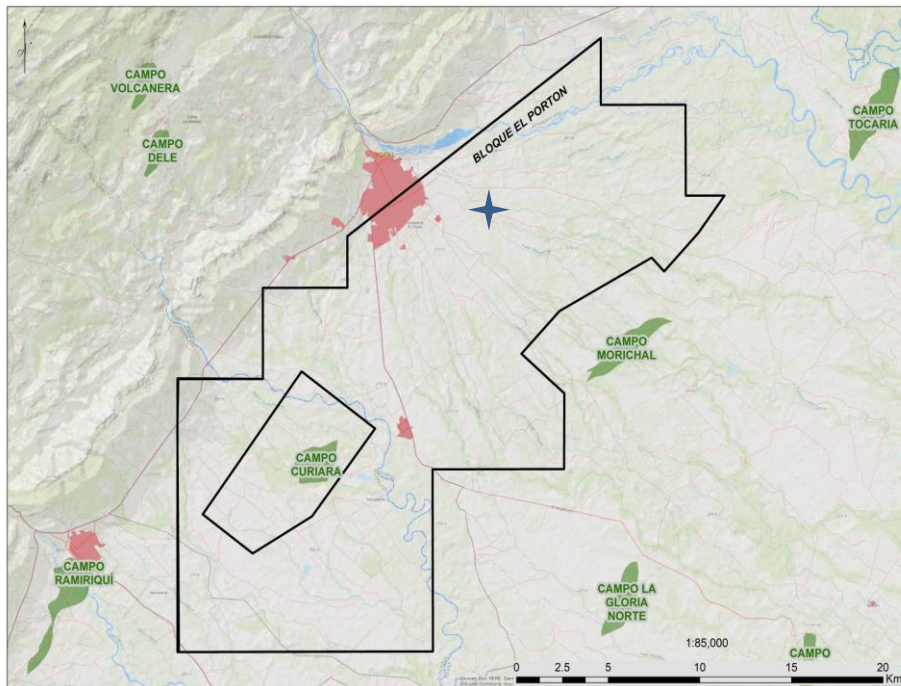


Figura 3. Localización del pozo exploratorio Prosperidad-1.

5.3. Marco Geológico

5.3.1. Marco Estructural. La cuenca Llanos Orientales es una cuenca de antepais (*Foreland*) desarrollada entre el Escudo de Guyana (cratón) y la Cordillera Oriental (orógeno) (ANH, 2012). Desde el punto de vista estructural, el área de estudio se caracteriza por presentar grandes fallas de cabalgamiento, pliegues apretados en el Piedemonte, fallas normales de poco desplazamiento y plegamientos suaves al oriente en el “*Foreland*” (Linares et al, 2003, en Jiménez et al, 2008).

El espacio de acomodación en donde se depositó la secuencia sedimentaria de la Cuenca antepais, se generó por la acreción de la Cordillera Occidental al Continente Suramericano durante el Cretácico Tardío al Eoceno Medio. El proceso de sedimentación finalizó con un importante evento tectónico de deformación ocurrido hacia el Eoceno Medio en este sector de la cuenca, el cual posibilitó el restablecimiento de una etapa de sedimentación en la cuenca de Antepaís, específicamente en las áreas de la Cordillera Oriental y de los Llanos, generando los depósitos fluviales, de llanuras costeras y perimareales de las Formaciones Mirador y Carbonera durante el Eoceno Medio y el Oligoceno (Gómez et al, 2009).

Actualmente, la cuenca Llanos Orientales, se puede dividir en dos dominios estructurales principales: dominio del Piedemonte y dominio de los Llanos. A su vez, este último puede dividirse en dos sub-dominios bien definidos: Llanos de Casanare-Arauca y Llanos del Meta.

5.3.2. Estratigrafía. La columna estratigráfica para el pozo Prosperidad-1, tiene un espesor aproximado de 16300ft, compuesta por rocas de edad Cuaternario, Neógeno, Paleógeno y Cretácico. El principal reservorio en esta parte de la cuenca de los Llanos es la Formación Mirador de edad Eoceno. El segundo reservorio corresponde a rocas de las Formaciones Gacheta y Une de edad Cretácica. Las posibles rocas generadoras corresponden a las Formaciones Gacheta y Fomeque. Ver Figura 4.

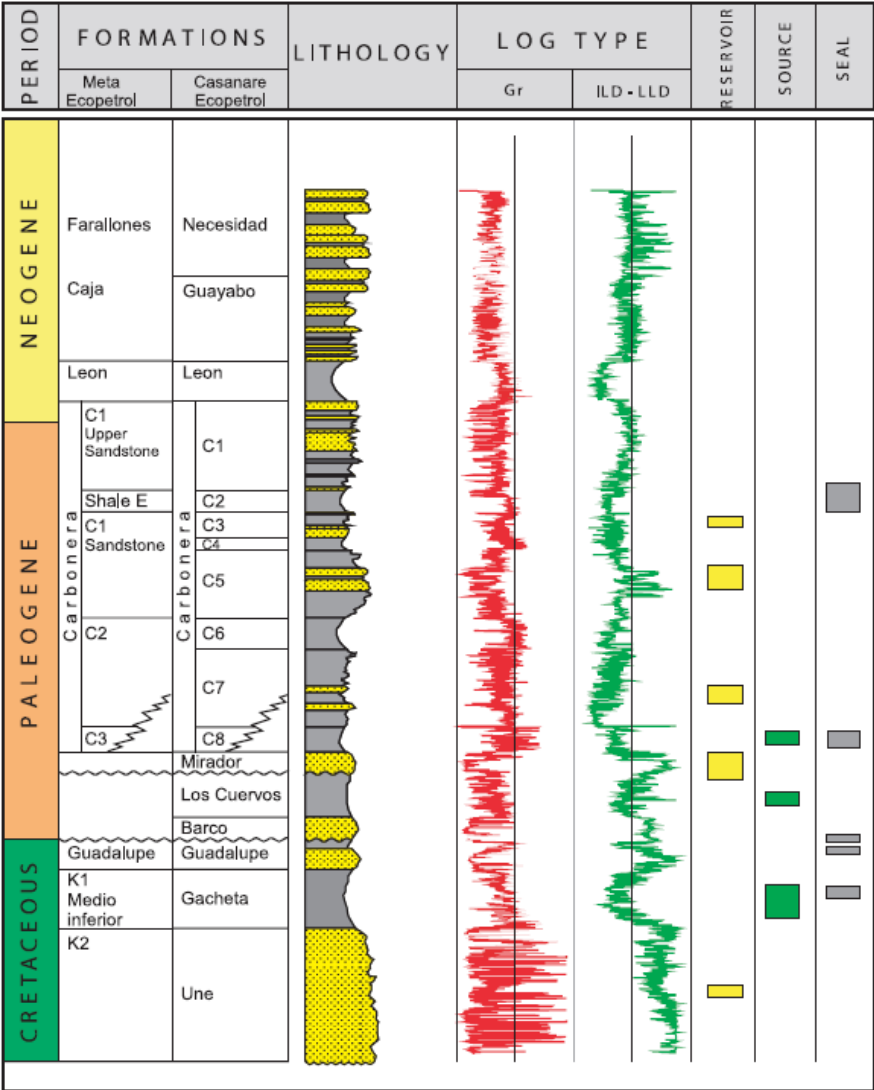


Figura 4. Columna Estratigráfica tipo de la cuenca Llanos Orientales. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Barrero.D; Pardo.A; Vargas.C; Martínez.J. Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH. Recuperado de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf.

5.3.2.1. Formación Guayabo. Corresponde a una secuencia uniforme de gravas, arenas y conglomerados con pequeñas intercalaciones de arcillas y lodolitas rojas que reflejan un ambiente continental. Las arenas y los conglomerados fueron depositados en un ambiente fluvial.

Esta formación ha sido dividida en dos miembros de más antigua a más reciente: el miembro superior o Formación Calzón es compuesta por una sucesión de areniscas cuarzosas de grano medio, amarilla-blanca y rojo ladrillo a arcillolitas grises. El miembro inferior o Formación Charte consiste en arcillolitas rojas y grises y shales con intercalaciones de areniscas amarillentas en menor proporción. Hacia la parte inferior, delgadas capas de lignita son desarrolladas localmente. Es un miembro transicional de los sedimentos continentales de la Formación Guayabo a los sedimentos marinos de la Formación León. La depositación de esta formación fue el resultado de una rápida erosión y depositación de sedimentos desde el rápido levantamiento de la Cordillera Oriental en el Mioceno Superior. El espesor puede ser variable y puede tener hasta 10.000ft (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.2. Formación León. Es constituida por delgadas intercalaciones de limolita y areniscas de grano fino con matices homogéneos de gris a gris verdoso. Localmente los shales son transformados a limolitas. Esta unidad fue depositada en un ambiente marino a marino somero y representa el último pulso transgresivo del mar en la cuenca de los llanos. El espesor varía entre 700 a 2500ft (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3. Formación Carbonera. Consiste en una serie de alternancias de areniscas, arcillolitas gris a gris verdosa, cafés, limolitas y carbón. Las areniscas están en gran proporción en la parte superior e inferior de la sección. Capas de carbón son comunes hacia la parte inferior de la sección. La amplia distribución de estratos de carbón y fósiles de plantas indican generalmente una génesis no marina. Esta formación ha sido dividida en ocho miembros (Carbonera C1 a C8 desde el tope a la base) que forman cuatro pares. Cada par consiste en el miembro superior formado por intercalaciones de areniscas de origen fluvial y arcillas. El miembro inferior está constituido por arcillolitas que fueron depositados en un ambiente de llanuras costeras. Esta formación presenta cuña en la dirección Este (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.1. Miembro Carbonera C1. El miembro superior de la Formación Carbonera está compuesto por una secuencia de arcillas grises, marrones, amarillo ocre, purpura, blanco crema y rojo moteado intercalados con arcillolitas y arenas cuarzosas de grano medio translúcidas a blanco lechoso. Estas arenas pueden alcanzar un espesor de 70ft y son fáciles de correlacionar entre pozos debido a que su espesor varía considerablemente con la distancia. Esta formación fue depositada en un sistema fluvial, siendo los depósitos de areniscas del canal y los depósitos de arcillolitas de la planicie de inundación. Ocasionalmente delgadas capas de carbón son encontradas, especialmente hacia la base de la secuencia (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.2. Miembro Carbonera C2. Consiste en una secuencia uniforme de arcillolitas gris a gris verdoso. Su ambiente de depositación es probablemente una llanura costera y puede tener 300ft de espesor (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.3. Miembro Carbonera C3. Consiste en una secuencia de areniscas, limolitas y arcillolitas intercaladas. Ocasionalmente delgadas con intercalaciones de carbón o material carbonoso. Estos sedimentos son de origen aluvial como en Carbonera C1, pero los canales de arena son más delgados y difíciles de correlacionar entre pozos (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.4. Miembro Carbonera C4. Está compuesto de una relativa delgada secuencia de arcillolitas gris a grisáceo verdoso. Su ambiente de depositación es probablemente una llanura costera (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.5. Miembro Carbonera C5. Esta unidad consiste en una secuencia de arcillolitas grises, marrones, amarillo ocre, purpura, blanco crema y rojo moteado intercalado con areniscas cuarzosas de grano fino a medio traslucido a blanco lechoso, ocasionalmente cementadas y limolitas coloreadas.

La arenisca puede tener 100ft de espesor, sin embargo el espesor varía entre 10ft y 30ft. Esta formación fue depositada en depósitos de canal, las arcillolitas y lodolitas en la planicie de inundación (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.6. Miembro Carbonera C6. Consiste en una uniforme secuencia de arcillas gris a grisáceo verdoso. Su ambiente de depositación es probablemente una llanura costera (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.7. Miembro Carbonera C7. Se compone de una delgada secuencia de intercalaciones de arcillolitas, arenas y limolitas. Las arcillolitas son grises a marrón, moderadamente firmes. Las areniscas cuarzosas de grano fino a muy fino, arcillosas y ocasionalmente carbonosas. Los cuerpos de arena son delgados, usualmente con un rango de espesor de 10ft a 20ft. En la parte inferior tiene arcillas carbonosas con intercalaciones de capas de carbón. El ambiente de depósito es fluvial siendo las areniscas depositadas en canales y las limolitas depositadas en la llanura de inundación (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.3.8. Miembro Carbonera C8. Consiste en una secuencia uniforme de arcillolitas gris a grisáceo verdoso. En algunas partes de la cuenca hay delgadas inter estratificaciones de limolitas y areniscas de grano fino hacia la base de la formación. Su ambiente de depositación es probablemente una llanura costera (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.4. Formación Mirador. Constituye el principal reservorio de la cuenca de los Llanos Orientales. Está formado por una gruesa secuencia de areniscas depositadas en canales amalgamados de ambiente fluvial. La arenisca es de grano medio a grueso, localmente conglomerática, color blanco, limpio, maciza, con estratificación cruzada. Ocasionalmente con delgadas intercalaciones de arcillolitas y limolitas grises. Esta unidad descansa de manera

discordante en la Formación Los Cuervos (sector de colinas) y en la Formación Guadalupe en el sector este de la cuenca (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.5. Formación Los Cuervos. Consiste en shales y arcillolitas de color gris, gris verdoso y marrón amarillento con delgadas intercalaciones de limolitas, capas de carbón y delgadas capas de areniscas con restos vegetales. El contacto superior es discordante superpuesto en la Formación Mirador y en la base es concordante con la Formación Barco. Una transgresión continental marina ha sido interpretada para esta unidad (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.6. Formación Barco. Compuesta por una secuencia moderadamente homogénea de areniscas amalgamadas que fueron depositadas en un ambiente fluvial con canales deltaicos. Las areniscas son de grano medio a grueso, bien calibradas y con estratificación cruzada. Ocasionalmente con delgadas intercalaciones de arcillas grises, parcialmente limoso principalmente hacia la base. Esta formación desaparece por pinchamiento hacia el este de la cuenca (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.7. Formación Guadalupe. Esta formación es el tope de la secuencia cretácica en esta área de la cuenca de los Llanos y forma un importante reservorio. La formación Guadalupe está compuesta por areniscas macivas depositadas en un ambiente marino deltaico con delgados intervalos de shales hacia la base progresivamente hacia un ambiente de areniscas depositadas en un ambiente deltaico fluvial seguido por un ambiente de deposición de llanura costera hacia el tope de la secuencia. En general el cretácico superior en la cuenca de los llanos es dispuesto

acorde con el ciclo de arenisca continental con trasgresión marina y progresiva regresión con los depósitos marginales costeros. En la misma secuencia cretácica, facies importantes y cambios de espesor han sido reconocidos en diferentes áreas de la cuenca de los llanos. Litológicamente, la Formación Guadalupe consiste en areniscas cuarzosas coloreadas, translucidas a blanco lechoso, de grano fino a medio, localmente conglomeráticas, moderadamente bien calibradas. En la parte superior de la formación se encuentran capas de areniscas con fosfatos. Los shales son grises a gris oscuro, moderadamente fuertes y fisiles. Esta formación fue depositada durante el Campaniano a Machistriano. El espesor puede alcanzar 1250ft (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.8. Formación Gachetá. Es constituida principalmente por lodolitas negras y gris oscuro con altos contenidos de materia orgánica, ocasionalmente con intercalaciones de arenas cuarzosas de grano fino a medio. Esta formación ha sido asignada a ambientes de depósito marino y es considerada la principal fuente de hidrocarburos de la cuenca de los Llanos (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.9. Formación Une. Es una secuencia homogénea de grano medio, color claro, ocasionalmente glauconítica y localmente arenisca conglomerática, depositada en ambiente marino (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

5.3.2.10. Paleozoico. Caracterizado por una secuencia de arcillolitas naranjas con intercalaciones de arcillolitas de color verdoso y ocasionalmente capas de areniscas de grano medio a fino (Informe interno Gran Tierra Energy, 2019).

