

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI

ESCUELA DE POSGRADOS

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y
TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título en Magister Tecnológico en
extracción, levantamiento y tratamiento de crudos pesados.**

**PLAN DE DESARROLLO PARA AFLORAMIENTOS NATURALES
DE HIDROCARBUROS ATÍPICOS EN EL CAMPO PACOA Y
GUSTAVO GALINDO**

AUTORES:

EDGAR ANIBAL MONTAÑO BERSOZA

SANTIAGO ARCENIO MONTAÑO BERSOZA

TUTOR:

MGS. CHRISTOPHER JONATHAN MAYORGA ZAMBRANO

Sangolquí, septiembre 2024



Autor: Edgar Aníbal Montaña Bersosa

Título a obtener: Magister Tecnológico en extracción, levantamiento y tratamiento de crudos pesados.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: petermontano@hotmail.com



Autor: Santiago Arcenio Montaña Bersosa

Título a obtener: Magister Tecnológico en extracción, levantamiento y tratamiento de crudos pesados.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: santiamonts@hotmail.com



Dirigido por: Christopher Jonathan Mayorga Zambrano

Título: Magister en Petróleos con mención en Recobro por Inyección de agua y gas

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: christopheher.mayorga@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

Edgar Anibal Montaña Bersosa

Santiago Arcenio Montaña Bersosa

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **Plan de Desarrollo para Afloramientos Naturales de Hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo** realizado por Edgar Anibal Montaña Bersosa y Santiago Arcenio Montaña Bersosa ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

MSc. Christopher Jonathan Mayorga Zambrano
Director del Trabajo de Titulación
C.I.: 1311871717
Correo electrónico: christopheher.mayorga@ister.edu.ec

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Por medio de la presente, yo, Edgar Anibal Montaña Bersosa, declaro y acepto de forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado, **Plan de Desarrollo para Afloramientos Naturales de Hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo**, de la maestría tecnológica Extracción, Levantamiento y Tratamiento de Crudos Pesados; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción distribución y publicación de dicho trabajo de Titulación, en cualquier formato y medio con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual firmo la presente.

Atentamente,

Edgar Anibal Montaña Bersosa
C.I.: 2100087812

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Por medio de la presente, yo, Santiago Arcenio Montaña Bersosa, declaro y acepto de forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado, **Plan de Desarrollo para Afloramientos Naturales de Hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo**, de la maestría tecnológica Extracción, Levantamiento y Tratamiento de Crudos Pesados; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción distribución y publicación de dicho trabajo de Titulación, en cualquier formato y medio con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual firmo la presente.

Atentamente,

Santiago Arcenio Montaña Bersosa
C.I.: 2100280961

**FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
EN BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA: EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO
DE CRUDOS PESADOS.**

AUTOR /ES:

Edgar Anibal Montaña Bersosa

Santiago Arcenio Montaña Bersosa

TUTOR:

MSC. Christopher Jonathan Mayorga Zambrano

CONTACTO ESTUDIANTE:

0998458772 - 0994289259

CORREO ELECTRÓNICO:

petermontano@hotmail.com santiamonts@hotmail.com

TEMA:

**PLAN DE DESARROLLO PARA AFLORAMIENTOS NATURALES DE
HIDROCARBUROS ATÍPICOS EN EL CAMPO PACOA Y GUSTAVO GALINDO**

RESUMEN:

El presente estudio desarrolla un plan integral para la explotación sostenible de los afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en los campos Pacoa y Gustavo Galindo, en la provincia de Santa Elena, Ecuador. Estos afloramientos, que contienen crudos livianos y pesados, ofrecen oportunidades económicas significativas para la industria petrolera, pero también presentan desafíos técnicos importantes. El trabajo se basa en el estudio de los hidrocarburos en cuatro afloramientos principales

(Valparaíso, Cautivo, Megaterio 1 y Megaterio 2), analizando parámetros como la gravedad API, viscosidad, contenido de azufre y porcentaje de agua y sólidos sedimentarios (BSW).

Los resultados muestran una variabilidad considerable en las propiedades de los crudos, lo que requiere la aplicación de técnicas diferenciadas de recuperación, como la deshidratación y desulfuración in situ. Se identificaron riesgos debido a la liberación continua de hidrocarburos, especialmente en áreas cercanas a zonas pobladas y cuerpos de agua. Para mitigar estos impactos, se propone implementar tecnologías de biorremediación y un monitoreo constante. El estudio busca optimizar el aprovechamiento técnico de los hidrocarburos, garantizando la sostenibilidad del proceso mediante la integración de criterios técnicos, económicos y de seguridad, promoviendo una explotación eficiente y responsable.

PALABRAS CLAVE:

Aflorantes, Atípicos, crudos pesados, demigración, Formación Socorro

ABSTRACT:

The present study develops a comprehensive plan for the sustainable exploitation of the atypical natural hydrocarbon seeps in the Pacoa and Gustavo Galindo fields, located in the province of Santa Elena, Ecuador. These seeps, which contain both light and heavy crude oils, offer significant economic opportunities for the oil industry but also present important technical challenges. The work is based on the study of hydrocarbons in four main seeps (Valparaíso, Cautivo, Megaterio 1, and Megaterio 2), analyzing parameters such as API gravity, viscosity, sulfur content, and the percentage of water and sedimentary solids (BSW).

The results show considerable variability in the properties of the crude oils, which requires the application of differentiated recovery techniques, such as in-situ dehydration and desulfurization. Risks were identified due to the continuous release of hydrocarbons, especially in areas close to populated zones and water bodies. To mitigate these impacts, it is proposed to implement bioremediation technologies and constant monitoring. The study aims to optimize the technical exploitation of hydrocarbons, ensuring process sustainability through the integration of technical, economic, and safety criteria, promoting efficient and responsible exploitation.

PALABRAS CLAVE:

Outcrops, Atypical, heavy crudes oil, Demigration, Socorro formation

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás

Directora de Posgrados

Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui

Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **Plan de desarrollo para afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo** de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Edgar Anibal Montaña Bersosa, con documento de identificación No 2100087812, estudiante de la Maestría Tecnológica Extracción, Levantamiento y Tratamiento de Crudos Pesados.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

Edgar Anibal Montaña Bersosa.

CI: 2100087812

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás

Directora de Posgrados

Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui

Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **Plan de desarrollo para afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo** de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Santiago Arcenio Montaña Bersosa, con documento de identificación No 2100280961, estudiante de la Maestría Tecnológica Extracción, Levantamiento y Tratamiento de Crudos Pesados.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

Santiago Arcenio Montaña Bersosa.

CI: 2100280961

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes nos han brindado su apoyo incondicional y han sido una fuente constante de inspiración y fortaleza a lo largo de este proceso académico. A nuestros padres, por inculcarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia; a nuestras parejas e hijos, por su paciencia y comprensión en los momentos más retadores; y a nuestros amigos, por su aliento y compañía en cada paso de este camino.

Este logro también está dedicado a todas aquellas personas que, de una u otra manera, creen en el poder de la educación y en la capacidad de los sueños para transformarse en realidad.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradecemos profundamente a nuestro tutor Msc. Christopher Jonathan Mayorga Zambrano, por su guía, conocimientos y constante apoyo durante la realización de este proyecto. Su paciencia, experiencia y compromiso con nuestra formación han sido fundamental para el desarrollo de esta tesis.

Agradecemos también a los docentes del Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui, quienes, a lo largo de este recorrido, nos brindaron las herramientas académicas y profesionales que hoy nos permiten alcanzar esta meta.

Asimismo, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a nuestros compañeros del Laboratorio de Análisis de EP-PETROECUADOR, cuyo apoyo técnico y colaboración han sido esenciales para el desarrollo de esta investigación.

A nuestras familias, por estar siempre presentes, brindándonos no solo su apoyo moral y emocional, sino también su comprensión durante los momentos más exigentes de este camino académico.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron con su tiempo, conocimiento y esfuerzo para que este proyecto pudiera materializarse. Cada uno de ustedes ha dejado una huella significativa en esta etapa de nuestras vidas.

Resumen:

El presente estudio desarrolla un plan integral para la explotación sostenible de los afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en los campos Pacoa y Gustavo Galindo, en la provincia de Santa Elena, Ecuador. Estos afloramientos, que contienen crudos livianos y pesados, ofrecen oportunidades económicas significativas para la industria petrolera, pero también presentan desafíos técnicos importantes. El trabajo se basa en el estudio de los hidrocarburos en cuatro afloramientos principales (Valparaíso, Cautivo, Megaterio 1 y Megaterio 2), analizando parámetros como la gravedad API, viscosidad, contenido de azufre y porcentaje de agua y sólidos sedimentarios (BSW).

Los resultados muestran una variabilidad considerable en las propiedades de los crudos, lo que requiere la aplicación de técnicas diferenciadas de recuperación, como la deshidratación y desulfuración in situ. Se identificaron riesgos debido a la liberación continua de hidrocarburos, especialmente en áreas cercanas a zonas pobladas y cuerpos de agua. Para mitigar estos impactos, se propone implementar tecnologías de biorremediación y un monitoreo constante. El estudio busca optimizar el aprovechamiento técnico de los hidrocarburos, garantizando la sostenibilidad del proceso mediante la integración de criterios técnicos, económicos y de seguridad, promoviendo una explotación eficiente y responsable.