6. Resultados

Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en los capítulos a continuación:

- **7. Etapa Pre Operativa**
- **8. Etapa Operativa**
- **9. Etapa Post Operativa**

7. Etapa Pre-Operativa

Es la etapa previa al trabajo perforación, su fin es establecer un plan de trabajo geológico y de ingeniería para perforar el pozo, se lleva cabo la compilación de la información de operaciones geológicas en pozos cercanos. Se obtiene la información disponible de los reportes e informes de los pozos cercanos a donde se planea perforar el pozo, incluye informes post mortem, correlaciones estratigráficas, registros de los pozos, registros litológicos y de evaluación de formación, resultados de pruebas de producción, descripciones de las muestras de zanja, de los fluidos de formación, petrografía, bioestratigrafía y geoquímica, parámetros de perforación usados en pozos cercanos , fases de perforación, todas con el fin de reconocer que información puede servir para planear y tener en cuenta durante la perforación del pozo, trayectoria del pozo, fases, insumos, litología, parámetros para realizar el muestreo, los registros que se desean adquirir y la posterior disposición de la información.

7.1. Información general del pozo planeado

Incluye la información más general e importante del pozo como el nombre, la clasificación del pozo, el bloque o contrato, cuenca geológica, día propuesto para iniciar la perforación, expectativa de la duración de las operaciones de perforación, herramienta a utilizar, datum de referencia sobre el nivel del suelo (*GL*) y sobre el nivel del mar (*SL*), trayectoria del pozo, coordenadas de superficie reales y de fondo, target primario y secundario con sus respectivas coordenadas y profundidades en *MD* y *TVD*, tolerancia del target, Criterios del *TD* y propuesta del *TD*, Ver Tabla 4.

Información General del Pozo	
Nombre del pozo	Prosperidad-1
Clasificación	Exploratorio A-3
Nombre del Bloque	El Portón
Cuenca geológica	Llanos Orientales
Día propuesto para el spud	07 de Febrero de 2019
Expectativa de la duración de las operaciones	58 días
Contratista de perforación y nombre del taladro	---
Datum de referencia para toda la profundidad del pozo	Mesa Rotaria
Datum de referencia sobre el nivel del suelo (GL) y el mar (SL)	RTE A MSL: --- GL a MSL: ---
Trayectoria del pozo	Desviado, tipo J
Localización en superficie: UTM MAGNA SIRGAS/ Colombia Bogotá Zone	X: ---- Y: ----
Target primario	Formación Mirador
Target secundario	Formación Gacheta, Formación Une.
Tolerancia del target	Formación Mirador: Semicirculo con cero tolerancia hacia el E. Formación Une: circulo.
Propuesta del TD y criterios	Perforar 150 pies por debajo del último show de petróleo en la Formación Une. Si no hay show de petróleo, entonces el pozo estará a 150 pies por debajo del tope de la Formación Gacheta.

Tabla 4. Información general del pozo.

7.2 Descripción y resumen del prospecto exploratorio

Define las características estratigráficas, estructurales y de geología del petróleo del pozo exploratorio. Debe incluir la localización del pozo, el *play*, mapas estructurales en profundidad, líneas sísmicas en rumbo y buzamiento, correlación con los pozos offset y la columna estratigráfica local.

El prospecto Prosperidad-1 es localizado regionalmente en la parte media a más profunda de la cuenca *foreland* de los Llanos Orientales. Esto se puede describir como un cierre estructural en tres direcciones ante una falla antitética la cual ha sido estadísticamente el *play* más prolífico en esta área de la cuenca (Ver Figura 5).

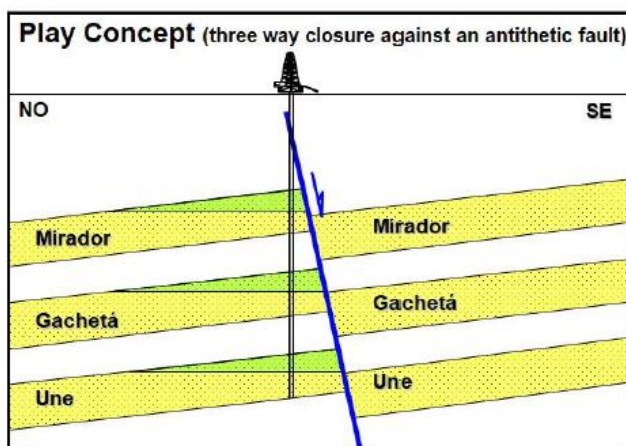


Figura 5. Concepto de play para el pozo Prosperidad-1. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Barrero.D; Pardo.A; Vargas.C; Martínez.J. Agencia Nacional de Hidrocarburos- ANH. Recuperado de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf.

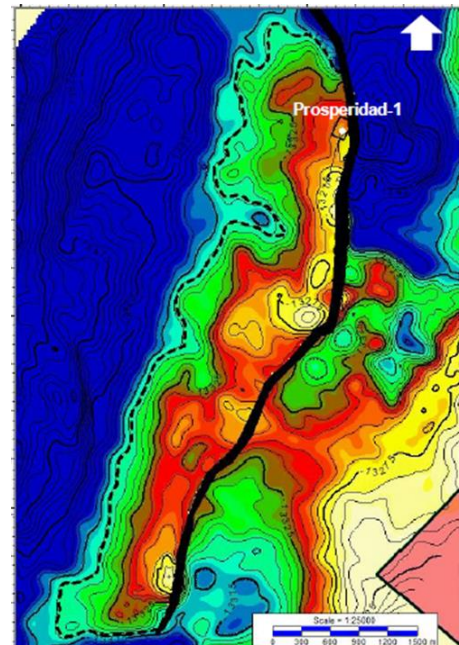


Figura 6. Mapa estructural en profundidad al tope de la Formación Mirador en TVDss. Informe interno Gran Tierra Energy, 2019.

El principal objetivo para el pozo Prosperidad-1 fue probar hidrocarburos en la secuencia de areniscas de la Formaciones Mirador, Gacheta y Une. Estos tres objetivos en esta área han mostrado potencial en la acumulación de hidrocarburos. En la figura 6 se puede ver el mapa estructural en profundidad para el tope de la Formación Mirador. Las líneas sísmicas representativas se muestran en las figuras 7 y 8. Los pozos offset más cercanos a Prosperidad-1 son el pozo A al sur- este y B al sur - oeste. La columna geológica que fue perforada para este pozo es similar al pozo A, es el más cercano de Prosperidad-1.

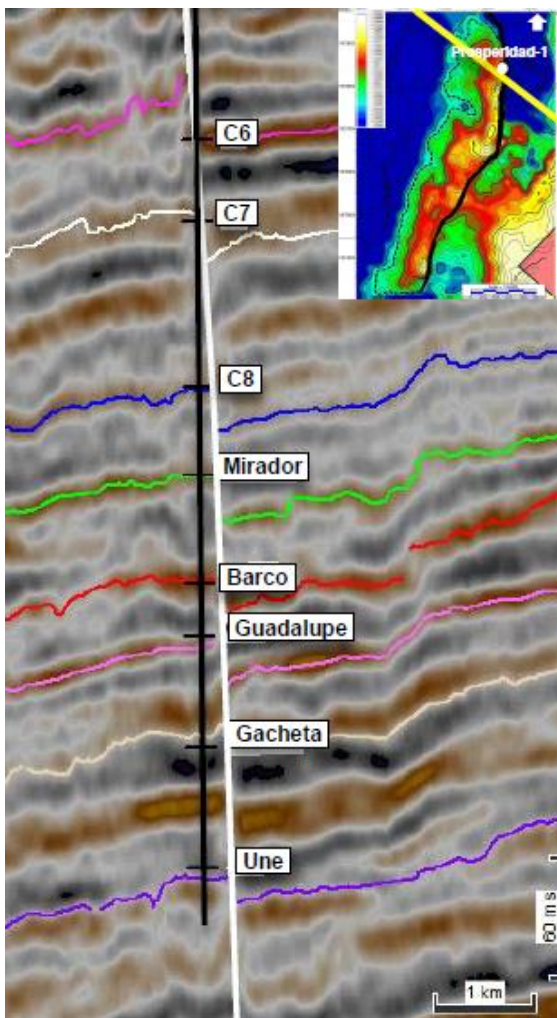


Figura 8. Línea sísmica de buzamiento a la largo del prospecto Prosperidad-1.

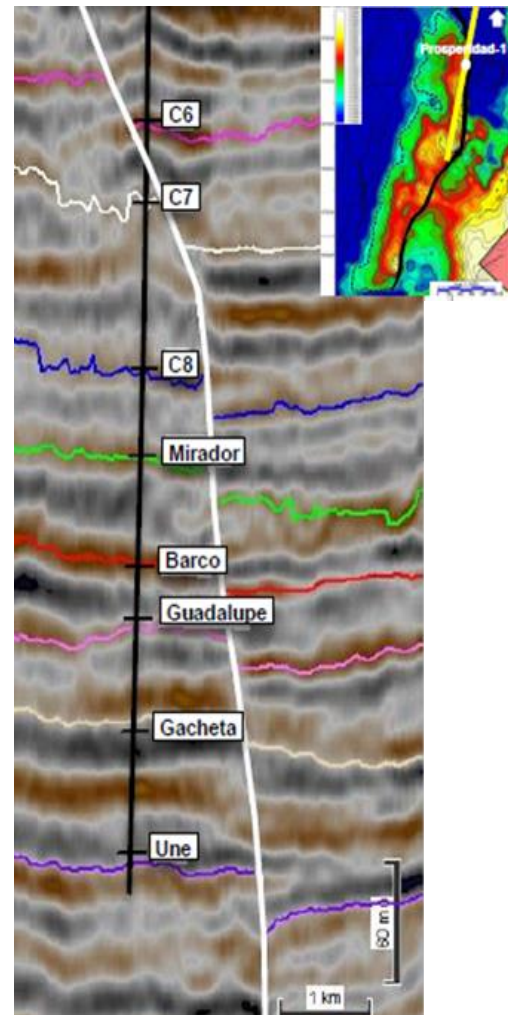


Figura 7. Línea sísmica de rumbo a la largo del prospecto Prosperidad-1.

7.3. Composición litológica esperada del pozo y prognosis geológica

La prognosis geológica de perforación designa la localización en superficie y la profundidad total planeada del pozo (*TD*). Es un pronóstico preliminar de cómo deben encontrarse los diferentes topes de cada formación a medida que se va profundizando en la perforación, son un insumo para proyectar el comportamiento y los parámetros de perforación, es decir dependiendo del tipo de litología, de la trayectoria del pozo, del lodo de perforación la *ROP* puede aumentar o disminuir. El proceso para la elaboración de la prognosis inicia con una línea sísmica la cual ha sido anteriormente procesada, con esta información se realiza un mapa en tiempo y otro en profundidad y con la información de los pozos cercanos es decir los pozos offset se hace un mapa de velocidades promedio desde el datum de la sísmica de referencia hasta el tope de las formación del interés. Ver Tabla 5.

La prognosis geológica debe quedar incluida como un insumo dentro del programa de perforación y por ende dentro del programa de operaciones geológicas del pozo, y debe contener como mínimo: coordenadas de superficie y fondo, altura mesa rotaria. Nombres de unidades que pretende perforar con sus respectivas profundidades (*MD*, *TVD* y *TVDss*), espesores y margen de error.

7.4. Trayectoria del pozo planeado y definición de la tolerancia del target

La geometría de los pozos depende de la ubicación del taladro en superficie respecto a las coordenadas y profundidad de los objetivos exploratorios, es decir la localización de estos se ve condicionada por limitantes ambientales o sociales del proyecto. El objetivo de la geometría del pozo es alcanzar con éxito las principales formaciones de interés y reducir posibles problemas mecánicos. Existen tres perfiles principales que pueden ser previstos para el diseño de la

trayectoria de un pozo: perfil de deflexión superficial o en J, perfil de curva en S y perfil de deflexión aguda.

EDAD	FORMACIÓN	MD(ft)	TVD(ft)	TVDss	ESPEJOR TVD(ft)
Mioceno	Guayabo	-	-	-	-
		20'' Casing ft MD			
	León	-	-	-	-
		13 3/8'' Casing ft MD			
	Carbonera	C1	-	-	-
		C2	-	-	-
		C3	-	-	-
		C4	-	-	-
		C5	-	-	-
		C6	-	-	-
		Falla dentro C6	-	-	-
		C7	-	-	-
		C8	-	-	-
Oligoceno	9 5/8'' Casing ft MD				
Eoceno	Mirador	-	-	-	-
Paleoceno	Barco-Cuervos	-	-	-	-
Maastrichtiano/Campaniano	Guadalupe	-	-	-	-
Cenomaniano/Santoniano	Gacheta	-	-	-	-
Aptiano	Una	-	-	-	-
	FTD	-	-	-	-

Tabla 5. Ejemplo de prognosis geológica del pozo Prosperidad-1.

El pozo Prosperidad-1 se planeó como un pozo tipo J, está caracterizado por una deflexión superficial inicial (ver Figura 9). Cuando se logra la inclinación y azimuth deseados, se reviste el pozo para proteger la sección de levantamiento. Se mantiene el ángulo del pozo con el fin de llegar al objetivo. Este tipo de pozo se usa para perforar pozos profundos que requieren un gran desplazamiento lateral y pozos direccionales.

Tolerance target: es la máxima distancia que se puede mover o desviar el pozo en profundidad cuando está en la formación de interés, es decir en el target y corresponde a un polígono. Es definido por el área de exploración.

La tolerancia para las formaciones Mirador y Une en el pozo Prosperidad-1 se muestra respectivamente en la Figura 10.