PALABRAS CLAVE:

Aflorantes, Atípicos, crudos pesados, demigración, Formación Socorro

ABSTRACT:

The present study develops a comprehensive plan for the sustainable exploitation of the atypical natural hydrocarbon seeps in the Pacoa and Gustavo Galindo fields, located in the province of Santa Elena, Ecuador. These seeps, which contain both light and heavy crude oils, offer significant economic opportunities for the oil industry but also present important technical challenges. The work is based on the study of hydrocarbons in four main seeps (Valparaíso, Cautivo, Megaterio 1, and Megaterio 2), analyzing parameters such as API gravity, viscosity, sulfur content, and the percentage of water and sedimentary solids (BSW).

The results show considerable variability in the properties of the crude oils, which requires the application of differentiated recovery techniques, such as in-situ dehydration and desulfurization. Risks were identified due to the continuous release of hydrocarbons, especially in areas close to populated zones and water bodies. To mitigate these impacts, it is proposed to implement bioremediation technologies and constant monitoring. The study aims to optimize the technical exploitation of hydrocarbons, ensuring process sustainability through the integration of technical, economic, and safety criteria, promoting efficient and responsible exploitation.

PALABRAS CLAVE:

Outcrops, Atypical, heavy crudes oil, Demigration, Socorro formation

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
Tema	2
Planteamiento del problema.....	2
Problema científico	3
Preguntas científicas o directrices.....	3
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	4
Justificación	4
Variables	5
Idea a defender y/o hipótesis.....	5
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	6
1.1. Hidrocarburos y su Composición.....	6
1.2. Características de los hidrocarburos.	6
1.3. Sistema Petrolero	7
1.4. Elementos de un sistema petrolero.	8
1.5. Procesos de un sistema petrolero.	9
1.5.1. Formación de la trampa.	9
1.5.2. Generación.	11
1.5.3. Migración.....	12
1.6. Indicios De Hidrocarburos	13
1.6.1. Clasificación de los indicios.	13
1.7. Geología Regional del Área	15
1.7.1. Estratigrafía.	15
1.8. Clasificación de los hidrocarburos.....	18
1.9. Principales propiedades de los hidrocarburos.	19
1.9.1. Propiedades físicas de los hidrocarburos	19
1.9.2. Propiedades químicas de los hidrocarburos	19
1.10. Indicios de hidrocarburos.....	20
1.10.1. Clasificación de los indicios superficiales	20
1.11. Afloramientos naturales	21
1.11.1. Características	21
1.11.2. Causas.....	21
1.11.3. Efectos	22
CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO	23

2.1.	Diseño / tipo de investigación	23
2.2.	Método de investigación.....	23
2.3.	Técnicas.....	23
2.4.	Población y muestra.....	24
2.5.	Procesamiento de datos.....	24
CAPÍTULO III: PROCESAMIENTO DE DATOS DE INVESTIGACIÓN		26
3.1.	Revisión de literatura y planificación del estudio.....	26
Tabla Nro. 1.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón Salinas. Coordenadas del proyecto UTM DATUM WGS84 Zona 17 M.....		
3.2.	Recolección de datos en campo.....	29
3.2.1.	Recolección de muestra en el afloramiento valparaíso.....	29
3.2.2.	Recolección de muestra en el afloramiento cautivo.....	30
3.2.3.	Recolección de muestra en el afloramiento megaterio 1.....	30
3.2.4.	Recolección de muestra en el afloramiento megaterio 2.....	31
3.3.	Análisis de muestras y datos.....	32
CAPÍTULO IV: PLAN DE DESARROLLO PARA AFLORAMIENTOS NATURALES DE HIDROCARBUROS ATÍPICOS EN EL CAMPO PACOA Y GUSTAVO GALINDO		33
4.1.	Plan de desarrollo para afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo	33
CONCLUSIONES.....		44
RECOMENDACIONES		45
REFERENCIAS:		46

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1.- Sistema Petrolero	7
Figura 2.- Roca Reservorio.....	8
Figura 3. Ejemplo de trampa estratigráfica y estructural (Rafferty et al.,2021).....	10
Figura 4. Trampas estatigráficas.....	11
Figura 5. Modelo generalizado de Indicios directo e indirectos (Garain et al., 2021).	13
Figura 6. Vías de migración	15
Figura 7. Formación Santa Elena (Cretácico superior).	16
Figura 8. Sector Valparaíso, Afloramiento Valparaíso	29
Figura 09. Sector Carlos Rubira, Afloramiento Cautivo	30
Figura 10. Sector Tanque Loma, Afloramiento Megaterio 1	31
Figura 11. Sector Tanque Loma, Afloramiento Megaterio 2	31
Figura 12. Muestras tomadas de los 4 afloramientos de estudio.	32
Figura 13. Proceso de calentamiento del hidrocarburo	34
Figura 14. Toma de temperatura y API.....	34
Figura 15. Centrifugado de muestra	34
Figura 16. Resultado de separación.....	35
Figura 17. Análisis de azufre	35
Figura 18. Temperatura de muestra	36
Figura 19. Viscosímetro muestra cautivo	36
Figura 20. Muestra crudo / bsw cautivo	36
Figura 21. Resultado de azufre muestra de cautivo.....	37
Figura 22. Toma de Api muestra de cautivo	37
Figura 23. Toma de API Megaterio 1 y 2	38
Figura 24. Toma de datos azufre muestras megaterio 1 y 2	38
Figura 25. Toma de datos azufre muestras megaterio 1 y 2	38
Figura 26. Datos BSW muestras megaterio 1 y 2	39
Figura 27. Viscosímetro muestras megaterio 1 y 2	39

ÍDICE DE TABLAS

Tabla Nro. 1.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón Salinas.....	26
Tabla Nro. 2.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón La Libertad.	27
Tabla Nro. 3.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón Santa Elena.	28
Tabla Nro.4.- Resultado de Análisis de los Afloramientos Naturales de Hidrocarburos.....	32

INTRODUCCIÓN

Los Bloques Pacoa 01 y Gustavo Galindo 02, están dedicados a la extracción y explotación de crudos livianos y extra-livianos en donde se han encontrado indicios de hidrocarburos altamente viscosos que están aflorado naturalmente, son fenómenos geológicos de gran relevancia que son importantes para la identificación de áreas potenciales para explorar y explotar petróleo. Estos vestigios aflorantes, que se manifiestan tanto en ambientes terrestres como marinos, son indicios visibles con migración de petróleo desde formaciones subterráneas direccionado ha superficie. Esta visibilidad convierte a los fluidos aflorados en valiosos indicadores que indican la presencia de sistemas petroleros en el subterráneo, facilitando la localización de yacimientos con potencial para explotación.

En el contexto ecuatoriano, y más específicamente en Santa Elena, el aprovechamiento de los fluidos aflorantes naturales de hidrocarburos ha sido relativamente limitada. En los campos petroleros de BL-01 y BL-02, se han registrado emanación de fluidos con hidrocarburos que no solo representan oportunidades económicas significativas, sino también presentan desafíos técnicos considerables. La ausencia de normativas y directrices claras para la gestión y aprovechamiento de estos recursos ha creado un vacío que impide un desarrollo adecuado. Esta falta de regulación pone en riesgo tanto el entorno natural como la posibilidad de maximizar el uso eficiente de estos recursos.

El presente estudio se enfoca en los análisis de los fluidos aflorantes naturales de hidrocarburos en los campos petroleros de Pacoa y Gustavo Galindo, lo que permita desarrollar un plan de aprovechamiento que garantice una explotación segura y sostenible de estos recursos. Al comprender detalladamente las características de los fluidos aflorantes, el estudio busca establecer estrategias y gestión que integren consideraciones técnicas y económicas. De este modo, se busca asegurar que el aprovechamiento de estos recursos no solo beneficie a la industria petrolera, sino también a las comunidades locales, sin comprometer la integridad de sus habitantes.

Tema

Plan de Desarrollo para Afloramientos Naturales de Hidrocarburos Atípicos en el Campo Pacoa y Gustavo Galindo.

Planteamiento del problema

No se cuenta con un plan de desarrollo para la producción de crudo pesado en los campos Pacoa y Gustavo Galindo, ya que sus facilidades están diseñadas para la producción y transporte de crudos entre los 30° a 46° Api, para lo cual sus sistemas de tratamiento están diseñados para crudo liviano y extra liviano, sin embargo, se ha descubierto crudos aflorantes con grados API de 13° a 15° sin existir un proceso para su aprovechamiento, gestión o utilizada.

Los afloramientos naturales de fluido se consideran como liberaciones continuas y discretas de crudo tanto en shore como off shore, que han jugado un papel significativo en la identificación inicial de áreas para la exploración y explotación petrolera. Estas emanaciones se encuentran principalmente en rocas sedimentarias, por lo que también se pueden observar en fracturas, fallas, depósitos salinos, rocas ígneas o como simples emanaciones directas de la roca madre. A nivel global, es importante destacar que los afloramientos naturales han estado presentes durante miles de años. Además, las emanaciones naturales varían considerablemente en cuanto a los sitios puntuales donde se producen y en términos de los volúmenes liberados. Debido a las variaciones de su origen, a estas emanaciones no se las puede vincular necesariamente con yacimientos petrolíferos comercialmente explotables. (García, 2006)

Aunque a nivel mundial los afloramientos naturales de hidrocarburos pudieran ser gestionados con políticas efectivas, como técnicas, en Ecuador no existe la normativa legal y técnica para el manejo específico de los fluidos aflorantes de hidrocarburos, ya sean estos naturales o antrópicos, esto debido a que estas emanaciones se encuentran presentes de manera focalizada en el país y las autoridades no han denotado un punto importante en el manejo de estos recursos.