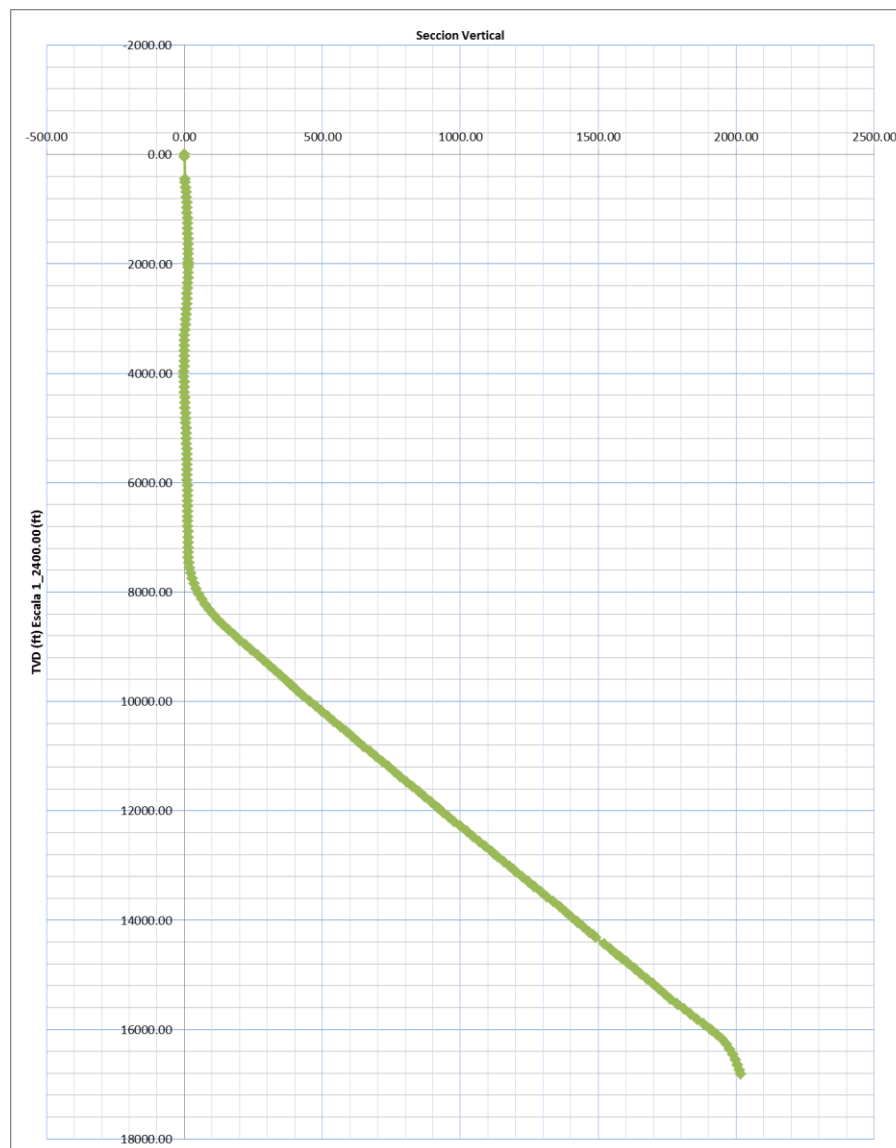


Figura 9. Trayectoria del pozo Prosperidad-1.

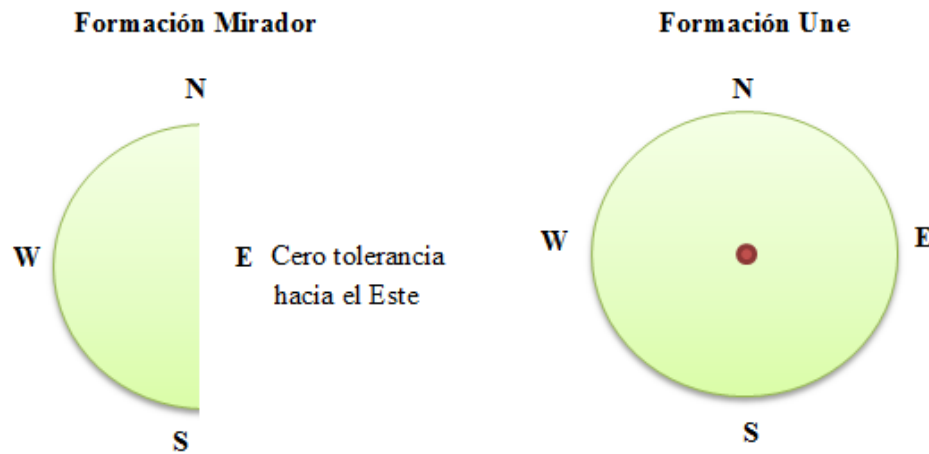


Figura 10. Tolerance target para el pozo Prosperidad-1.

7.5. Profundidades y criterios para definición de los puntos de revestimiento

Los puntos de revestimiento son las profundidades a las cuales se estima terminar cada una de las fases de perforación y bajar el revestimiento dentro del hueco para ir protegiéndolo y aislando las paredes del pozo, constituyen uno de los componentes estructurales más importantes del pozo, revestir el hueco en tubería de acero o revestimiento (*casing*) es una operación esencial en la perforación.

Durante la perforación de un pozo el diámetro del hueco perforado se hace sucesivamente más pequeño y los tubos se enroscan o soldan entre sí para conformar una tubería a lo largo de la profundidad deseada. Una vez instalado el revestimiento se cementa para proporcionar soporte adicional y sello de presión al pozo. El revestimiento en un pozo tiene como función evitar que las formaciones se derrumben dentro del pozo, aislar las formaciones inestables o con problemas (es decir zonas de alta presión, acuíferos, zonas de gas, formaciones frágiles), proteger las formaciones productoras, proporcionar mayor tolerancia en caso de una patada o

kick (entre más profundo sea un revestimiento, mayor será la presión de fractura necesaria en que se ha sentido en el *casing*, lo que significa que se pueden controlar presiones cada vez mayores a medida que se va profundizando en el pozo), permitir pruebas de producción. Las profundidades y criterios para ubicar el casing en el pozo Prosperidad-1 se muestran en la Tabla 6 y en la Figura 11.

Diámetro del Hueco (Pulgadas)	Diámetro del Casing (Pulgadas)	Profundidad (Pies)	Criterio
30"	26"	Superficie a ---ft	Aislar paquetes conglomeraticos para evitar pérdidas de circulación.
26"	20"	Punto del casing a Parte alta a intermedia de la Formación Guayabo.	Aislar los cuerpos de agua dulce en la Formación Guayabo y dar integridad para instalar BOP.
16"	13 3/8"	Punto de Casing a la parte alta de la Formación León	Cubrir toda la Formación Guayabo para minimizar la inestabilidad por tiempo de exposición.
12 ¼"	9"	Punto de Casing a la parte inferior de la Formación Carbonera C8	Mejorar la integridad para el control del pozo en la sección 12 ¼ y soportar las unidades litológicas que deben ser perforadas con peso del lodo mayor a 11ppg
8 ½"	7"	Punto de Casing a TD	Integridad a las Formaciones de interés.

Tabla 6. Criterios y puntos de revestimiento del pozo Prosperidad-1.

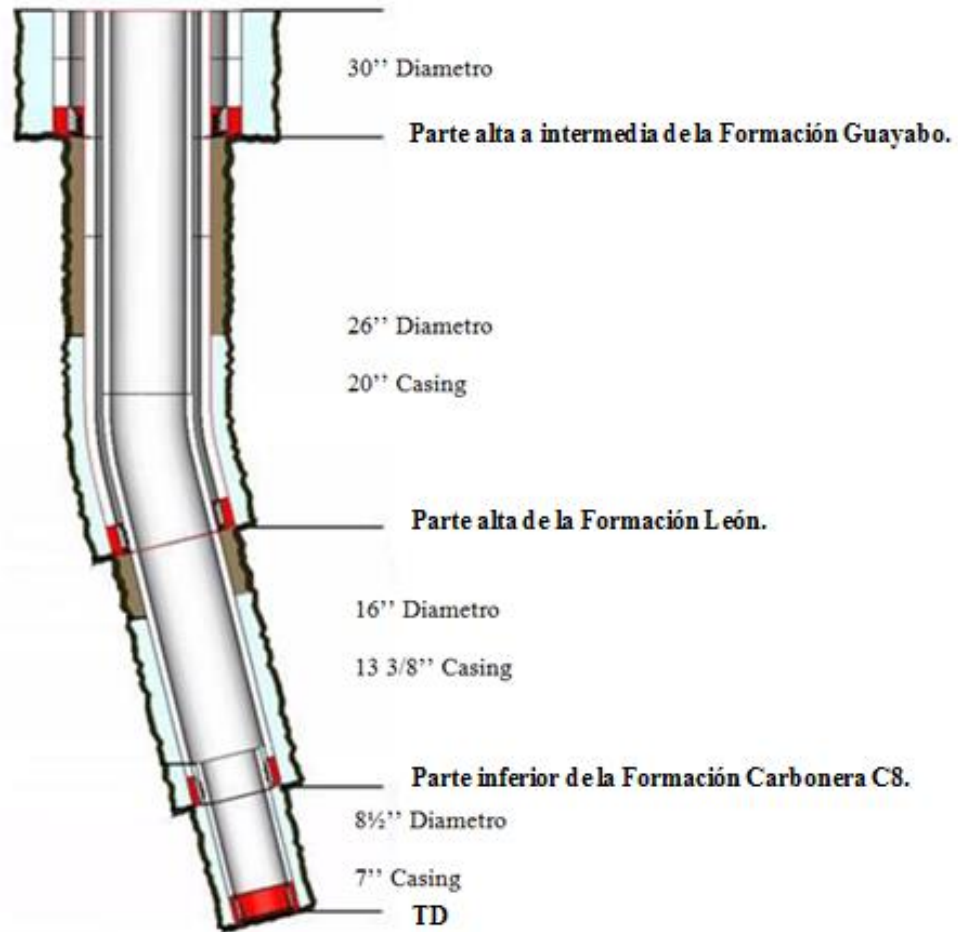


Figura 11. Diagrama del estado mecánico para el pozo Prosperidad-1.

7.6. Pozos Offset

Son los pozos cercanos que se deben tener en cuenta a la hora de planificar y ejecutar la perforación de un nuevo prospecto, es decir son los pozos de referencia. Estos pozos son escogidos dependiendo el comportamiento estratigráfico y estructural de la cuenca, lo que se busca es tener pozos análogos al prospecto que se quiere perforar para poder predecir el comportamiento de la litología y prever los posibles problemas durante la perforación.

Los pozos offset para el prospecto Prosperidad-1 fueron escogidos de acuerdo a la distancia, es decir los más cercanos al área donde se perforo el pozo y que tuvieran una

secuencia estratigráfica y arreglo estructural similar. Generalmente obtener esta información es difícil porque no se encuentra disponible en el EPIS, no fue adquirida o por confidencialidad de las empresas operadoras. Los pozos offset para Prosperidad-1 se encuentran en la Tabla 7 y la correlación estructural con estos en la Figura 12.

Pozos Offset más relevantes				
Nombre del Pozo	Tipo de Pozo	Estado Actual	Fecha	Resumen Geológico-Estratigráfico
A	A-3 Perforado	Abandonado	20/06/1984	El espesor calculado por GTE en TVD es: C6 305ft, C8 194ft, Mirador 406ft y Gacheta 462ft.
B	B-3 Exploratorio y Productor	Productor de la Formación Mirador	26/04/2013	Falla sintética, play en una estructura no convencional en la cuenca de los Llanos. Espesor de la Formación Mirador 280ft TVD.
C	A-3 Exploratorio	Tuvo problemas en Carbonera C7 por influjo, se aumentó el peso del lodo, pero durante el control del pozo se observó inestabilidad. Hubo bajo porcentaje en gases totales y muy pobres shows en el reservorio. Abandonado	28/01/2011	Los siguientes espesores fueron definidos de acuerdo a cortes. Carbonera C8 417ft TVD. Formación Mirador 247ft TVD, Formación Guadalupe 398ft TVD, Formación Gacheta 482ft TVD.

Tabla 7. Pozos Offset y principal información geológica del pozo Prosperidad-1.

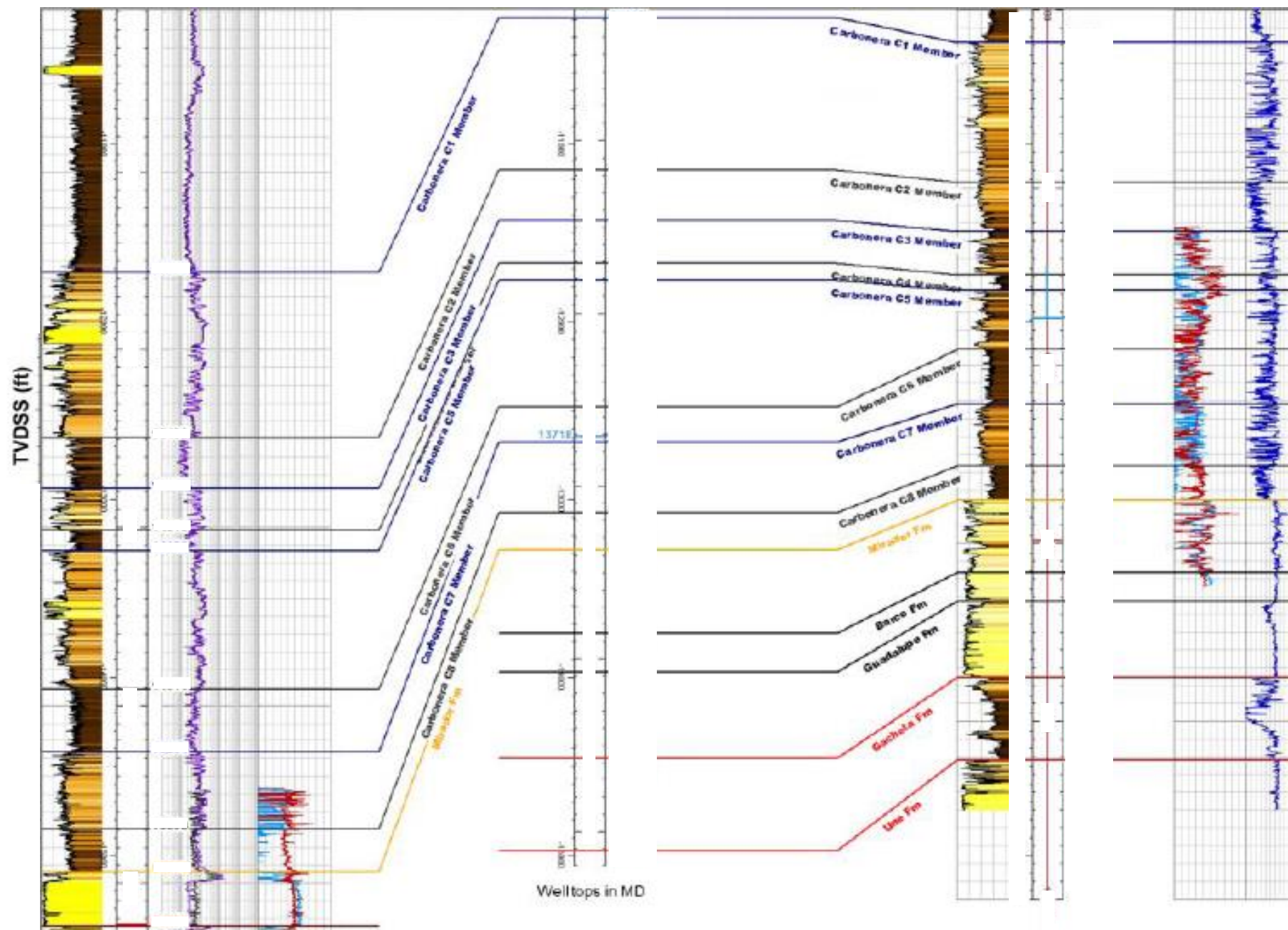


Figura 12. Correlación Estratigráfica para el pozo Prosperidad-1 con los pozos offset.