Específicamente en la Provincia de Santa Elena, Campos Petroleros BL-01 Pacoa y BL-02 Gustavo Galindo, en la última década, se han identificado afloramientos naturales de

hidrocarburos. Investigaciones realizadas por Veloz (2015), Lorenzo et al. (2019) y Yagual (2020) han confirmado la presencia de estas emanaciones naturales de hidrocarburos en diferentes sitios de la provincia. Estas emanaciones de hidrocarburos generan muchas alertas, por lo que se ha visto en la obligación de realizar mesas de trabajos dentro del COE Provincial y Cantonal para tratar el tema, sin tener resultados eficientes, esto debido a que no existe determinación de competencias hacia alguna institución gubernamental que pueda ejecutar acciones y lograr un manejo efectivo de este recurso. Actualmente, la falta de estudios detallados sobre la características y gestión de estos afloramientos limita la capacidad de las autoridades y las empresas para desarrollar estrategias de aprovechamiento que sean seguras y sostenibles. Esto plantea un problema significativo para la industria petrolera, ya que la explotación inadecuada podría resultar en la pérdida de oportunidades económicas.

Por lo expuesto, se plantea la realización de una línea base de los afloramientos naturales de hidrocarburos de los Campos Petroleros Pacoa y Gustavo Galindo, iniciando los análisis de los hidrocarburos aflorantes, la cual nos mostrará características específicas que nos llevarán a la elaboración de un plan de desarrollo que permita el aprovechamiento de estos afloramientos de manera segura y sostenible.

Problema científico

¿Cómo caracterizar los afloramientos naturales de hidrocarburos que se encuentran en los Campos Peroleros Pacoa y Gustavo Galindo y qué estrategias de gestión se pueden desarrollar para su aprovechamiento sostenible y seguro en la industria petrolera?

Preguntas científicas o directrices

- ✓ ¿Cuál es la composición de los hidrocarburos aflorantes naturales en la Provincia de Santa Elena?
- ✓ ¿Qué características específicas de movilidad de fluidos aflorantes deben ser consideradas para desarrollar estrategias de gestión sostenibles?
- ✓ ¿Qué estrategias de gestión pueden minimizar los riesgos y maximizar el aprovechamiento sostenible de los afloramientos?

Objetivo general

Desarrollar un plan integral para la explotación sostenible y segura de los afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en los campos Pacoa y Gustavo Galindo

Objetivos específicos

- ✓ Recopilar y analizar información científica y técnica relacionada con los hidrocarburos aflorantes naturales en los campos de Pacoa y Gustavo Galindo.
- ✓ Tomar muestras de afloramientos naturales en los siguientes puntos, (UTM: 17 M 514135 9754217), (UTM: 17 M 508235 9750364), (UTM: 17 M 512887 9755037), (UTM: 17 M 513136 9754833) en la provincia de Santa Elena.
- ✓ Realizar un análisis de su composición, movilidad, de los hidrocarburos naturales aflorantes.
- ✓ Proponer estrategias de aprovechamiento que integren consideraciones de seguridad, sostenibilidad y viabilidad económica.

Justificación

Los fluidos aflorantes naturales de hidrocarburos han sido históricamente indicadores relevantes en la exploración petrolera a nivel mundial, y hoy en día continúan sirviendo como indicadores directos de acumulaciones subsuperficiales de gas, petróleo.

En la provincia de Santa Elena, en varios puntos de los campos petroleros Pacoa y Gustavo Galindo, la presencia de indicios naturales de hidrocarburos en diversos lugares y épocas subraya la necesidad de evaluar el estado actual de estos fluidos aflorantes. Por ello, la investigación propuesta tiene como objetivo el aprovechamiento de los fluidos naturales de hidrocarburos en la Provincia de Santa Elena desarrollando un plan integral de gestión significativa para la industria petrolera en Ecuador.

La explotación responsable y eficiente de estos recursos depende, en gran medida, de un análisis que permita determinar su movilidad, el API, debido a que nos ayudará a comprender

la calidad y las propiedades de los hidrocarburos presentes. Este análisis detallado permite evaluar la posibilidad de la extracción y el aprovechar estos recursos, identificando posibles impurezas y mejorando su explotación.

Esta información es importante para elaborar un plan de desarrollo que maximice su aprovechamiento y optimicen el uso de esos recursos disponibles, constituyendo un insumo valioso para los (GAD) de los municipios, las empresas petroleras y otras autoridades.

La elaboración del plan de desarrollo eficiente y sostenible también tiene un impacto directo para el desarrollo económico en la Provincia de Santa Elena.

Variables

Variables Independientes:

- ✓ Composición de hidrocarburos en los fluidos aflorantes.
- ✓ Técnicas utilizadas para la extracción

Variables Dependientes:

- ✓ Aprovechamiento de los afloramientos naturales de hidrocarburos
- ✓ Sostenibilidad de las operaciones petroleras

Idea a defender y/o hipótesis

Hipótesis: La implementación del plan de desarrollo basado en los análisis de los fluidos recuperados en sitio aflorante en los campos BL-01 y BL-02 permitirá optimizar su aprovechamiento de manera sostenible. Esto se logrará mediante la adopción de estrategias de manejo ambiental, resultando en un balance positivo entre el aprovechamiento económico, la reducción de impactos ambientales, y la mitigación de riesgos para las comunidades locales.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Hidrocarburos y su Composición

Los hidrocarburos son composiciones orgánicas formados por moléculas de carbono (tiene como características que es sólido, insípido e inodoro) e hidrógeno (tiene como características que es inflamable, incoloro e inodoro), que se formaron en la naturaleza por la lenta descomposición de acumulación de microorganismos, que se hayan sepultados a grandes profundidades, bajos condiciones de presión y temperaturas muy elevadas originando la descomposición paulatina de los restos orgánicos hasta transformarse en hidrocarburos.

El crudo y el gas natural fueron acumulándose y depositándose con capas de sedimentos finos ambiente anóxico como en el fondo del mar o lagunas del pasado geológico (Cabanillas et al., 2013) y (López, 2015).

Están formados principalmente por átomos de carbono e hidrógeno, siendo su composición típica: 85.0% carbono (C), 12.0% hidrógeno (H), 8.0% azufre (S), 1.0% nitrógeno (N) y 0.5% oxígeno (O) (Ortega et. Al. 2023). Estos compuestos pueden estructurarse en cadenas de carbono que pueden ser lineales, ramificadas, cerradas o cerradas con ramificaciones. (Cordero, 2024)

1.2. Características de los hidrocarburos.

Los hidrocarburos se consideran químicamente como una mezcla compleja que contiene principalmente carbono e hidrógeno en cantidades que varían entre 86 % y 14 %, respectivamente, en la mezcla que lo constituye, los hidrocarburos coexisten en fase sólida, líquida y gaseosa y pueden presentar además en su composición, pequeñas proporciones de compuestos con presencia de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales (Loya, 2013).

Según su grado API:

Se distinguen los siguientes tipos de petróleo, en base a su gravedad API (escala creada por la American Petroleum Institute), es decir, su densidad:

Crudo liviano o ligero. Presenta gravedades por encima de 31,1 °API.

Crudo medio o mediano. Oscila entre 22,3 y 31,1 °API.

Crudo pesado. Presenta gravedades de entre 10 y 22,3 °API.

Crudo extrapesado. Posee gravedades menores a 10 °API

El petróleo crudo se define como "una mezcla de hidrocarburos que existía en fase líquida en yacimientos naturales subterráneos y que permanece líquida a presión atmosférica después de pasar a través de instalaciones de separación en superficie".

El aspecto de los petróleos crudos varía desde el amarillo pálido, el verde y marrón a marrón oscuro o negro. El petróleo tiene una textura naturalmente aceitosa y tienen viscosidades muy variadas. El petróleo en la superficie tiende a ser más viscoso que en los de los yacimientos (Selley y Sonnenberg, 2015a).

1.3. Sistema Petrolero

Los sistemas petroleros ocurren en los reservorios dentro de las cuencas sedimentarias, que son aquellas zonas donde el hundimiento de la corteza terrestre ha permitido la acumulación de gruesas capas de rocas sedimentarias (Aminzadeh y Dasgupta, 2013). Un sistema petrolero es natural, que incluye todos los elementos y procesos geológicos que son importantes para que un yacimiento de petróleo y gas pueda existir en la naturaleza. Para que un sistema petrolero sea efectivo es necesario que existan los siguientes elementos: roca madre madura (en condiciones de generar), roca reservorio, roca sello y roca de sobrecarga (Figura 1), mientras que los procesos que componen la formación de la trampa son: generación, migración, acumulación y preservación (Magoon, 1988).