7.7. Posibles problemas de ingeniería o geología durante la perforación

Antes de iniciar la perforación del pozo exploratorio se debe tener una visión del comportamiento mecánico y estructural de las formaciones a perforar y de los problemas presentados durante la perforación de los pozos anteriores cercanos al área donde se perforara el pozo exploratorio. Esta información es definida por las áreas de exploración, perforación y operaciones geológicas. En el pozo exploratorio Prosperidad-1, se identificaron que se podrían presentar los siguientes problemas durante la perforación:

- **Fracturamiento en formaciones poco profundas:** tener una tasa de flujo baja en la Formación Guayabo para evitar fracturamiento alrededor de las 26 pulgadas.
- **Perdida de lodo y pega diferencial de la tubería:** Algunas capas de arenisca de las Formaciones Guayabo y Carbonera (C3 y C5) pueden presentar pérdidas de lodo debido a la baja presión de estos paquetes de arenisca y generar pega diferencial. De acuerdo con las correlaciones provistas por el equipo de exploración, es posible no encontrar la Formación los Cuervos pero es necesario considerar la posibilidad de perforarla en algún caso. Esta unidad está compuesta por limolitas y areniscas y puede generar pega diferencial en la tubería debido a que en esta sección el peso del lodo es menor. El WSG y la unidad de registro continuo deben comunicarse con el ingeniero ADT e informar cualquier cambio en los tanques al supervisor de perforación y al área de operaciones geológicas.
- **Inestabilidad de los Shales:** en la Formación León la principal litología de esta unidad son shales verde oliva, se debe tener en cuenta que el alto tiempo de exposición de esta unidad puede generar inestabilidad en el pozo. El WSG y la unidad de registro continuo deben monitorear muy de cerca el volumen de *caving* en esta formación en toda la

operación, si se observan cambios en el volumen y las características de las cavidades, se debe informar al supervisor de perforación en la locación y al área de operaciones geológicas.

- **Niveles altos de gas y posible afluencia de HC:** En el pozo C se registró un evento de afluencia que generó pérdida en el diámetro del hueco. Los altos volúmenes de gas y la posible entrada de HC son un riesgo en la unidad Carbonera C7. La perforación con presión administrada se utiliza para controlar el ECD y también para la detección temprana de cualquier afluencia. Los valores de gases deben ser monitoreados muy de cerca y cualquier incremento debe ser reportado inmediatamente al supervisor de perforación en la locación y al área de operaciones geológicas.
- **Comportamiento de la litología:** La Formación Guayabo y León están compuesta por arcillolitas con comportamiento plástico que puede generar pequeñas bolas, pero pueden ser controladas con parámetros de perforación (incrementando la tasa de flujo y bajo peso en la broca). Es necesario que el WSG y la unidad de registro continuo reporten cualquier cambio en los parámetros de perforación al supervisor en el campo y al área de operaciones geológicas.

7.8. Planeación de reportes, registros y parámetros para el seguimiento geológico durante la perforación por parte del Wellsite Geologist

Durante toda la operación de perforación se requiere que siempre haya un WSG en la locación para asesorar y reportar todo lo que sucede en el pozo al área de Operaciones Geológicas y a las demás áreas directamente involucradas en la operación. Es fundamental que WSG supervise, proporcione control de calidad y esté presente en la adquisición de muestras geológicas, data de

la unidad de registro continuo y la unidad de *LWD*. Debe proporcionar soporte geológico al supervisor de perforación, contratistas directos, ingenieros *LWD* y a los ingenieros de registros *Wireline*. Debe reportar la información geológica a diario y mantener una comunicación constante con al área de Operaciones Geológicas.

Finalmente debe organizar y supervisar el despacho de muestras geológicas y en general toda la data adquirida en el pozo, también responsable de compilar y transmitir los reportes según sea necesario.

La periodicidad de reportes establecida para el pozo Prosperidad-1 se muestra en la Tabla 8.

Título/ Formato	Periodo	Método de Reporte
Daily Geological Report (pdf y word para editarlo en caso de que sea necesario)	00.00-24.00hrs con una actualización a las 6:00hrs.	Email al área Operaciones Geológicas a las 6:30hrs.
Email de actualización de la tarde	6:00hrs a las 16:00hrs	Email al área de Operaciones Geológicas a las 16:30hrs.
Formas Mudlogging QC (pdf)	Semanal	Email a Operaciones Geológicas
Fotografías de muestras del corte al microscopio (pdf)	Zonas de interés y requeridas por el área de Exploración.	Email a Operaciones Geológicas
Fluorescencia antes y después del corte, fotos.	Tomarlo cuando se observe fluorescencia de HC en los cortes o cuando requiera el área de Exploración	Email a Operaciones Geológicas
Reporte de Registros Wireline (pdf)	Según corresponda, después de cada operación de registro	Email a Operaciones Geológicas

Tabla 8. Reportes a cargo del WSG en locación indicando su periodicidad, responsabilidad y forma de envió.

7.9. Reportes de la Unidad de Registro Continuo (Unidad de Mudlogging)

La Unidad de Registro Continuo debe proporcionar monitoreo y registro continuo de evaluación de presión, datos geológicos y de ingeniería. La unidad de registro continuo está bajo supervisión del WSG y a su vez del área de Operaciones Geológicas. Los reportes requeridos

para el pozo Prosperidad-1 a cargo de la unidad de registro continuo se encuentran en la Tabla 9. Todos estos reportes deben ser revisados por el WSG y enviados por la unidad de registro continuo.

Titulo/ Formato	Periodo	Tiempo del Reporte
Mudlogging Daily Report (pdf)	00.00-24.00hrs con 06.00hrs de actualizacion	Provisto por el WSG a las 06.00hrs
Formation Evaluation Log	00.00-24.00hrs con 06.00hrs de actualizacion	Se hace corte a las 05:00. Provisto por el WSG a las 06.00hrs
Incident Time Log (pdf)	00.00-24.00hrs	Provisto por el WSG a las 06.00hrs
Cavings Report (pdf)	00.00-24.00hrs	Provisto por el WSG a las 06.00hrs
Drilling and Gas parameter digital file (LAS)	00.00-06.00hrs	Provisto por el WSG a las 06.00hrs, Incluye actualizacion a lo largo del día según sea solicitado)
Hdraulics Report	00.00-24.00hrs	Provisto por el WSG a las 06.00hrs
Drilling Evaluation Log (pdf)	Desde el inicio de la seccion hasta la profundidad alcanzada a las 24:00hrs.	Provisto por el WSG según sea solicitado.
Pressure Evaluation Log (pdf). Escala 1:1000	Desde el inicio de la seccion hasta la profundidad alcanzada a las 24:00hrs.	Provisto por el WSG según sea solicitado.
Gas Ratio Log (pdf)	Desde el inicio de la seccion hasta la profundidad alcanzada a las 24:00hrs	Provisto por el WSG según sea solicitado.
Maintenance Schedule (pdf)	Semanal	Continua en el taladro
Quality control report (pdf)	Semanal	Continua en el taladro
Final Mudlogging Report	Final del Pozo	Se envia a operaciones geologicas

Tabla 9. Reportes requeridos a la unidad de registro continuo con frecuencia y horario de envío.

7.10. Requisitos para el muestreo de ripios durante la perforación en la unidad de registro continuo

El muestreo de ripios o muestras de zanja húmeda y seca corresponde a una de las actividades más importante durante la perforación de un pozo. Son los testigos principales de la información que se encuentra en profundidad. Durante la perforación se debe tener claridad de cuáles son los intervalos de interés no solo del reservorio sino de las secciones anteriores reglamentarias por las diferentes entidades veedoras del país como la Agencia Nacional de Licencias Ambientales

(ANLA), Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Para el pozo Prosperidad-1 se establecieron siete tipos de muestreos diferentes incluyendo los internos de Gran Tierra Energy y los requeridos por las diferentes entidades ver Tabla 10.

Set	Tipo	Desde	Hasta	Intervalo (ft)	Lugar de Envió
A1	Muestras húmedas y lavadas (500g).	Superficie	Tope C5	60ft	GTE
		Tope C5	FTD	30ft	
A2	Muestras secas y lavadas (200g).	Superficie	Tope C5	30ft	
		Tope C5	FTD	10ft	
B1	Muestras húmedas y lavadas (1000g).	Superficie	Tope C5	60ft	ANH- SGC
		Tope C5	FTD	30ft	
B2	Muestras secas y lavadas (200g)	Superficie	Tope C5	30ft	
		Tope C5	FTD	10ft	
C	Muestras húmedas y sin lavar (1000g)	Superficie	Base de la Fm Guayabo	10ft	ANLA-SGC
D	Muestras húmedas y sin lavar para Bioestratigrafía (80g).	Tope de C7	Tope Fm Mirador	30ft	GTE
		Tope Fm Mirador	Nivel medio de la Fm Guadalupe	10ft	
		Nivel medio de la Fm Guadalupe	FTD	30ft	
E	Muestras lavadas y secas para Geoquímica (25g).	Tope de la Fm Gacheta	Tope de la Fm Une	30ft	GTE
F	Muestras secas y lavadas	Iniciando la sección 12 ¼	FTD	30ft	GTE
G	Cavings largos	Siempre que exista una cantidad excesiva que involucre cavings largos (> 3 cm),		N/A	GTE

Tabla 10. Muestreo de ripios o muestras de zanja definido para el pozo Prosperidad-1.

7.11. Registros Logging While Drilling y Wireline

7.11.1. Registros MWD/LWD. Midiendo mientras se registra (*Measured While Drilling-MWD*) es una herramienta que me permite medir las propiedades físicas tales como presión, temperatura y trayectoria del pozo. Registrando mientras se perfora (*Logging While Drilling-LWD*) es una herramienta que me permite tomar registros mientras se perfora, los sensores son instalados en la pared del cuello del taladro hasta el fondo de la sarta y mide las propiedades como porosidad, resistividad, velocidad sónica y rayos gamma de las distintas formaciones de manera continua durante el proceso de perforación. Para el pozo Prosperidad-1 el objetivo del programa es ayudar a seleccionar los puntos de revestimiento hasta el *TD* y recopilar curvas de registros básicas para correlación y asegurar la adquisición de registros en caso de no adquirir registros en modo Wireline.

El WSG debe ponerse en contacto con el ingeniero principal de *LWD* y el *Company Man* de perforación para asegurarse de que las herramientas necesarias estén en la locación (y las copias de seguridad o herramientas de respaldo están disponibles en la locación o sean movilizadas según sea necesario). La falla de la herramienta puede resultar en reemplazar la herramienta con una copia de seguridad. Una herramienta de respaldo siempre se debe mantener en la locación y el WSG debe asegurarse que esté disponible. Las herramientas que no funcionan correctamente deben reemplazarse lo antes posible. Los datos de registro se deben revisar cuidadosamente y se debe alentar a los contratistas a revisar sus datos y respuestas de herramientas con sus supervisores en la locación durante la adquisición.

El WSG debe trabajar con los ingenieros de *MWD/LWD* para garantizar que los datos se exporten en el formato correcto solicitado por la empresa operadora a un software de

correlaciones estratigráficas y estructurales para hacer el seguimiento del avance del pozo respecto a los pozos offset. Los registros establecidos para el pozo Prosperidad-1 se encuentran en la Tabla 11.

Durante la Perforación	
Descripción	Frecuencia
Datos en tiempo real (LAS y PDF)	Debe ser entregado al WSG a las 5:00hrs cada día con intervalos regulares según se solicite durante la perforación. Debe incluir los datos desde el inicio de la sección hasta la profundidad actual.
Datos en memoria (LAS y PDF)	Debe ser entregado al WSG tan pronto como los datos procesados estén listos. Debe incluir los datos desde el inicio hasta el final de la adquisición de registros.
Revisión de la adquisición de registros MWD/LWD incluyendo diagramas BHA y revisión del rendimiento. (PDF)	Debe ser entregado al WSG, al supervisor de perforación y al área de operaciones geológicas.

Tabla 11. Registros MWD/LWD requeridos durante la perforación del pozo Prosperidad-1.

7.11.2. Registros Wireline. Consisten en una medición continua de las propiedades de formación con instrumentos eléctricos para inferir propiedades y tomar decisiones sobre operaciones de perforación y producción. Las mediciones incluyen propiedades eléctricas (resistividad y conductividad a varias frecuencias), propiedades sónicas, mediciones nucleares activas y pasivas, mediciones dimensionales del pozo, medición de presión de formación entre otras. Se introduce en el pozo abierto cableado para bajar las herramientas. Una vez que la cadena de herramientas ha llegado al final del intervalo de interés, las mediciones se toman al salir del pozo es decir se empieza a adquirir los registros de fondo a superficie.

El WSG debe ponerse en contacto con el ingeniero Wireline para asegurarse que todas las herramientas necesarias para la adquisición de registros estén en la locación incluyendo las copias de seguridad, debe asegurarse que se tome muestras de lodo antes de cada adquisición o en caso de cambios de lodo para calibración. El ingeniero de registro debe garantizar que todas las herramientas sean aptas para la temperatura de fondo y debe realizar una reunión pre

operacional con todo el personal de trabajo involucrado para tener claridad de la operación que se va a realizar. En caso de encontrar puntos apretados en el hueco es decir que las herramientas se queden atrapadas se debe realizar una reunión en donde se establezcan y se debatan planes alternos para adquirir los registros.

Los registros establecidos para el pozo Prosperidad-1 se muestran en la Tabla 12.

Sección	Intervalo aproximado	Adquisición	Registro
Hueco 26"	Zapato 20" a Superficie	Corrida 1	Gamma Ray (GR)
			Potencial Espontaneo (SP)
			Resistivos
Hueco de 8 ½"	TD a 9 5/8 zapato. Targets primarios: Formaciones Mirador, Gacheta y Une.	Corrida 1	Potencial Espontaneo (SP)
			GR Espectral
			Caliper
			Resistivo Laterolog
			Dipolo Sónico
		Corrida 2	Litoescaner
			Neutrón
			Densidad
			ADT
			(Escáner dieléctrico)

Tabla 12. Programa de Registros Wireline para el pozo Prosperidad-1.

7.12. Pre spud meeting del pozo

Es la reunión previa al inicio de la operación de perforación con los contratistas y con todo el personal involucrado en las distintas áreas: Seguridad, Logística, Ambiental, Social, Exploración, Operaciones Geológicas, *Drilling* y *Completion* en la cual se realiza una socialización con todos los profesionales y servicios involucrados durante la perforación del pozo, se establecen los principales objetivos del geológicos del proyecto, prognosis geológica, mapas y líneas sísmicas, muestreos, planes de registros *LWD/MWD*, registros especiales (*XRF*-Espectrometría de gases), fases de perforación, peso de lodo para cada fase, brocas, *casing* y *liners*, cementación, equipo de perforación, *ROP* en zonas de interés geológico, cronograma de avance, condiciones ambientales, sociales y de seguridad física. Es un espacio para que todos los

contratistas entren en contacto en esta primera reunión. Es fundamental para que la operación funcione correctamente el compromiso de cada empresa contratista cumplir con los tiempos establecidos.