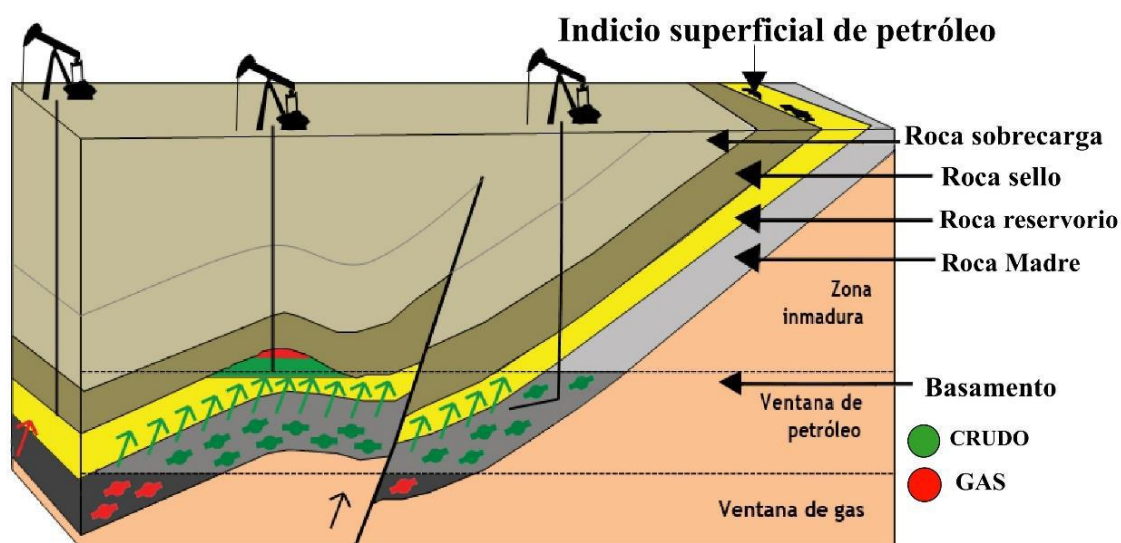


Figura 1.- Sistema Petrolero

1.4. Elementos de un sistema petrolero.

Los elementos que forman un sistema petrolífero son:

✓ **Roca madre.**

La roca madre o generadoras poseen las características apropiadas para la generación de hidrocarburo. Una de las características importantes es contener materia orgánica suficiente para generar importantes volúmenes de hidrocarburos (Figura 1). La mejor roca madre es la lutita negra (que su color es debido al alto contenido de materia orgánica), ya que al contar con una porosidad subcapilar son usualmente impermeables e impiden que la materia orgánica sea destruida por agentes externos (Lorenzo y Morato, 2018).

✓ **Roca reservorio.**

La roca reservorio es aquella que deja entrar a los hidrocarburos, debiendo poseer ciertas características como porosidad, permeabilidad, capa sello y condiciones de entrapamiento donde se almacenan los hidrocarburos generados por una roca madre (Vejar, 1998) (Figura 2).

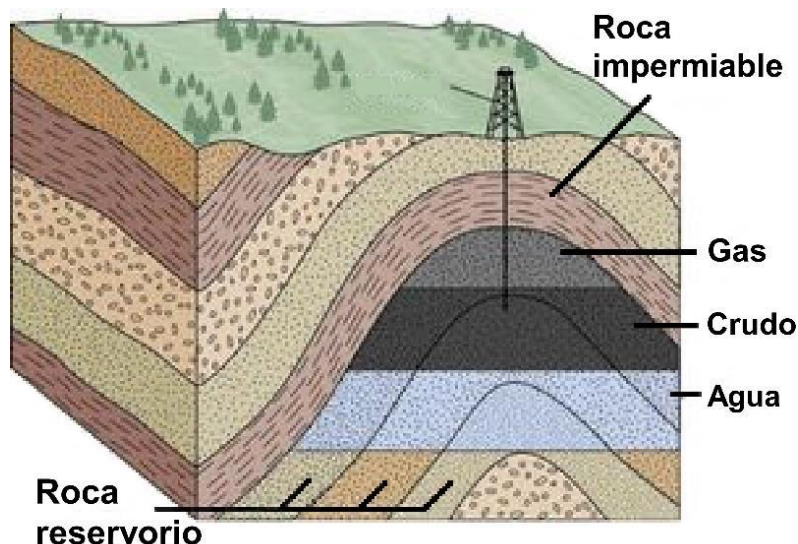


Figura 2.- Roca Reservorio

La presencia de rocas reservorio resulta de la deposición en un amplio rango de ambientes sedimentarios, encontrándose como principales rocas reservorio en su mayoría arenas y areniscas en un 62% de los campos, calizas y dolomías en un 32% de los campos y las

evaporitas (de las capas de cobertura en los domos salinos) y silexitas (de rocas volcánicas y metamórficas o arcillas silicificadas) en un 6% de los campos (Zuñiga D, 2020).

✓ **Roca sello.**

La roca sello sirve de barrera e impide que el hidrocarburo se desplace o se escape, por lo general la capa de roca impermeable o semipermeable a la que se denomina sello. El sello está compuesto frecuentemente de arcillas, pero también pueden ser rocas impermeables de otra naturaleza, tales como mantos de sal, yeso o incluso rocas volcánicas (Tuz y León, 2013).

✓ **Roca sobrecarga.**

La roca sobrecarga representa la fuente sedimentaria que está sobre el yacimiento y al pasar en el tiempo permite dar las condiciones necesarias de presión y temperatura para que un sistema petrolero se lleve a cabo (Lorenzo y Morato, 2018).

1.5. Procesos de un sistema petrolero.

Los procesos de un sistema petrolífero son:

1.5.1. Formación de la trampa.

La formación de las trampas son todos los procesos que dan origen a una estructura geológica de origen tectónico o estratigráfico con un techo regional o roca sello, que circunscribe y restringe un determinado volumen de hidrocarburo asociado conjuntamente con una o más rocas reservorio (Zuñiga D, 2020).

La trampa de hidrocarburos es una configuración geométrica de rocas de muy baja permeabilidad (sellos), que permite detener la migración posterior y hace posible la concentración y acumulación de petróleo, manteniéndolo atrapado y evitando la posibilidad de escapar (Aminzadeh y Dasgupta, 2013).

Las trampas son tradicionalmente divididas en dos grandes grupos genéticos de trampas estructurales y de estratigráficas (Figura 3), y un tercer grupo de las trampas combinadas, que se deben a una combinación de las anteriores (Morales, 2012).

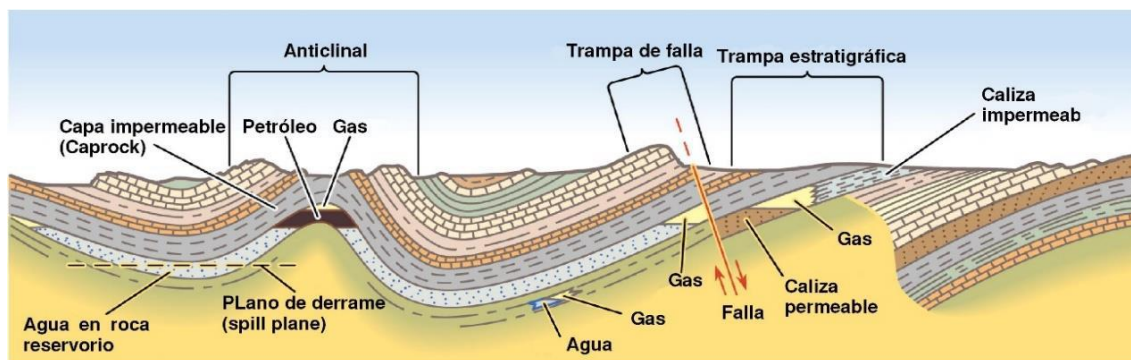


Figura 3. Ejemplo de trampa estratigráfica y estructural (Rafferty et al.,2021).

Las trampas estructurales son originadas por procesos tectónicos, gravitacionales y de compactación las cuales pueden ser formados por una falla o a un anticlinal, siendo estas últimas las más frecuentes. Otra posibilidad es su origen debido a un domo salino (Selley y Sonnenberg, 2015b).

✓ *Trampa anticlinal.*

Los anticlinales, o pliegues, pueden subdividirse en dos clases: anticlinales de compresión (causados por disminución de la corteza) (Figura 4 A) y anticlinales de compactación (desarrollados en respuesta a la tensión en la corteza) (Selley y Sonnenberg, 2015b).

✓ *Trampa por fallas.*

Las trampas de falla se forman por el movimiento de las rocas a lo largo de una línea de falla. Las fallas antiguas pueden evitar la migración de hidrocarburos, ya que con el pasar del tiempo, la circulación de agua que atraviesa por ella se mineraliza sellando la posterior circulación de fluido, pero las fallas al ser una nueva creación o la tectónica la ha activado últimamente suelen encontrarse abiertas y sin relleno por lo que son permeables y por tanto sirven como conducción de fluidos (Figura 4 B). La acción de una falla como trampa o vía de migración depende tanto de la naturaleza como de la fluidez de los hidrocarburos (Lorenzo y Morato, 2018).

✓ *Trampas por intrusión de arcilla o sal*

Las trampas son producidas por los movimientos ascendente de sedimentos con menor densidad, como pueden ser sales o arcillas. A medida que los diferentes sedimentos son acumulados y compactados, van aumentando su densidad, hasta que alcanzan profundidades en la que estos son más densos que la sal. En ese momento la sal tiende a fluir hasta la

superficie, desplazando a los materiales más densos. De esta forma se producen formaciones geológicas, susceptibles de convertirse en trampas petrolíferas (Figura 4 C).

✓ *Trampas estratigráficas*

Las trampas estratigráficas son generadas por cambios en el tipo de roca a lo largo de una formación o estrato (Figura 4 D). Su geometría está relacionada con el ambiente sedimentario quien controla los depósitos sedimentarios (Morales, 2012). El principal elemento que provoca la creación de este tipo de trampas son variaciones en la estratigrafía, litología o ambas, de la roca reservorio. Estas pueden ser cambios de facie, variaciones en la porosidad o permeabilidad (Prado, 2021).

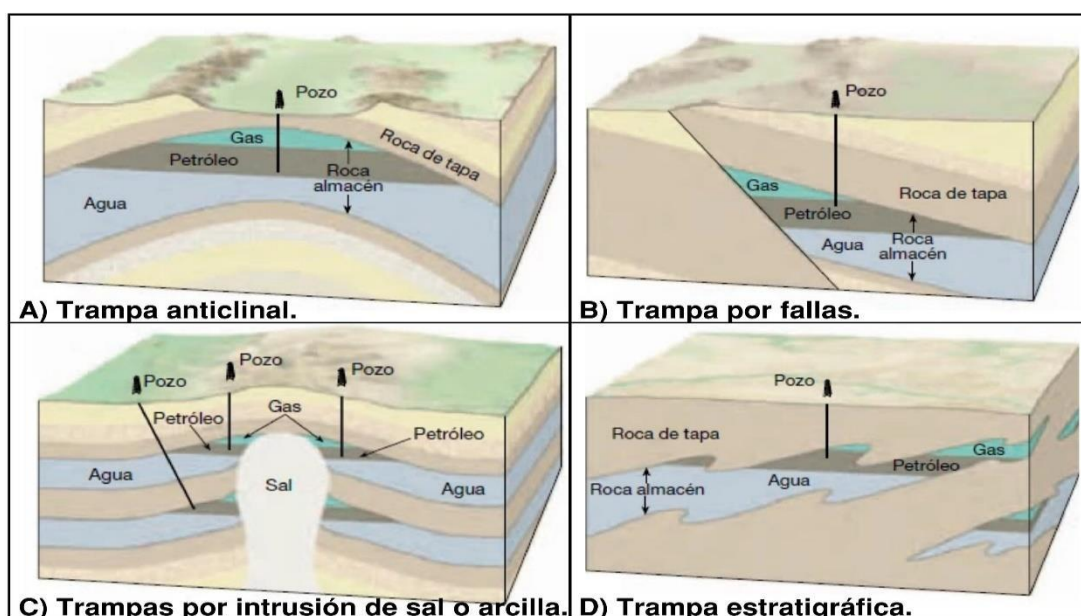


Figura 4. Trampas estratigráficas

1.5.2. Generación.

La generación es el proceso que da origen al petróleo por la deposición de animales minúsculos y sustancias orgánicas y vegetales que se acumulan en el fondo lacustre y marino. Con el pasar del tiempo, la materia orgánica se va descomponiendo y permanece en la profundidad ya que es cubierta por sedimentos posteriores. Los factores de temperatura, presión y procesos físicos y químicos, ayudados por la falta de oxígeno, posibilitan la formación de petróleo y de gas (Morales, 2012).

1.5.3. Migración.

La migración es un proceso mediante el cual el petróleo luego de formarse es expulsado en la parte externa de la roca madre y encuentran rutas de acceso hacia la trampa donde se pueden acumular. Clásicamente el proceso de migración se puede dividir en:

✓ ***Migración Primaria o Expulsión.***

La migración primaria se da cuando la roca madre saturada de petróleo, producto del continuo craqueamiento térmico del querógeno, comienza a expulsar hidrocarburos fuera de ella debido a la presión interna que han provocado los fluidos generados. La migración dependerá del tipo y enriquecimiento de materia orgánica, así como de su distribución dentro de la roca madre (García, 2010).

✓ ***Migración Secundaria.***

La migración secundaria, el petróleo se concentra en lugares específicos (trampas). La fuerza conductora principal es el gradiente de presión en los poros, las condiciones hidrodinámicas y la flotabilidad. Mientras que las fuerzas restrictivas son la presión capilar, la tensión interfacial y el proceso en función de la composición del petróleo y su temperatura (Morales, 2012).

✓ ***Migración Terciaria o Dismigración.***

La dismigración se refiere a todos los desplazamientos que se producen hacia la superficie, originador de indicios superficiales, y después a la eliminación más o menos completa de los hidrocarburos que son causados por agentes atmosféricos (Lorenzo y Morato, 2018).

✓ ***Acumulación.***

La acumulación es el proceso que permite almacenar crudo que puede estar causada por un solo tipo de trampa o trampas mixtas (López, 2015).

✓ ***Preservación.***

Preservación es el tiempo que determina poder conservar el hidrocarburo dentro de los sistemas petroleros, se podría llevar a cabo hasta que ocurra algún fenómeno geológico que pueda alterar la composición del sistema (Lorenzo y Morato, 2018).

1.6. Indicios De Hidrocarburos

Los indicios superficiales de petróleo son todas y cada una de las manifestaciones de hidrocarburos líquidos o gaseosos que surgen en la superficie.

Estas exposiciones son el resultado de la migración vertical (dismigración).

El aspecto de los indicios, es ligado a la naturaleza del hidrocarburo, a su composición química y al tipo de yacimiento donde se encuentren almacenados o por el medio poroso en el que circulan. Las emanaciones naturales tienen diferentes flujos, unas un flujo continuo y otras un flujo interrumpido, estas también pueden ser visibles, como indiscernibles (Lorenzo García & Morato Medina, 2018) y (Etiopie, 2015).

1.6.1. Clasificación de los indicios.

Las exposiciones superficiales de hidrocarburos pueden dividirse en dos grandes categorías: macroseepage (indicios directos) y microseepage (indicios indirectos) (Figura 5).

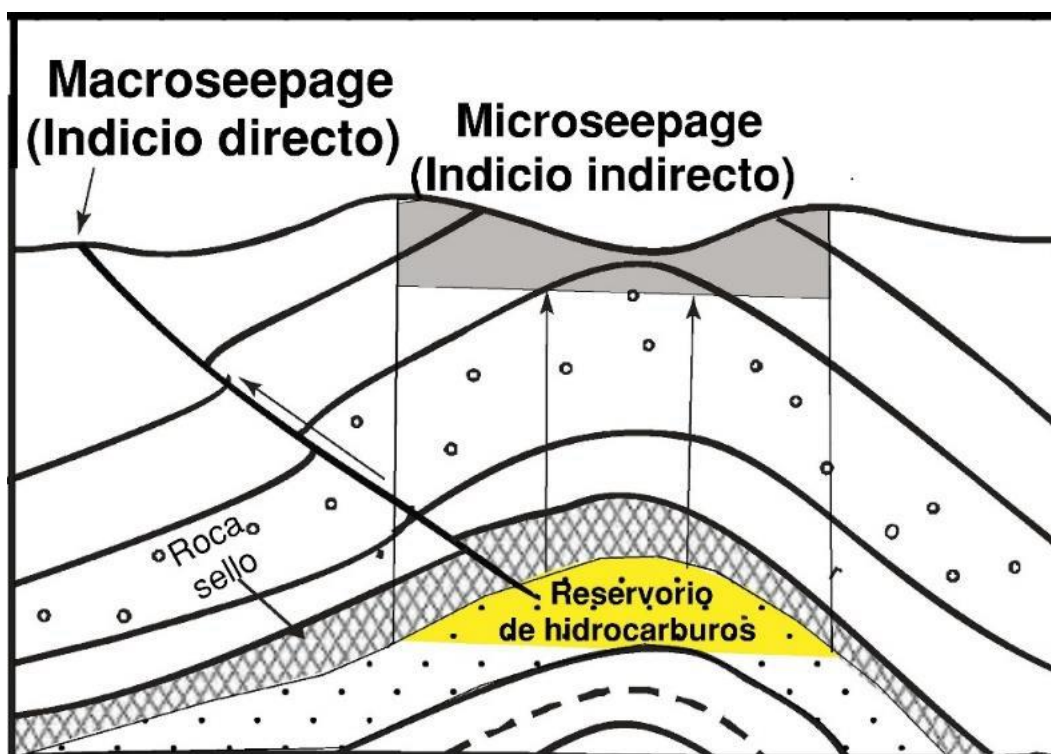


Figura 5. Modelo generalizado de Indicios directo e indirectos (Garain et al., 2021).

El indicio directo es la expresión superficial de una vía de fuga, típicamente relacionada con discontinuidades tectónicas, las cuales los hidrocarburos líquidos o gaseosos naturales están fluyendo (o han estado fluyendo) desde una fuente del subsuelo. Es claramente visible a simple vista. Los indicios indirectos, por el contrario, se refiere a la migración lenta,

invisible, de hidrocarburos ligeros en suelos y rocas sedimentarias cercanos a la superficie, que sólo son detectables mediante métodos analíticos y un cuidadoso muestreo geoquímico (Link, 1952); (Clarke y Cleverly, 1991); (Macgregor, 1993) y (Asadzadeh y De Souza, 2017).