8.1.3. Logística de trabajo de Operaciones Geológicas y canales de comunicación durante el desarrollo del proyecto. Se debe establecer una cadena de mando que no solo involucra al área de geología sino también de ingeniería con el fin tomar decisiones que me pueden afectar positiva o negativamente mi proyecto. Es fundamental tener una buena comunicación entre las diferentes áreas de trabajo para tener claridad en las operaciones que se van a realizar y posibles eventualidades. Ver Figura 13.

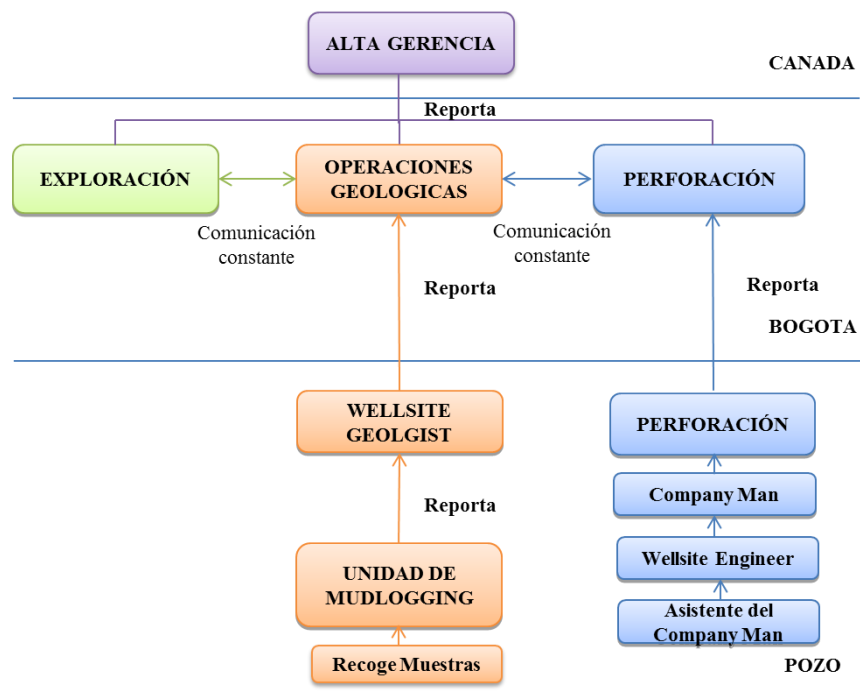


Figura 13. Cadena de comunicación durante las operaciones de perforación.

8. Etapa Operativa

Consiste en la ejecución de las actividades que se planearon en la etapa Pre Operativa. Es fundamental y muy útil llevar a cabo el control y evaluación geológica de la perforación desde el inicio de la perforación hasta cuando se llega a la profundidad total final a partir de descripciones litológicas, descripción y evaluación de las manifestaciones de hidrocarburos, descripción y evaluación de ocurrencias de gases, correlación estratigráfica con los pozos offset, y posicionamiento estructural.

Es responsabilidad del WSG supervisar los procedimientos de elaboración de reportes, actualización de la prognosis, revisar y complementar la información antes de distribuirla a área de Operaciones Geológicas. Debe aportar y opinar con base a su criterio profesional y experiencia de manera clara y oportuna el desarrollo de las operaciones geológicas y de perforación. El WSG debe verificar el buen funcionamiento, calibración y mantenimiento de todos los equipos de registro, detectores, con sus respectivos equipos de respaldo así como asistir diariamente a las reuniones de seguridad y de operaciones y todas las que se requieran durante las actividades asociadas a la perforación.

8.1. Muestreo

Es una de las actividades más representativas durante la perforación de un pozo exploratorio, las muestras obtenidas directamente de las formaciones es una de las fuentes más importantes de información sobre características litológicas, físicas y presencia de fluidos en la roca. La actividad de la preservación de muestras de zanja debe ser apoyada por los geólogos de la unidad de registro continuo, los auxiliares recoge muestras y el equipo de detección y registró es decir los ingenieros que brindan apoyo y soporte a la unidad de registro continuo.

8.1.1. Entrenamiento al personal de recoge muestras. Los recoge muestras tienen un papel importante en la obtención de la información pues la roca es el principal testigo de lo que se encuentra en profundidad. Esta labor requiere mano de obra calificada, aunque generalmente estos cargos son realizados por personal del área de influencia del pozo, carecen de capacitación, por lo que es primordial realizar una inducción y concientización de la importancia de la actividad que van a realizar para cumplir los objetivos que se buscan lograr con la perforación de un pozo. Los recoge muestras deben tener una inducción completa del cumplimiento de las normas *HSE*, salud y seguridad industrial y seguir las normas y procedimientos generales en el sitio de su trabajo, trabajando con seguridad industrial y con respeto al medio ambiente. El WSG debe asegurarse que los recoge muestras asistan diariamente a la reunión de seguridad, que realiza la empresa del taladro, previamente al inicio de labores de cada grupo de trabajo.

8.1.2. Frecuencia del muestreo. La frecuencia del muestreo depende de la necesidad del pozo, en este caso para un pozo exploratorio, la frecuencia del muestreo debe ser más rigurosa, pues como su nombre lo indica no se tiene total seguridad de las profundidades exactas a la que se encontrara las distintas formaciones, esta frecuencia fue definida en el capítulo 7.10. Requisitos para el muestreo de ripios durante la perforación en la unidad de registro continuo. Cabe resaltar que habrá intervalos donde se perfora más rápido o más lento y esto va a incidir en la rapidez con que se debe hacer el muestreo planeado.

8.2. Recolección, lavado, marcación y almacenamiento de muestras

La recolección de muestras se obtiene directamente de la *Shale Shaker* o Zaranda ver Figura14, consiste en un tamiz vibratorio, que vibra mientras que el fluido de perforación fluye sobre ella,

la fase líquida del lodo y los sólidos más pequeños que la malla de alambre pasan a través de esta, mientras que los sólidos más grandes son retenidos y eventualmente caen a la parte posterior de esta herramienta donde se encuentra un recipiente en donde se van acumulando.



Figura 14. Fotografía de una *Shale Shaker* o Zaranda por donde salen los rips de perforación

Este recipiente no debe llenarse. Antes que se llene y se reboce debe llevarse a cabo la técnica del cuarteo. El cuarteo consiste en mezclar el material depositado, con una pala se ejerce presión y se aplanan la pila hasta que quede uniforme, se divide en partes iguales y se toma muestra de las diagonales. Esta muestra debe ser recolectada en un tamiz ver Figura 15, se lava con agua y se toma con una bandeja muestra de diferentes sectores del tamiz. La bandeja nuevamente se lava con cuidado y se deja una porción considerable para su análisis ver Figura 16.



Figura 15. Fotografía de un tamiz para recolección de muestra, malla 150µm significa que permite el paso de partículas menores o iguales a 150 µm.



Figura 16. Bandejas con muestra para análisis.

8.2.1. Tipos de Muestras

8.2.1.1. Muestras Húmedas. Son aquellas a las que no se les remueve el lodo de perforación bien sea tipo polimérico o de base aceite y pueden ser de dos tipos, acumulativa de intervalo si son para geoquímica o estratigrafía o puntuales si son para palinología. Son recolectadas y empacadas en doble empaque, previamente marcadas en ambos empaques con marcador permanente ver Figura 17. Deben ser empacadas en caja incluyendo nombre del pozo, empresa

operadora, intervalo de muestras de esta caja y el número de set, es decir el número de caja del total de cajas.



Figura 17. Ejemplo de muestra húmeda

8.2.1.2. Muestras para Análisis de Palinología. Se recolectan a una profundidad puntual, previamente marcadas con marcador permanente. Estas muestras deben ser empacadas en caja incluyendo nombre del pozo, empresa operadora, intervalo de muestras de esta caja y el número de set, es decir el número de caja del total de cajas, ver Figura 18.



Figura 18. Muestras para análisis de Palinológico.

8.2.1.3. Muestras para análisis de Geoquímica y Bioestratigrafía. Son recolectadas en intervalos periódicos de profundidad y empacados en bolsas plásticas para Bioestratigrafía y en bolsas de cartón para Geoquímica ver Figura 19. Deben ser empacadas en caja incluyendo nombre del pozo, empresa operadora, profundidad, intervalo de muestras de esta caja y el número de set, es decir el número de caja del total de cajas.



Figura 19. Muestras secas para análisis Geoquímico, Muestra húmedas para análisis Bioestratigráfico.

8.2.1.4. Muestras secas. De la muestra recolectada en los intervalos periódicos también se utilizara para la muestra seca. Se debe lavar con agua o diésel según el tipo de lodo que se haya usado en la perforación y luego deben ser secadas en un horno ver Figura 20. Deben ser empacados en bolsas plásticas y marcadas incluyendo nombre del pozo, empresa operadora, profundidad, intervalo de muestras de esta caja y el número de set, es decir el número de caja del total de cajas.



Figura 20. Horno para secar muestras.

8.2.1.5. Muestras de Chequeo. Son muestras extras que pueden ser lavadas o sin lavar y necesariamente no son para almacenar, son muestras que corresponden a una determinada profundidad y se toman directamente de la muestra que está saliendo de la *shale shaker* en ese momento. Son tomadas cuando se requiere saber algo de interés o puntual del intervalo que se está perforando.

8.2.1.6. Muestras de derrumbes o cavings. Son muestras que presentan tamaños superiores a los acostumbrados durante la perforación. Los *cavings* han sido definidos como cualquier fragmento de roca producto de la inestabilidad de un pozo, que llega a superficie por medio de los fluidos de perforación y cuyas dimensiones varían de milímetros a centímetros y en muy raras ocasiones hasta más de 10-20 cm. Se toman muestras para describir las formas de ocurrencia de estas, e interpretar el origen de los mismos, que se consideran derrumbes. Estas muestras no deben utilizarse para la descripción litológica, de la sección que se está perforando.

En el pozo Prosperidad-1 se adquirieron las siguientes muestras de acuerdo a lo planeado en la etapa Pre Operativa:

- **SET A:** Muestras húmedas y lavadas, Muestras secas y lavadas
- **SET B:** Muestras húmedas y lavadas, Muestras secas y lavadas.

- **SET C:** Muestras húmedas y sin lavar
- **SET D:** Muestras húmedas y sin lavar para Bioestratigrafía
- **SET E:** Muestras lavadas y secas para Geoquímica
- **SET F:** Muestras secas y lavadas:
- **SET G:** Cavings largos

8.3. Lavado de muestras

8.3.1. Muestras en lodo base agua. Se toma aproximadamente el volumen de muestra equivalente a un volumen de tamiz lleno, se debe superponer tres tamices dejando el más fino abajo y el más grueso en la parte superior. La muestra se pone en el tamiz más grueso y se lava con agua hasta retirar todo el lodo de la muestra, no se debe refregar para no disolver, principalmente en las litologías blandas y solubles, posteriormente se debe lavar lo que quedo en el tamiz de abajo. Se pone la muestra lavada en el horno entre 120°C y 150°C aproximadamente por 20 minutos o hasta que este seca. Es fundamental estar atento a que el secado de la muestras sea uniforme, para evitar que se seque formando una masa amorfa especialmente cuando la litología es blanda y pegajosa. Cabe resaltar que algunas muestras no deben ser secadas al horno debido a su posterior disposición, estas deben secase a la temperatura del medio ambiente.

8.3.2. Muestras en lodo base aceite. Se toma aproximadamente el volumen de muestra equivalente a un volumen de tamiz lleno, se debe superponer tres tamices dejando el más fino abajo y el más grueso en la parte superior. La muestra se pone en el tamiz más grueso y se lava con diésel para retirar todo el lodo base aceite de la muestra, no se debe refregar para no disolver, principalmente en las litologías blandas y solubles, posteriormente se debe lavar lo que

quedo en el tamiz inferior también con diésel. Hay situaciones en que las arcillolitas y lutitas son hinchables con el agua, por lo que al remover el diésel y al contacto con el agua se hinchan disolviéndose, perdiendo representatividad del intervalo muestreado. Se pone la muestra lavada en el horno entre 120°C y 150°C aproximadamente por 20 minutos o hasta que este seca. Es fundamental estar atento a que el secado de la muestras sea uniforme, para evitar que se seque formando una masa amorfa especialmente cuando la litología es blanda y pegajosa. Es de vital importancia que él recoge muestras tenga los elementos de protección personal como guantes de nitrilo, gafas, mascara respiratoria y demás.

En el pozo Prosperidad-1 el lodo de perforación fue lodo base agua, por lo tanto las muestras obtenidas fueron lavadas con agua.

8.4. Descripción de muestras

La descripción se debe hacer de las muestras de zanjas húmedas y lavadas que son recolectadas periódicamente por el personal recoge muestras quien es su puesto de trabajo las tienen organizadas de acuerdo a su profundidad ver Figura 21. En la unidad de registro continuo o unidad de mudlogging (ver Figura 22) se hace una determinación porcentual de cada tipo de litología presente en la muestra. Para la elaboración de Registro de Evaluación de Formación (FEL), los porcentajes deben ser múltiplos de 10 y no se debe obviar la descripción de tipos litológicos inferiores a este porcentaje. Generalmente estos valores se cuentan como trazas y deben ser descritos, esta información puede servir como marcador litológico por el hecho de ser tan escasa esa litología. No olvidar que las litologías trazas deben ser descritas desde el momento de su primera aparición y esto debe ser descrito a detalle junto con la demás litología en la descripción litológica de muestras de zanja. Siempre se debe identificar y reportar los

aditivos del lodo, pues estos pueden enmascarar las características litológicas de la formación, es de vital importancia indicar cuando se adiciona carbonato de calcio que enmascara la arena suelta y puede llevar a error en los porcentajes. Para la clasificación litológica de las muestras la empresa operadora debe proporcionar la clasificación litológica en la que desea sean descritas las muestras.



Figura 21. Puesto de trabajo del personal recoge muestras, en donde se tiene las muestras listas para ser descritas por los geólogos de la unidad de registro continuo, En este lugar se realiza el proceso de secado, etiquetado y empaquetado de las muestras para su posterior disposición.