- ***Vías de migración de indicios de los hidrocarburos.***

Walter Link, en 1952 fue uno de los primeros geólogos en describir las relaciones específicas entre las emanaciones y la estratigrafía de las rocas subterráneas de las estructuras geológicas. Distinguió cinco tipos (Figura 6):

Tipo 1. Indicios que emergen de lechos homoclinales (es decir, simples afloramientos de lechos inclinados que contienen petróleo). No estaba claro si estos "lechos petrolíferos" eran fuentes o rocas de depósito. Sin embargo, aunque no sean prolíficos, este tipo de sistema es más adecuado para las filtraciones de petróleo.

Tipo 2. Emanaciones causadas por el aplastamiento y la fracturación de rocas madres maduras fuente poco profundas. Este tipo de sistema sería el caso de las rocas fuente cercanas a la superficie (por ejemplo, pizarra) que liberan hidrocarburos sólo después de su trituración o fracturación.

Tipo 3. Emanaciones de hidrocarburos a lo largo de fallas normales o de empuje, o fracturadas, o rocas erosionadas. Este tipo de sistema es el más común de los sistemas de gas. Los gases pueden encontrar dos tipos de vías: las fallas, especialmente cuando el yacimiento es relativamente profundo, y, en el caso de las rocas de sobrecarga (normalmente evaporitas o arcillas) que han perdido localmente su capacidad de sellado, fracturas de rocas relativamente permeables que recubren el yacimiento.

Tipo 4. Indicios a lo largo de las discordancias que recubre yacimientos con fallas o yacimientos erosionados. La principal vía de acceso a la superficie es estratigráfica (la discordancia) y trae el fluido desde una falla enterrada (conectada al yacimiento) o directamente desde un yacimiento erosionado.

Tipo 5. Emanaciones asociadas a intrusiones como diapiros de esquistos, diapiros de sal e intrusiones ígneas. Los volcanes de lodo pertenecen a esta categoría. Sin embargo, las intrusiones, especialmente los esquistos movilizados, suelen seguir sistemas de fallas, por lo que no habría mucha diferencia entre este tipo y el Tipo 3. La intrusión sería simplemente un elemento adicional.

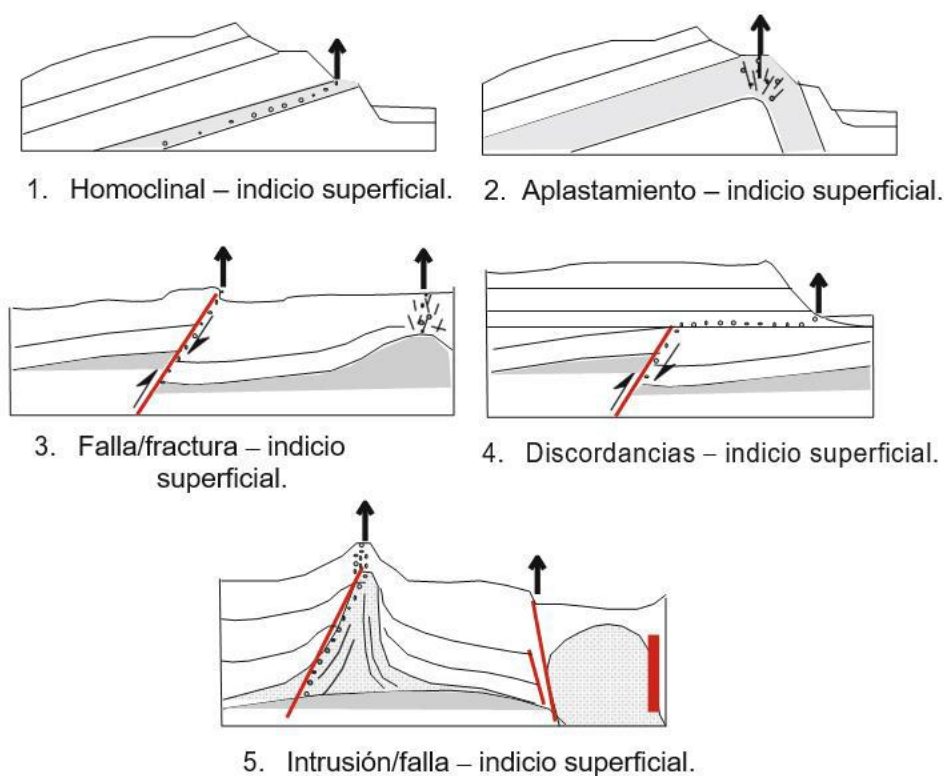


Figura 6. Vías de migración

1.7. Geología Regional del Área

1.7.1. Estratigrafía.

La estratigrafía en el área de los Campos Pacoa y Gustavo Galindo ésta determinada por las siguientes formaciones: Azúcar, Passage Beds y Atlanta, Clay Pebbles Beds, Socorro y Tablazo, que van del Paleoceno al Pleistoceno.

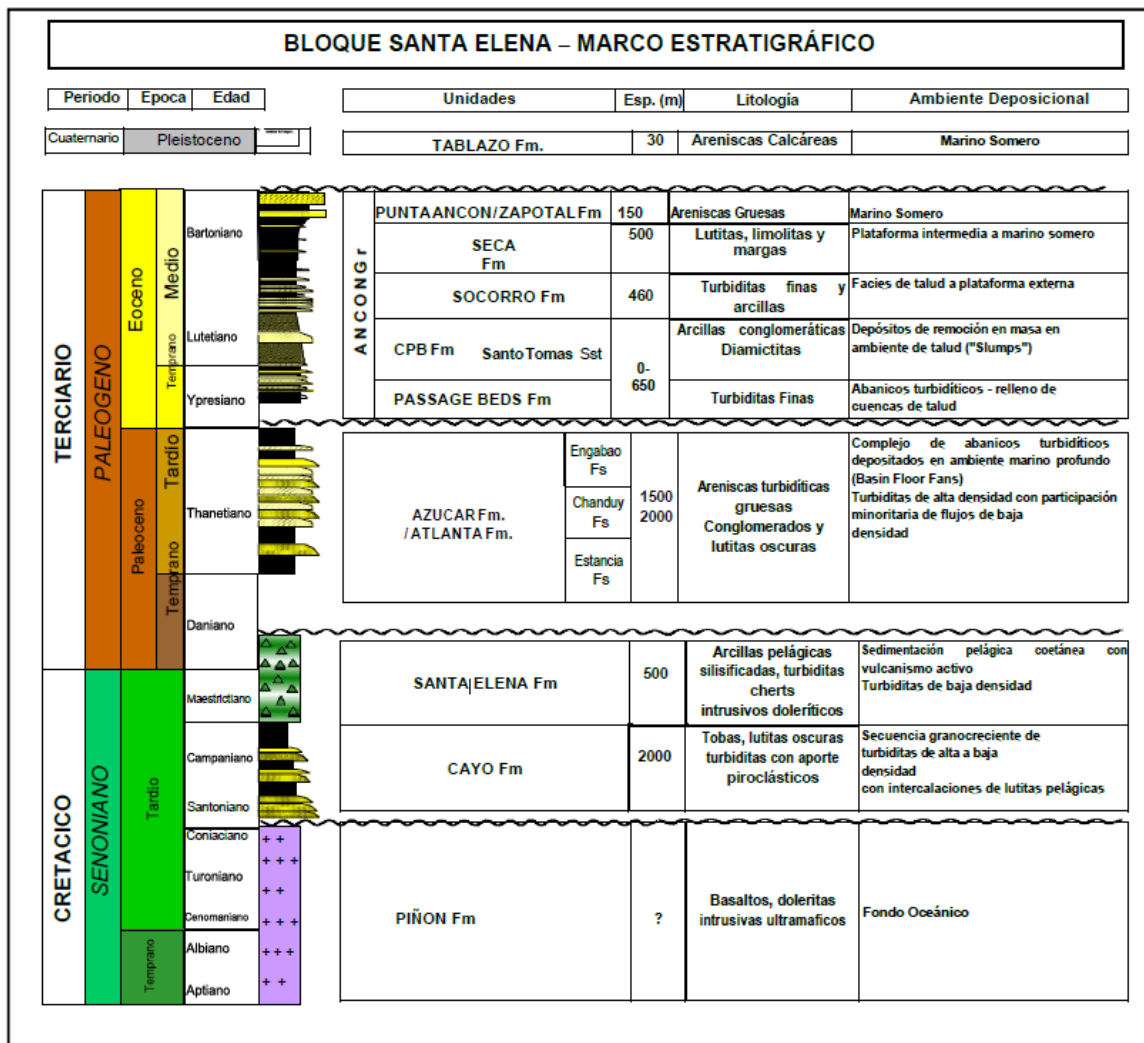


Figura 7. Formación Santa Elena (Cretácico superior).