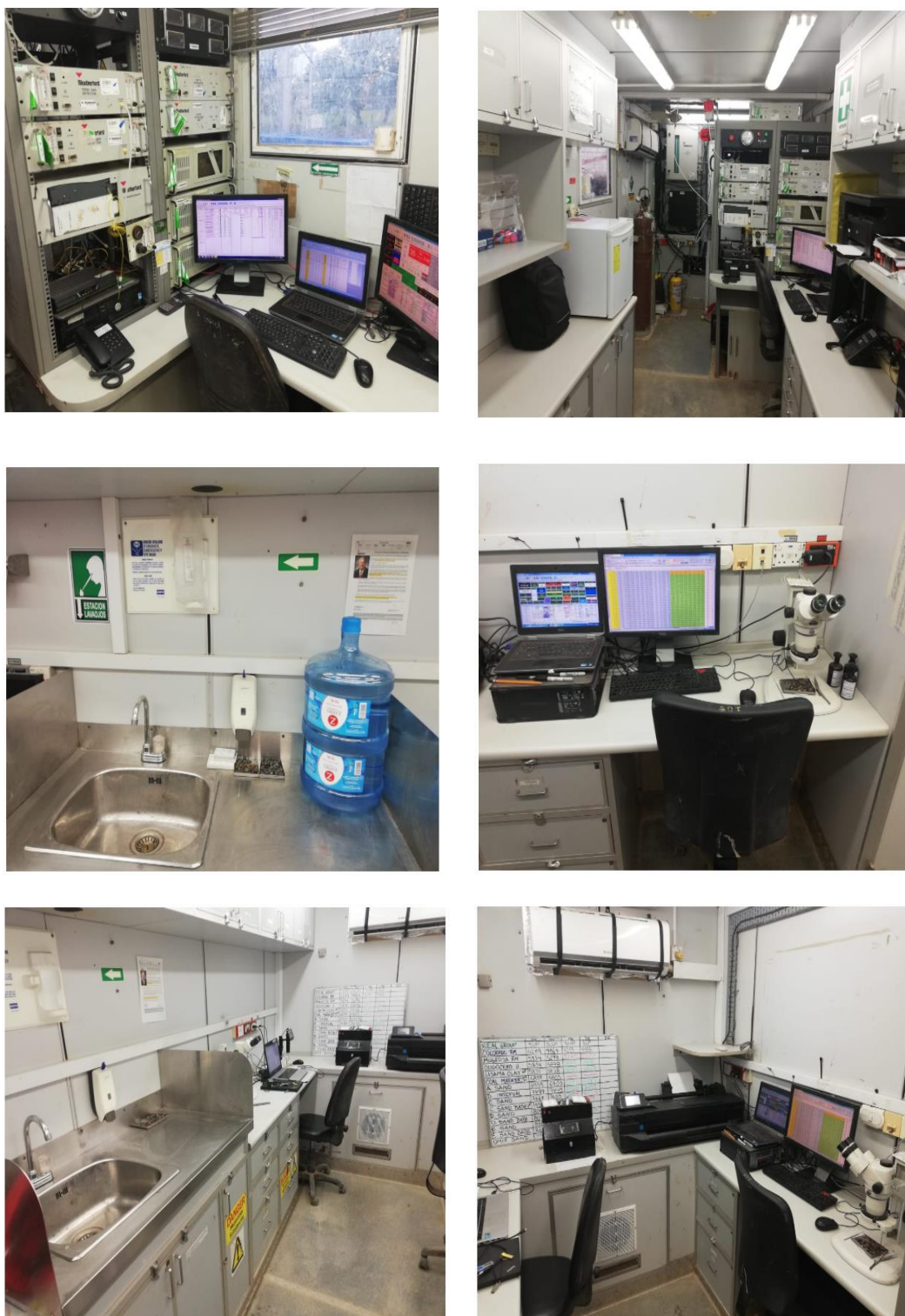


Figura 22. Unidad de Registro Continuo o Unidad de *Mudlogging* en donde se realiza la descripción de muestras de zanja, monitoreo y registro continuo de evaluación de presión, datos geológicos y de ingeniería.

8.4.1. Procedimiento para la descripción litológica. Para estandarizar el registro de las descripciones litológicas se debe proveer las clasificaciones en las que se desean que sean descritas las muestras, bien sea para rocas sedimentarias clásticas la clasificación de Pettijohn, para rocas carbonatadas la clasificación textural de Dunham y para la descripción de sus componentes, clasificación composicional y génesis la clasificación de Folk.

8.5. Evaluación de Manifestación de Hidrocarburos

El análisis y la detección continua de gas durante la perforación del pozo se realiza mediante la captura de gas por medio de una trampa de gas conectada a una línea de gas a un cromatógrafo ver Figura 23. La muestra de gas debe ser continuamente separada del fluido de perforación con un desgasificador de arena que se encuentra sobre las *shakers*, este posee un agitador de alta resolución, el cual libera la muestra de gas que es transportada por la bomba de succión al cromatógrafo que se encuentra en la unidad de registro continuo.

La muestra es analizada por un conducto termal del cromatógrafo, este permite el análisis continuo a alta velocidad de los gases C1, C2, C3, C4 y C5 cada 30 segundos, este posee la resolución requerida para identificar cambios en la litología, zonas de fractura, topes de formación, y además determina zonas con contenidos de crudo, gas y agua.

8.5.1. Análisis de las proporciones de gas. Estos métodos presentan una evaluación relativa de un yacimiento en base a las proporciones de los gases evaluados, evaluación global que son complementadas con parámetros de perforación y comportamiento mecánico del pozo, esto puede dar indicios del tipo de zona productora como clase de fluido sea gas, aceite o condensado y permeabilidad del yacimiento.



Figura 23. Cromatógrafo, sistema de filtro en la línea de gas y cilindro de helio que brinda arrastre al cromatógrafo.

8.5.1.1. Relación de Humedad

- Proporción de Humedad (Wh) = $(C2+C3+C4+C5) / (C1+C2+C3+C4+C5) \times 100$
- Proporción de Balance (Bh) = $(C1 + C2) / (C3+C4+C5)$
- Relación de carácter (Ch) = $(C4+C5) / C3$

8.5.1.2. Proporción de humedad (Wh):

< 0.5	Gas muy seco, con baja producción potencial.
0.5 – 17.5	Gas, incrementando en densidad con la proporción de humedad.
17.5 – 40	Aceite, incrementado en densidad con la proporción de humedad.
> 40	Aceite residual con baja producción potencial.

8.5.1.3. Relación de Balance (Bh):

1. Si $Bh > 100$ y $Wh < 0.5$	Gas ligeramente seco y no productivo.
2. Si Blanco indica gas y $Wh < Bh < 100$	Gas productivo que incrementa su densidad cuando las dos curvas convergen.
3. Si Blanco indica gas y $Bh < Wh$	Indica gas en forma condensada o aceite de alto grado.
4. Si $Wh > 17.5$ y Blanco < 40 y Blanco $> Bh$	Aceite producible que aumenta su densidad cuando las dos curvas divergen.
5. Si $Wh > 40$ y Bh es $\ll$ Blanco	Aceite residual no productivo.

8.5.1.4. Relación de Carácter (Ch). Omitiendo los compuestos hidrocarburos más livianos (Metano y Etano) y comparando solo los compuestos más pesados, se puede confirmar la presencia de un fluido de hidrocarburo denso lo cual debe ayudar a diferenciar un gas muy húmedo de un crudo con gravedad muy alta. La importancia de comparar estos tres compuestos radica en que C3 puede aparecer como cantidades de traza en un yacimiento de gas, pero será un componente importante del gas húmedo del crudo de baja gravedad. Por otra parte, es posible que C4 y C5 no aparezcan en una zona gasífera pero sí estarán presentes en cierta medida en gases densos o más húmedos y mucho más en crudos livianos. Luego si $Ch < 0.5$ se confirma la presencia de una fase de gas productivo, bien sea gas húmedo o condensado de gas.

- Si el carácter (Ch) es < 0.5 la zona contiene gas productivo húmedo o condensado.
- Si el carácter (Ch) es > 0.5 la zona contiene aceite productivo de alta gravedad.

8.5.1.5. Proporción de C1 /C2

C1/C2 ratio	Tipo de fluido y gravedad
< 2	No-productivo, aceite residual, aceite pesado
2 – 4	Aceite de baja gravedad, API 10 – 15
4 – 8	Aceite de gravedad medio, API 15 – 35
8 – 10	Aceite de alta gravedad, API > 35
10 – 15	Gas condensado
15 – 65	Gas
> 65	Gas liviano, no-productivo, baja permeabilidad
C1 solamente	Agua salada

8.5.2. Terminología

8.5.2.1. Hidrocarburos livianos o pesados. Desde el punto de vista de la producción y la refinación, generalmente se entiende por hidrocarburos pesados aquellos hidrocarburos que tienen 12 o más átomos de carbono. (C12, C13) etc.). Sin embargo, la evaluación cromatografía del sitio del pozo se restringe normalmente a los hidrocarburos comprendidos entre el metano y el pentano “C1 a C5”. En este caso, el término hidrocarburo pesado se aplica a los hidrocarburos comprendidos entre el propano y el pentano “C3 a C5”, y el termino de hidrocarburo liviano se aplica al metano y al Etano “C1 y C2”.

8.5.2.2. Gas no Asociado. El término se aplica a la existencia natural de gas sin que haya ningún petróleo líquido asociado. Las existencias conocidas han sido formadas por bacterias en profundidades someras o por craqueo térmico del petróleo a altas temperaturas.

8.5.2.3. Gas Seco. Es el término dado a gas compuesto fundamentalmente a metano y que contiene pequeñas cantidades de hidrocarburos condensables. Dada las características de

solubilidad del aceite y del agua, la presencia de gas seco también es un indicio de zonas acuíferas y de zonas geopresurizadas. Otra ocurrencia es la de gas de carbón.

8.5.2.4. Gas Húmedo. Es el término con el que se conoce al gas que contiene proporciones de hidrocarburos más pesados, propano, butano, pentano, etc. En comparación con hidrocarburos más livianos como el metano y el etano. Se dice que el gas aumenta en humedad a medida que aumenta la proporción de hidrocarburos más pesados.

8.5.2.5. Condensado. Con este término se conoce al metano y altas proporciones de hidrocarburos más pesados que aparecen como un gas en el yacimiento pero que se condensan y transforman en líquido una vez en superficie. Se cree que los yacimientos de condensado de gas son producto de la destrucción parcial del crudo.

8.5.3. Análisis del Gas Ratio. Este análisis consiste en una evaluación que debe ser llevada a cabo usando el método de la proporción de gas y el método de *Pixler*. Estos métodos, complementados con parámetros de perforación y análisis de cortes indicativos de fluorescencia, proveen una evaluación global de potenciales zonas productoras, el tipo de fluido (gas, aceite o condensado) y la permeabilidad del yacimiento. El *pixler* consiste en una gráfica en la cual se representa la relación C_1/C_2 , es la relación importante para determinar la composición del petróleo de la zona, sea crudo o gas, o indicar si ésta es o no productiva.

En el pozo Prosperidad-1 se realizó el análisis de gas ratio para los targets primarios y secundarios ver Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27.

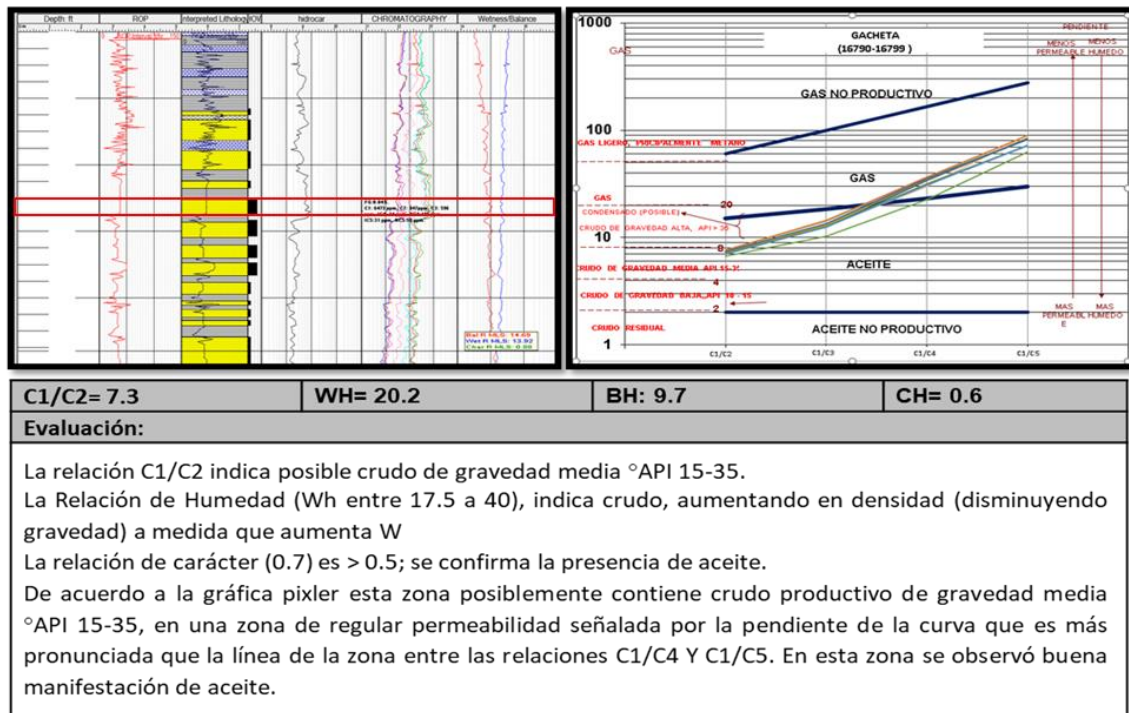


Figura 24. Pixler Formación Mirador del pozo Prosperidad-1.

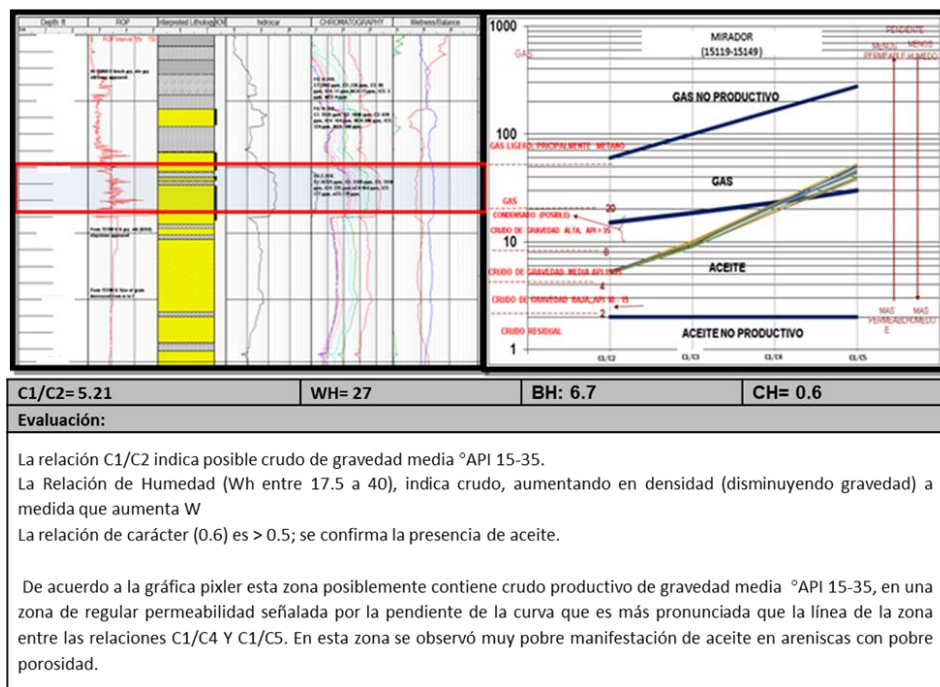


Figura 25. Pixler Marcador del Paleoceno Formaciones Los Cuervos y Barco del pozo Prosperidad-1.