La formación Santa Elena está constituida por depósitos turbidíticos finos de aguas profundas, deslizamientos y flujos de detritos, representados por niveles finamente estratificados de pelitas silíceas y radiolaritas con participación tobácea de colores blanquecinos. El conjunto se caracteriza por una intensa deformación de tipo dúctil con desarrollo de clivaje penetrativo que determina pliegues y fallamientos de diferentes órdenes y geometría. Estas estructuras definen escamas tectónicas (Armijos y Oña, 2018).

a) **Formación Azúcar - Atlanta (Paleoceno).**

La Formación Azúcar está estratigráficamente ubicada entre la Formación Santa Elena y el Grupo Ancón, constituye el principal reservorio del campo Ancón, en perforaciones del distrito petrolero Ancón, constituida por una arenisca gris dura con textura media a gruesa que representa el principal reservorio por sus fracturas (Chiye y Panchana, 2015).

b) Formación Passage Bed (Eoceno inferior).

Esta unidad se conoce solamente en el subsuelo de Ancón y fue definida por Marchant (1956) como la transición entre el Grupo Azúcar y el Grupo Ancón. También, parte de estos niveles fueron identificados como "Atlanta Shales". Son pelitas duras con estratos delgados de areniscas, que incluyen intercalaciones de areniscas calcáreas de grano medio a grueso y arcillitas con restos carbonosos. Esta secuencia sobreyace en discordancia angular sobre la Formación Azúcar/Atlanta, sobrepuesta, con un espesor entre 0 a 500 m (Calderón, 2014).

c) Formación Clay Pebble Beds C.P.B. (Eoceno medio temprano)

El techo de la unidad aflora en los acantilados de Ancón, con un espesor de 180 m totales asignados en el subsuelo. Se trata de una secuencia maciza, de matriz arcillosa, originados por el deslizamiento sedimentario, del tipo de flujos de barro densos submarinos e interstratificados con turbiditas. Las asociaciones paleontológicas determinan edades Eoceno medio (D. Rodríguez y Pilasagua, 2014).

d) Formación Socorro (Eoceno Medio temprano).

La formación Socorro constituye el reservorio de segunda importancia del campo Ancón, compuesta principalmente por areniscas turbidíticas y pelitas que recubren a la F. Clay Pebble Beds, corresponden a la transición de abanicos turbidíticos – talud, con depósitos de lóbulos y canales de plataforma. Son una alternancia de lutitas deleznales, grises hasta negro y de areniscas turbidíticas, delgadas verdosas. El espesor consta de una arenisca basal (saturada de petróleo) con conglomerados erosivos y areniscas canalizados con texturas de descarga de fluidos, depositados por corrientes densas. Le siguen niveles arcillo - limosos masivos, con intercalaciones de areniscas turbidíticas, con ondulitas indicativas de turbiditas distales. Hacia el tope se presentan areniscas limosas, con deslizamientos con tendencia granocreciente. El contenido fosilífero indica edades Eoceno medio - superior a Eoceno superior (Hidalgo y Aguirre, 2015).

e) Formación Tablazo (Pleistoceno).

La Formación Tablazo posee niveles aterrizados marinos de edad Pleistocena que descansan en fuerte discordancia erosiva (y angular) sobre las rocas cretácicas y paleógenas de la Península Santa Elena. Está compuesta de areniscas gruesas y calizas arenosas, con bancos de conchillas. Son escasamente potentes (hasta algunas decenas de metros que promedian 30 m) y se disponen sub horizontalmente. (D. Rodríguez y Pilasagua, 2014).

1.8. Clasificación de los hidrocarburos

En investigación realizada por Gonzabay (2022), los hidrocarburos se encuentran en la naturaleza en cuatro estados: líquido, semisólido, sólido y gaseoso, cada uno con características específicas.

✓ Estado líquido

El petróleo, el hidrocarburo líquido más representativo, es la mezcla de origen fósil que incluye elementos como azufre, nitrógeno, oxígeno y diversos metales. Su clasificación depende de la gravedad y viscosidad, medidas en grados API (American Petroleum Institute). El petróleo liviano tiene más de 26° API, el intermedio se sitúa entre 20° y 25° API, y el pesado tiene menos de 20° API. El petróleo crudo, extraído del subsuelo, es una mezcla que permanece en estado líquido a presión atmosférica después de ser procesado en las instalaciones de separación en la superficie. Su color varía entre amarillo pálido, verde, marrón y negro oscuro, y su viscosidad es mayor en la superficie que en los yacimientos subterráneos.

✓ Estado semisólido

Los hidrocarburos semisólidos, como el asfalto, son líquidos y livianos en los yacimientos, pero al entrar en contacto con el aire, el sol y el agua en superficie, se transforman en una forma semisólida. Este proceso es causado por la interacción con el ambiente externo.

✓ Estado sólido

El bitumen es un hidrocarburo sólido que se caracteriza por su elevada viscosidad y flujo lento. Se encuentra de forma natural en el subsuelo y contiene compuestos de azufre, lo que influye en sus propiedades y aplicaciones.

✓ Estado gaseoso

El gas natural es el hidrocarburo en estado gaseoso más común. Está compuesto especialmente por metano, etano, propano, butano y pentano, además de pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO₂), helio, sulfuro de hidrógeno (H₂S) y nitrógeno. Es un gas incoloro, inodoro, no corrosivo ni tóxico, y es más ligero que el aire, lo que facilita su manejo y transporte.

1.9. Principales propiedades de los hidrocarburos.

1.9.1. Propiedades físicas de los hidrocarburos

El punto de ebullición de los hidrocarburos incrementa en función del tamaño molecular, es decir, a medida que mayor es el número de átomos de carbono en la cadena. Este fenómeno se debe a que las interacciones intermoleculares, como las fuerzas de dispersión de London, se intensifican en moléculas de mayor masa. La geometría molecular también juega un papel relevante en esta propiedad. Por ejemplo, el butano (C_4H_{10}) posee su punto de ebullición es de $0\text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el nonano (C_9H_{20}) alcanza los $150,8\text{ }^\circ\text{C}$.

De manera similar, la densidad de los hidrocarburos aumenta conforme crece la longitud de su cadena carbonada.

En cuanto a su solubilidad, los hidrocarburos son compuestos apolares, lo que representa que no muestran una distribución desigual de cargas eléctricas en sus moléculas. Esta característica explica su insolubilidad en agua, que es una sustancia polar. La regla de solubilidad química establece que "lo semejante disuelve a lo semejante", lo que justifica la incompatibilidad entre hidrocarburos y solventes polares como el agua.

1.9.2. Propiedades químicas de los hidrocarburos

Combustión. Los hidrocarburos pueden experimentar una combustión completa o incompleta, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno durante la reacción. La combustión completa, que ocurre en condiciones óptimas de oxígeno, produce dióxido de carbono (CO_2), mientras que la combustión incompleta genera monóxido de carbono (CO), un gas tóxico y contaminante. Este comportamiento hace que los hidrocarburos sean considerados fuentes de emisiones contaminantes cuando se utilizan como combustibles.

Pirólisis. Este proceso de descomposición térmica ocurre cuando los compuestos orgánicos, como los hidrocarburos, son sometidos a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. En el caso de los alcanos, la pirólisis a temperaturas cercanas a $800\text{ }^\circ\text{C}$ puede fragmentar las moléculas, produciendo alquenos, alcanos de menor peso molecular y liberando hidrógeno gaseoso.

Halogenación. Los alcanos pueden reaccionar con halógenos bajo la influencia de la radiación ultravioleta, en un proceso de sustitución radicalaria. Este tipo de reacción produce derivados halogenados, los cuales son utilizados en diversas aplicaciones industriales, como en la síntesis de plásticos y refrigerantes.

1.10. Indicios de hidrocarburos.

Se conocen como indicios superficiales a las evidencias de hidrocarburos provenientes del subsuelo que se manifiestan en la superficie terrestre. Estas evidencias son el resultado de la migración vertical o dismigración de los hidrocarburos, que ocurre cuando, durante su desplazamiento, no encuentran una estructura geológica que funcione como trampa para su acumulación. (Lorenzo y Morato, 2018)

La apariencia y las características de estos indicios están condicionadas por la naturaleza del hidrocarburo, ya sea gas o petróleo, y en el caso de este último, por su composición química (petróleos de base parafínica o nafténica), así como por las propiedades del yacimiento o del medio rocoso a través del cual migran.

1.10.1. Clasificación de los indicios superficiales

Indicios Directos: Corresponden a la emergencia superficial de hidrocarburos propiamente dicha ("sensu stricto"), donde los productos hidrocarburiíferos son visibles en superficie. Se subdividen según la continuidad de la circulación subterránea:

✓ **Indicios Activos o Vivos:** Se presentan cuando existe un flujo subterráneo continuo que mantiene la presencia de hidrocarburos en la superficie de forma sostenida.

✓ **Indicios Muertos o Fósiles:** Ocurren cuando la circulación subterránea es discontinua o ha cesado, lo que genera manifestaciones superficiales difusas o de baja intensidad sobre los sedimentos.

Indicios Indirectos: Se manifiestan cuando la presencia de hidrocarburos no es directamente visible, pero existen evidencias en superficie que sugieren su existencia, tales

como alteraciones geoquímicas en el suelo o cambios en la vegetación que indican la migración de fluidos hidrocarburíferos.