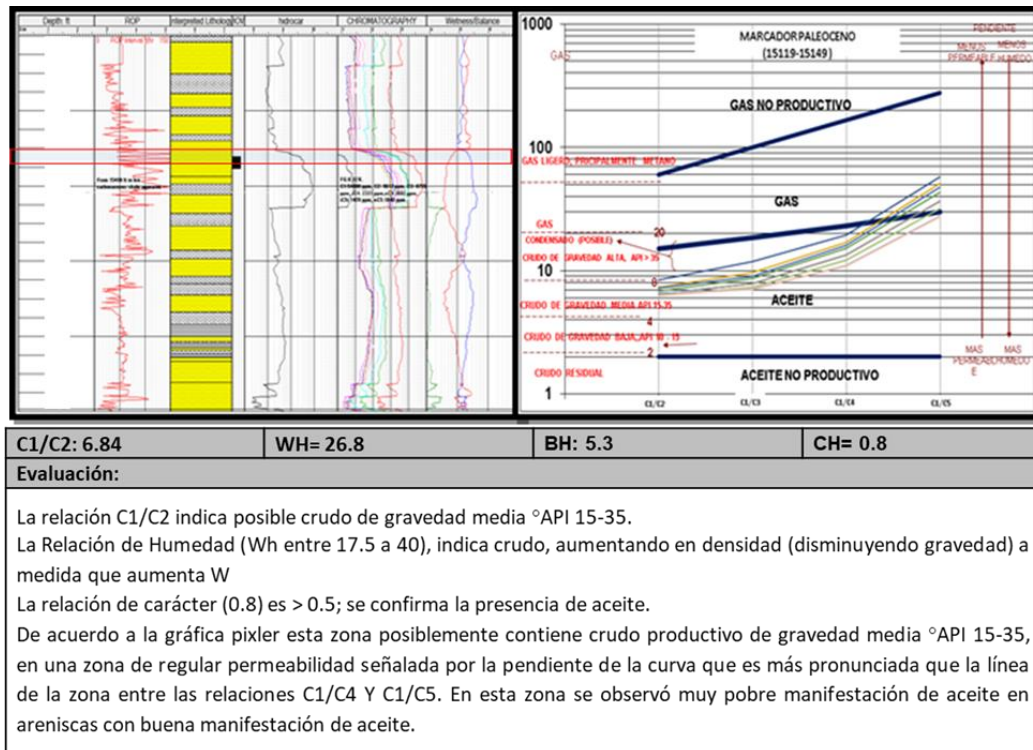


Figura 26. Pixler Formación Gacheta del pozo Prosperidad-1.

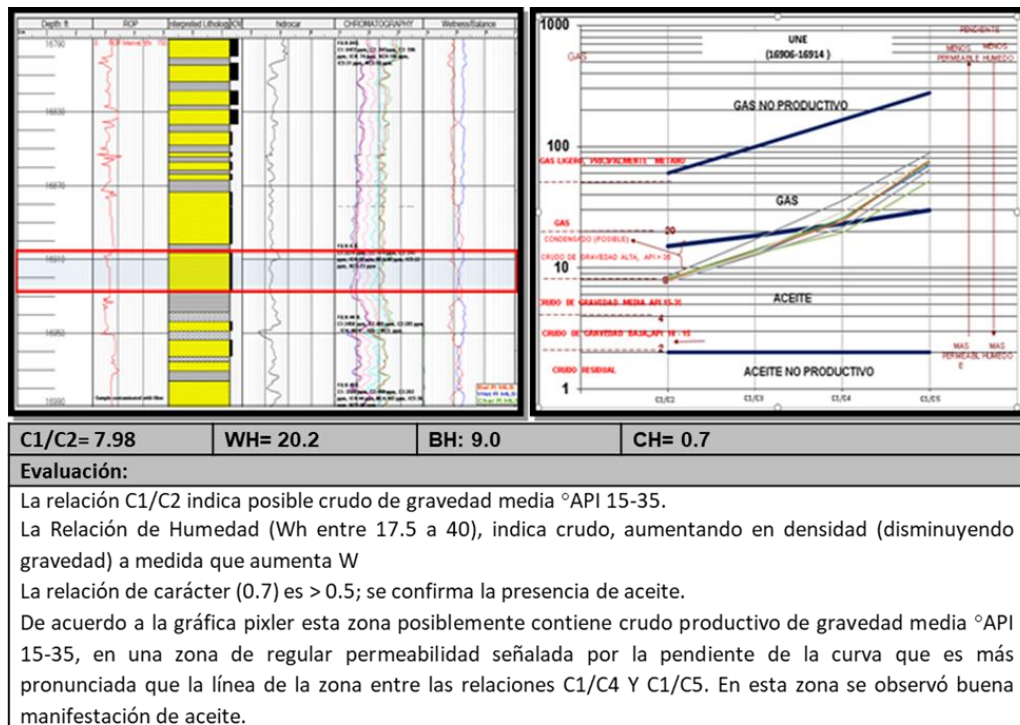


Figura 27. Pixler Formación Une del pozo Prosperidad-1

8.5.4. Manifestación de aceite

Cuando la perforación ha llegado a los intervalos de interés se requiere pruebas especiales adicionales en las muestras que se obtienen en las *shakers*. Inicialmente la muestra debe ser observada a la luz natural, posterior a esto debe ser observada y descrita al microscopio enfatizándose en el color, dureza, tamaño de grano, composición de los granos, forma de los granos, sorteado, matriz, cemento, porosidad, minerales accesorios y manchas de aceite. Cuando ya se tiene una descripción detallada de las características de la roca, la muestra ahora debe ser observada bajo luz ultravioleta en el fluoroscopio (ver Figura 28), se busca observar si la roca presenta fluorescencia natural, es decir la luminiscencia que presentan ciertas sustancias al ser afectadas por la luz ultravioleta, estas emiten radiaciones de longitud de onda mayor y que se encuentran en espectro visible, este principio aplica para los hidrocarburos líquidos, a medida que el aceite posee mayor gravedad, la longitud de onda es mayor. La presencia de fluorescencia indica la existencia de hidrocarburos pero no necesariamente que este sea comercialmente explotable, es decir es un indicador de la presencia más no de la cantidad. Con la muestra aun en el fluoroscopio se debe adicionar acetona, observar la reacción química que se forma y el residuo de esta. Los *shows* deben ser descritos en cuanto su color, generalmente el aceite deja una mancha marrón grasa, estas manchas deben caracterizarse en términos de muy pobre, pobre, normal, bueno, muy bueno y describir la forma de la ocurrencia: moteado, por zonas y uniforme, en el momento de la reacción se verá un poco de humo y se debe establecer la velocidad de la reacción: lenta, rápida, instantánea. Al rededor se formara un anillo de reacción el cual debe ser descrito de acuerdo a su color (ver Figura 29) y finalmente se debe clasificar el *show* en muy pobre, pobre, bueno y muy bueno.



Figura 28. Fluoroscopio en donde se introducen las muestras para realizar fluorescencia al corte.

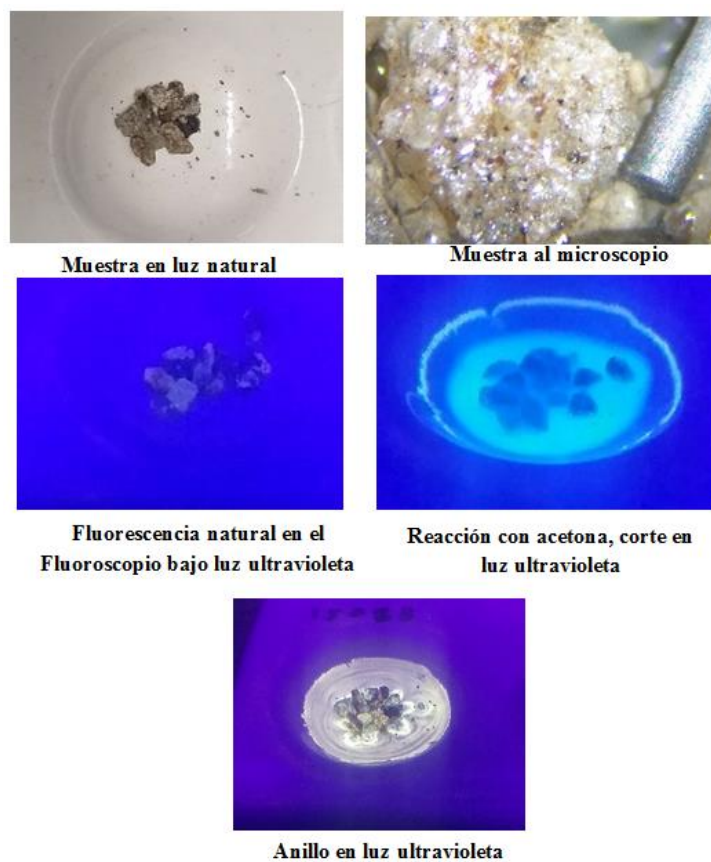


Figura 29. Muestra a la que se le realizó descripción y evaluación de la manifestación de aceite en el pozo Prosperidad-1.

8.6. Toma de registros

Es una de las actividades más críticas que se realiza en la operación por la diversidad de variables y condiciones generadas en el hueco que se pueden presentar en el momento de la adquisición del registro. Es fundamental tener claridad en el programa de registro de cada una de las fases de perforación del pozo, esto permite al WSG ver a detalle las especificaciones del servicio a recibir de la empresa de registros para llevar a cabo controles necesarios y evaluar la calidad del servicio. El programa de registro se debe establecer previamente en la etapa pre operativa pero ya en el desarrollo de la perforación deberá ser revisado y evaluado desde el punto de vista de las condiciones del pozo en el momento de la ejecución para definir prioridades y no correr riesgos de estabilidad del pozo, condición del hueco y pérdida de herramientas de adquisición de registros.

Antes de iniciar la adquisición de registros es importante verificar el programa de registro para la sección correspondiente, orden de corridas, componentes de la sarta, tiempo promedio de cada corrida, escalas y las herramientas de respaldo o *back up*.

En cada adquisición es responsabilidad del WSG tomar los tiempos para el seguimiento de la operación: hora de terminar circulación, hora de tubería en superficie, hora en la que se entrega el pozo a la empresa de registros, hora de inicio de instalación herramientas (*rig up*) y de terminación de la instalación, hora en que se empieza a bajar, hora en el fondo y hora cuando se inicia la adquisición del registro. También debe reportar dificultades operacionales, funcionamiento incorrecto de las herramientas y llegado el caso de utilizar las herramientas de respaldo debe reportarse el tiempo transcurrido en el que se detectó el problema y la hora en que la herramienta vuelve a estar en profundidad. Se debe reportar al *Company Man* cualquier dificultad operacional como puntos apretados (*tight spots*) que pueden generar

tensión en la sarta con intentos de pega y puntos de obstrucción debido a la geometría del hueco.

Cabe resaltar que la adquisición del registro se realiza de fondo a superficie según las condiciones del hueco, si hay dificultades operacionales se sugiere bajar registrando para asegurar la información. Si por problemas operacionales no es posible llegar a fondo se debe empezar a registrar a partir de la profundidad alcanzada. Es responsabilidad del WSG verificar que las curvas obtenidas estén en profundidad, y que estén identificadas claramente desde el inicio hasta el final del registro. Posterior a esto se debe registrar la hora de terminación de la adquisición del registro y la hora de entrega del pozo al *Company Man*.

En la Tabla 13 se muestra el resumen de los registros adquiridos en el pozo Prosperidad-1.

REGISTROS ADQUIRIDOS EN EL POZO PROSPERIDAD-1		
Sección	Plan	Resultado Final
26"	LWD: GR- RESISTIVOS. WL: GR-RESISTIVOS-SP.	Se adquirieron los registros GR y Resistivos en la Formación Guayabo. Se adquirió con cable GR-SP-Resistivos.
16"	LWD: GR- RESISTIVOS WL: GR-RESISTIVOS- CALIPER-SP.	Se adquirieron los registros GR y Resistivos en la Formación Guayabo y Formación León. Se adquirió con cable GR-SP-CALIPER-Resistivos.
12 ¼"	LWD: GR- RESISTIVOS.	Se adquirieron los registros GR y Resistivos en la Formaciones León y Carbonera.
8 ½"	LWD: GR- RESISTIVOS WL: GR-GR ESPECTRAL, NEUTRON, DENSIDAD, RESISTIVO LATEROLOG, CALIPER.	Se adquirieron los registros GR y Resistivos. Se intentó registrar en cuatro ocasiones con cable. En la primera ocasión las herramientas se pegaron. En el segundo intento Thru-bit se intentó pasar antes del punto de pega pero se debió sacar las herramientas por mala instalación de la polea. En el tercer intento, se intentó dejar la herramienta en fondo thru-bit pero solo adquirió sónico y resistivo, se sacó registrando pero la data se dañó y no se recuperó la información, no se alcanzó fondo y se encontró una nueva pega. En cuarto intento se logró registrar en modo Drop off y se adquirieron registros GR- GR ESPECTRAL, NEUTRON, DENSIDAD, RESISTIVO LATEROLOG, CALIPER.

Tabla 13. Resumen de los registros adquiridos en el pozo Prosperidad-1.

8.7. Reportes diarios, desarrollo de canales de comunicación y disposición de la información

En la etapa de Pre Operativa en el capítulo 7.9 Reportes de la unidad de registro continuo se establecieron reportes de tipo obligatorio para tener un control de la operación durante la

perforación del pozo que no solo involucra aspectos geológicos sino también de ingeniería debido a que trabajan de forma sinérgica, es de vital importancia el cumplimiento de estos con la periodicidad establecida. A si mismo estos reportes deben ser enviados por los canales de comunicación autorizados por la empresa operadora.

La operación en pozo no se debe detener y a la hora de tomar de decisiones se debe seguir el conducto regular o la línea de mando directa, pues la demora de estas genera pérdidas de tiempo y dinero. Estas decisiones de último momento y cambios en las actividades planeadas en la etapa operativa deben quedar consignadas en los reportes diarios. El área de operaciones geológicas debe realizar control de calidad de esta información para su disposición final.

9. Etapa Post Operativa

Es la etapa posterior a la finalización de las actividades de perforación, las actividades que se realizan en esta etapa, son desarrolladas por el área de Operaciones geológicas quien es responsable de la presentación de la información geológica final. Se debe desarrollar la recopilación, interpretación y evaluación de la información final obtenida en el pozo. Esta información obtenida debe ser revisada rigurosamente haciendo control de calidad (QC) de cada uno de los requerimientos internos de la empresa operadora y los requerimientos obligatorios de las distintas entidades reguladoras a nivel nacional (ANLA, SGC, ANH).

Las empresas prestadoras de servicios deben presentar los distintos productos finales solicitados en la Etapa Pre Operativa por la empresa operadora.

Es responsabilidad de la unidad de registro continuo realizar en informe geológico final el cual debe incluir objetivos, localización, compañías participantes, generalidades del pozo, secciones perforadas, descripción del *casing*, actividades durante la perforación, información

de ingeniería estratigrafía, manifestaciones de gas y aceite y sus respectivos anexos: estado mecánico , curva de progreso, registro de brocas, graficas *BHA*, datos de lodo, descripción litológica de muestras de zanja, reportes diarios de geología e ingeniería y los registros de evaluación de formación *FEL*. La unidad direccional y la empresa de registros adicionales deben presentar los registros finales *LWD*, *MWD*, *Wireline*, *Open Hole*, *Cased Hole* en los diferentes formatos PDF, TIFF, LAS, DLIS.

Cuando ya se tiene toda la información solicitada, es responsabilidad del área de Operaciones Geológicas revisar cuidadosamente toda la información que se solicitó, así mismo realizar las respectivas correcciones y solicitar a distintas empresas prestadoras de servicios realizar los cambios solicitados. Cuando ya se tiene total seguridad de la información solicitada, esta debe ser enviada a las distintas entidades reguladoras a nivel nacional (ANLA, SGC, ANH) y la empresa operadora debe disponer de esta información en sus canales de información internos.

9.1. Diagrama de Flujo de la Metodología Propuesta para Optimización de las Operaciones Geológicas en un Pozo Exploratorio de Hidrocarburos

En la figura 30 se muestra la metodología propuesta en la cual se indican cada una de las actividades que se deben realizar antes, durante y después de la perforación de un pozo exploratorio con el fin de adquirir la mayor cantidad de información para posteriores estudios.

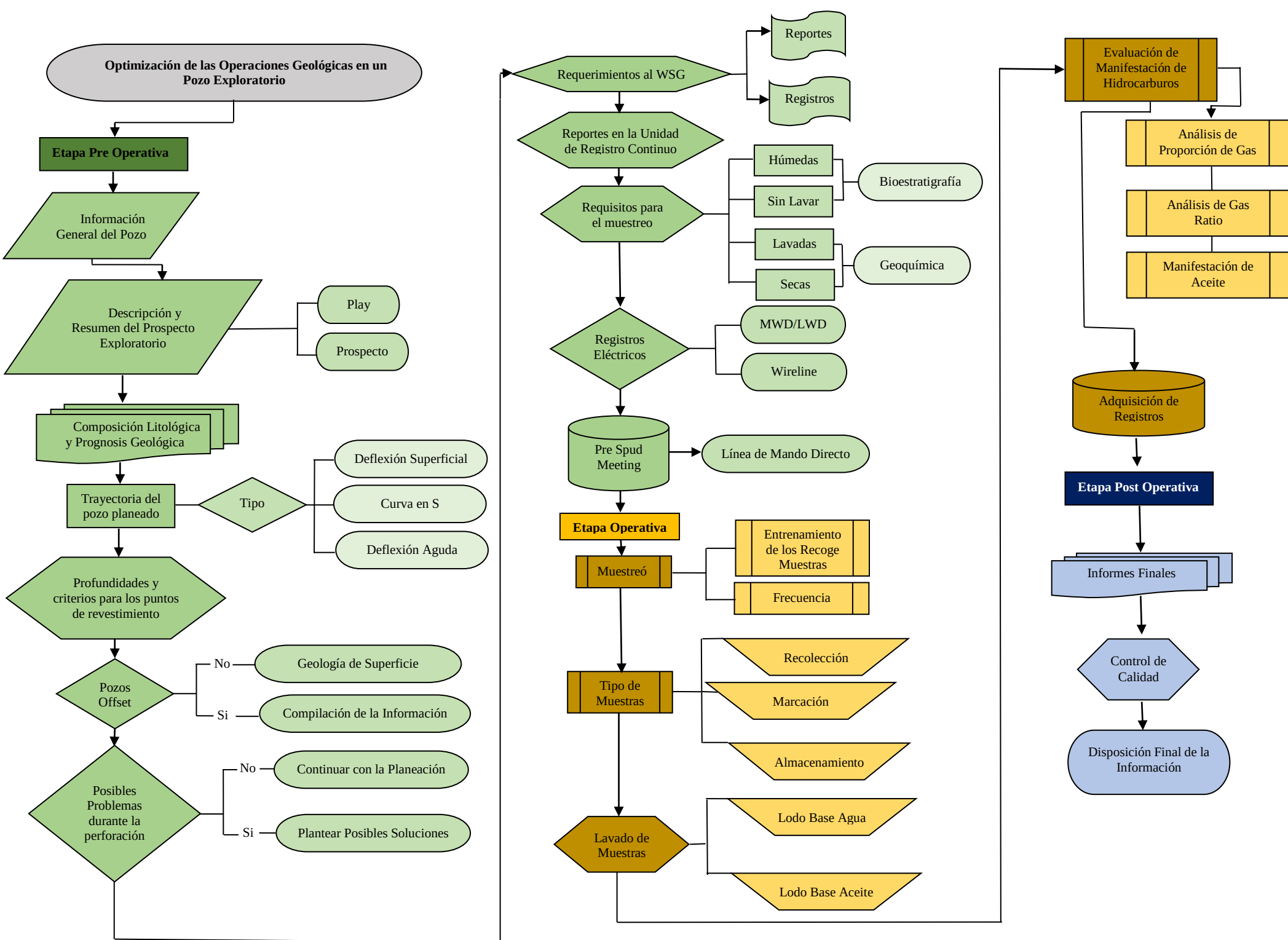


Figura 30. Diagrama de Flujo para la Optimización de las Operaciones Geológicas.

10.Discusión

Durante la perforación del pozo Prosperidad-1 se evidenció las falencias y fortalezas en el desarrollo de las operaciones geológicas. Un pozo exploratorio como su nombre lo indica, es un pozo en el que se tiene alto grado de incertidumbre de los topes exactos y composición litológica en relación con la prognosis, por esta razón es importante llevar una *ROP* controlada y baja debido a que en las formaciones más blandas se requiere menor peso sobre la broca (*WOB*) con el fin de lograr una buena penetración, generalmente la *ROP* es mayor cuando se aplica un peso mayor (*WOB*) y / o unas RPMs más altas, pero demasiado peso puede resultar en efectos contraproducentes como empacamiento de la broca en formaciones blandas y desgaste de esta. La *ROP* controlada ayudara a tener una mejor definición de los topes geológicos con los cortes obtenidos de la *shaker*.

Durante la perforación de la sección fase 12 ¼ no fue clara la implementación de un peso de lodo adecuado lo cual generó problemas operacionales durante la perforación. El peso de lodo de perforación no debe ser tan alto de tal manera que no afecte invasivamente la formación dañándola pero tampoco tan bajo que no contenga la presión de la formación, es decir debe haber un equilibrio entre ambos. Es fundamental tener en cuenta los pesos de lodo utilizados en los pozos offset y partir de estos como punto de referencia pues al ser más bajos además de brindar estabilidad permitirán mayor velocidad de penetración.

Los intervalos de muestreo deben tener una periodicidad constante para cada fase de perforación es decir esta no deber variar, si se establecen cada 100 pies este intervalo se debe mantener hasta el final de cada fase de perforación, pues en la unidad de registro continuo al haber diferentes periodicidades de muestreo puede llevar a confusión. Se debe establecer un

plan de muestreo que se mantenga hasta el final del pozo, es decir no se debe solicitar otro muestreo cuando ya se ha terminado de perforar la sección. En caso tal de solicitar un muestreo adicional ya sea en la sección de interés se debe informar a la unidad de registro antes de iniciar la perforación de la sección o la unidad de registro debe tener como plan de contingencia mayor cantidad de muestra solicitado si la perforación de esta ya ha terminado.

Es indispensable realizar un viaje de acondicionamiento luego de terminar de perforar la sección de 8 ½ es decir la zona de interés antes de iniciar con el programa de registros para mejorar las condiciones del hueco asegurándose que estas sean las mejores y de esta manera hacer más óptima la bajada de las herramientas de adquisición de registros, ya que debido a la tortuosidad del hueco y a la exposición de este se encontraron múltiples puntos apretados, con altas restricciones y atrapamiento de las herramientas. La realización de varios planes de contingencia para la adquisición de registros fue una estrategia asertiva que permitió tener claridad en que se debía realizar si algo en el plan inicial fallaba. Esta estrategia permitió optimizar tiempo y tomar decisiones de manera oportuna.

Intensificar los canales de comunicación como radios de frecuencia entre la unidad de registro continuo, la mesa rotaria y el personal de los tanques de lodo ayudaría a tener mayor control de la operación. La comunicación asertiva con el personal del taladro cuando se manipulan los volúmenes de los tanques, facilita la identificación de posibles pérdidas o influjos que pudieran presentarse y así tomar decisiones oportunas.

11. Conclusiones

La metodología propuesta muestra que el éxito de las operaciones geológicas depende de la planeación de las actividades realizadas en la Etapa Pre Operativa correspondientes a las rutinas de muestreo, parámetros de perforación y adquisición de registros en tiempo real, la claridad de las labores que se van a realizar y la implementación de planes de contingencia ayudaran a él buen desarrollo de la perforación de un pozo exploratorio.

La interpretación de los reportes y registros de la unidad de Mudlogging en la Etapa Operativa correspondientes a el muestreo, descripción litológica, evaluación de manifestación de hidrocarburos y la toma de registros en las diferentes fases de perforación ayudan a tener control del avance del pozo y evaluar la prognosis geológica determinando que tan asertivos fueron los pozos de correlación.

La calidad y la cantidad de la información adquirida durante la perforación de un pozo exploratorio en tiempo real en la sección de interés correspondiente a el muestreo para las diferentes estudios posteriores como Palinología, Bioestratigrafía, Geoquímica, Petrografía y la información adquirida posterior a la perforación como los registros eléctricos: Gamma Ray (GR), Potencial Espontaneo (SP), Resistivos, Sónico, Densidad-Neutrón entre otros juntos ayudan a definir el potencial prospectivo de hidrocarburos en el pozo exploratorio en estudios Petrofísicos posteriores.

Establecer canales de comunicación y la línea de mando directo ayuda a tomar decisiones de manera eficaz en situaciones donde se necesita una respuesta inmediata, porque las operaciones en un pozo no paran y la demora en estas genera perdida de dinero y tiempo.

Durante la perforación se encontró la secuencia estratigráfica típica de la cuenca de los Llanos que consiste en las Formaciones Guayabo, León, Carbonera con sus miembros C1, C2, C3, C4, C5, C7 y C8, Formaciones Mirador, Marcador Paleoceno (Formaciones Los Cuervos y Barco), Formaciones Guadalupe, Gacheta y Une.

La Formación Mirador fue el target principal del pozo Prosperidad-1 en el cual se observaron muy pobres manifestaciones de aceite en las arenas y areniscas. Las relaciones cromatograficas del pixler muestran una zona con posible crudo de gravedad media 15-35°API.

La Formación Gacheta fue el primer target secundario del pozo Prosperidad-1 en el cual se observaron manifestaciones de aceite calificadas entre muy pobres a buenas, en esta formación se observaron las mejores manifestaciones de aceite. Las relaciones cromatograficas de pixler muestran una zona con posible crudo de gravedad media 15-35°API.

La Formación Une fue el segundo target secundario del pozo Prosperidad-1 en el cual se observaron manifestaciones de aceite calificadas como muy pobres. Las relaciones cromatograficas de pixler muestran una zona con posible crudo de gravedad media 15-35°API.

El marcador Paleoceno que comprende la Formaciones Barco y Los Cuervos se observaron manifestaciones de aceite calificadas como buenas. Las relaciones cromatograficas de pixler muestran una zona con posible crudo de gravedad media 15-35°API.

12. Recomendaciones

Se recomienda realizar una metodología para la perforación de pozos de desarrollo en el cual los procedimientos sean enfocados en adquirir la información suficiente para la delimitación de un campo.

Realizar viaje de acondicionamiento antes de iniciar la adquisición de registros eléctricos asegurándose que el estado del hueco sea óptimo para evitar puntos apretados, pega diferencia o pérdida de herramientas.

Registrar en LWD para asegurar adquirir la información por si no se pueden adquirir registros en hueco abierto.

Con la información adquirida en las Operaciones Geológicas realizar estudios petrofísicos para identificar intervalos productivos para realizar cañoneo.

Referencias Bibliográficas

- ANH. (2012). Integración geológica de la digitalización y análisis de núcleos. Colombia. Recuperado de: <https://www.coursehero.com/file/p2gdk5j/CUENCA-LLANOS-ORIENTALES-Integraci%C3%B3n-Geol%C3%B3gica-de-la-Digitalizaci%C3%B3n-y-An%C3%A1lisis/>
- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C., Martínez, J, (2011). Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Recuperado de file:///U:/colombian_sedimentary_basins.pdf
- Bayona, G. (2008). An integrated analysis of an orogen–sedimentary basin pair: Latest Cretaceous–Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia. En Geological Society of America Bulletin. September/October v. 120; no. 9/10; p. 1171–1197; doi: 10.1130/B26187.1; 15 figures; Data Repository item 2008078.
- Cediel, F. (2011). Petroleum geology of Colombia. Medellín: Universidad EAFIT – ANH. Recuperado de <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Paginas/PETROLEUM-GEOLOGY-OF-COLOMBIA.aspx>
- Chapin, E. (2008). Evolución del control geológico operacional en pozos de la Cuenca Barinas-Apure, Venezuela. PDVSA.
- Chopra, S., Marfurt, K. (2007). Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. Tulsa, The United States: SEG.

- Cooper, M. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and middle Magdalena Valley, Colombia. En: AAPG Geologists Bulletin. Octubre, 1995. vol. 79, no. 10, p. 1421–1443.
- Dunham, K. (1962). Clasificación de Rocas Carbonatadas. Recuperado de: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/estratiGAB/Zona%20desplegar/Practica/laboratorio/Clasificacion%20calizas.pdf>
- Folk, R. (1962). Clasificación de Rocas Carbonatadas. Recuperado de: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod231.pdf
- Gran Tierra Energy. (2019). Informe Interno.
- Gómez, Y. (2009). Aspectos hidrodinámicos y estructurales del Campo Rubiales. Cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. En: Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas. Cartagena, Colombia).
- Hawker, D., Vogt, K., Robinson, A. (2001). Manual de Perforación. Procedimientos y operaciones en el pozo. DATALOG.
- Jiménez, G. (2008). Facies sedimentarias y parámetros geoquímicos para el intervalo Paleoceno Superior: transecta Casanare- Arauca (Piedemonte Llanero, Colombia). Boletín de Geología. Julio-Diciembre, vol 30, no. 2, p. 13-20.
- Pettijohn, F. (1987). Clasificación de Rocas Sedimentarias Clásticas. Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/Clasificacion-de-Pettijohn-et-al-1987_fig1_277216405

Schlumberger. (1989). Log interpretation principles/applications. Houston, Texas: Schlumberger Educational Services, 1989. 241 p.

Schlumberger. (2005-2006). Adquisición de registros durante la perforación: búsqueda de un equilibrio a través del tiempo. Oilfield Review. Recuperado de https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish05/win05/composite.pdf

Subsurface Operations. Wellsite Geology & Petrophysics subsurface development and operations course manual.