1.11. Afloramientos naturales

Según el estudio realizado por Chiles y Pico (2024), los afloramientos de hidrocarburos constituyen manifestaciones geológicas donde los compuestos orgánicos fósiles ascienden desde formaciones profundas hacia la superficie terrestre o marina, evidenciando la cercanía de reservorios de petróleo crudo y gas natural. Estos yacimientos se caracterizan por la presencia de rocas porosas y permeables que permiten la acumulación y el flujo del hidrocarburo, sellados por capas de baja permeabilidad que actúan como barrera, impidiendo su migración hacia la superficie.

El análisis de estos afloramientos tiene relevancia crítica en la comprensión de las condiciones geológicas y medioambientales asociadas a esta fuente de energía no renovable, cuyo aprovechamiento ha sido determinante en la configuración de la economía y la geopolítica global.

1.11.1. Características

Los afloramientos de hidrocarburos suelen presentarse como estructuras geológicas menores, generalmente con morfología cónica, por las cuales los fluidos hidrocarburíferos, mezclados con agua de formación, emergen a la superficie. Estas manifestaciones se observan comúnmente en zonas de alta exposición geológica, como acantilados, cumbres de colinas, pendientes pronunciadas, cauces fluviales, áreas costeras y cortes artificiales.

El estudio detallado de estas manifestaciones geológicas proporciona datos importantes sobre la geología estructural y estratigráfica de la región, permitiendo identificar potenciales trampas de hidrocarburos con interés económico para la exploración y explotación.

1.11.2. Causas

La génesis de afloramientos naturales depende de la existencia de un sistema petrolero adecuado, donde un reservorio con propiedades de porosidad y permeabilidad idóneas

acumule el hidrocarburo. La presencia de una trampa geológica, ya sea estructural o estratigráfica, junto con factores como la presión interna del reservorio, la densidad del crudo y la existencia de fracturas o fallas tectónicas en las formaciones suprayacentes, facilita la migración de los hidrocarburos hacia la superficie.

1.11.3. Efectos

Los afloramientos de hidrocarburos a nivel exploratorio, señala la posible existencia de sistemas petroleros en profundidad, favoreciendo la actividad prospectiva y la explotación del recurso, producen una serie de efectos, tanto ambientales como industriales. Desde el punto de vista ambiental, la liberación espontánea de petróleo crudo genera impactos negativos en suelos, cuerpos de agua y ecosistemas adyacentes, alterando su equilibrio.

El análisis científico de estos eventos geológicos permite obtener valiosa información sobre los mecanismos de formación de trampas y la dinámica de migración del crudo, optimizando las técnicas de exploración. No obstante, estos afloramientos también suponen un riesgo ecológico significativo, y los costos de remediación ambiental pueden ser elevados, requiriendo tecnologías avanzadas para su mitigación.

CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño / tipo de investigación

El estudio se enmarca en un diseño exploratorio-descriptivo. La fase exploratoria tiene como objetivo identificar y comprender las características iniciales de los afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en el Campo Pacoa y Gustavo Galindo. La fase descriptiva se centra en caracterizar detalladamente estos afloramientos y evaluar su potencial de desarrollo y planificar estrategias para su explotación sostenible.

2.2. Método de investigación.

Método Analítico: La investigación utilizará un método analítico que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para obtener una comprensión integral de los afloramientos y desarrollar un plan de desarrollo basado en datos robustos.

✓ **Análisis Cualitativo:** Se centrará en la interpretación y análisis de información no numérica para entender los contextos y percepciones relacionadas con los afloramientos.

✓ **Análisis Cuantitativo:** Implicará el análisis de datos numéricos sobre las propiedades y el comportamiento de los afloramientos para identificar patrones y correlaciones.

2.3. Técnicas.

Revisión Bibliográfica: Se llevará a cabo una revisión sistemática de la literatura científica y técnica existente. Esta revisión incluirá estudios previos sobre afloramientos naturales de hidrocarburos, informes técnicos, publicaciones académicas y documentos de

políticas relevantes. La revisión bibliográfica ayudará a contextualizar el estudio y a identificar vacíos en el conocimiento actual.

Observación Directa: Se realizará una observación directa en los sitios de afloramientos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo. Esta técnica permitirá el registro detallado de las características geológicas y morfológicas de los afloramientos, así como la recopilación de datos sobre su comportamiento y dinámica.

2.4. Población y muestra

Población

La población del estudio está compuesta por todos los afloramientos naturales de hidrocarburos del Campo Pacoa y Gustavo Galindo.

Muestra

Se seleccionará una muestra representativa de afloramientos para análisis detallado. El proceso de muestreo se basará en criterios como la accesibilidad y características. La muestra se determinará utilizando técnicas de muestreo no probabilístico por conveniencia y criterio. Se muestrearán 4 afloramientos naturales.

2.5. Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se llevará a cabo en varias fases, utilizando diferentes caminos para analizar tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos de los afloramientos naturales de hidrocarburos. Cada etapa estará alineada con la caracterización físico-química de los afloramientos.

✓ Organización y Tabulación de Datos

Una vez recolectada la información de campo, los datos se organizarán en tablas y matrices que permitan una mejor visualización y análisis. Estas tablas incluirán:

1. Características físicas de los afloramientos (tamaño, extensión, morfología).

2. Características químicas (composición del hidrocarburo, presencia de gases asociados).

3. Datos geológicos (tipo de roca madre, fallas, plegamientos, antigüedad geológica).

4. Datos ambientales (impacto en la fauna y flora circundante, emisiones detectadas).

✓ **Análisis Químico**

Determinación de la composición de los hidrocarburos mediante técnicas de laboratorio.

✓ **Interpretación de Resultados**

Finalmente, los resultados de los análisis se integrarán para:

Realizar una síntesis de las características de los afloramientos, estableciendo perfiles detallados de los mismos en términos de su viabilidad técnica, económica y ambiental para su desarrollo.

Este procesamiento detallado permitirá una caracterización completa de los afloramientos, facilitando la toma de decisiones fundamentadas para su desarrollo.

CAPÍTULO III: PROCESAMIENTO DE DATOS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Revisión de literatura y planificación del estudio.

El desarrollo de esta investigación comenzó con la identificación de la problemática central: la falta de gestión efectiva para el aprovechamiento sostenible de los afloramientos naturales de hidrocarburos en los tres cantones de la Provincia de Santa Elena.

La investigación se sustentó en la recopilación de datos provenientes de diversas instituciones claves, como el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH) y la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). Todas estas entidades disponen únicamente de información georreferenciada sobre los afloramientos naturales de hidrocarburos; sin embargo, es relevante señalar que, con el tiempo, han continuado emergiendo nuevas emanaciones naturales.

- ✓ MAATE, oficina técnica Santa Elena: Proporciona informes técnicos detallados con la ubicación precisa de los afloramientos naturales mediante coordenadas geográficas.
- ✓ ARCH - Península: Cuenta con informes basados en visitas técnicas in situ, en los cuales se han documentado resultados obtenidos a partir de la observación directa de los afloramientos.
- ✓ UPSE: Dispone de tres tesis, las cuales han contribuido al levantamiento de un catastro de las emanaciones de hidrocarburos en la región.

De acuerdo con los datos recolectados, tomamos como información base el detalle de los afloramientos que mantiene actualizado el MAATE:

Tabla Nro. 1.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón Salinas. Coordenadas del proyecto UTM DATUM WGS84 Zona 17 M

Nro.	Sitio	Provincia	Cantón	Parroquia	X	Y
1	Canal Valparaíso, parte posterior ciudadela Punta Carnero	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508362	9749952
2	Canal Valparaíso, parte Posterior ciudadela Punta Carnero	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508302	9750065

3	Canal Valparaíso, parte posterior ciudadela Punta Carnero	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508257	9750337
4	Canal Valparaíso, parte posterior ciudadela Punta Carnero	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508368	9749647
5	Canal aguas lluvia, del sector San Reymundo	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508509	9751003
6	Puerto Lucia Yacht Club	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	508653	9754727
7	Canal Costa de Oro	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	508172	9754418
8	Cerca de la escuela Árbol de Vida	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508515	9751837
9	Cerca de la escuela Arbol de Vida	Santa Elena	Salinas	José Luis Tamayo	508299	9752149
10	Campo PETROPOLIS	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	504994	9756268
11	Playa San Lorenzo	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	504595	9756473
12	Playa Santa Rosa	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	505257	9756437
13	Playa Santa Rosa	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	505315	9756403
14	Playa puerto Lucia	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	508511	9754701
15	Playa puerto Lucia	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	508489	9754625
16	Playa puerto Lucia	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	508414	9754599
17	Playa puerto Lucia muelle	Santa Elena	Salinas	Santa Rosa	508563	9754967

Fuente. Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (MAATE).

Tabla Nro. 2.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón La Libertad. Coordenadas del proyecto UTM DATUM WGS84 Zona 17 M

Nro.	Sitio	Provincia	Cantón	Parroquia	X	Y
1	Playa La Carioca	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	510803	9754855
2	Piscinas del B.I.MOT 14 Marañón	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	510903	9754755
3	Malecón Escollera 1, parque Central	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	510284	9754621
4	Malecón Escollera 5	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	509555	9754635
5	Megaterio 1 fuera de RLL	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	513137	9754833
6	Megaterio 2 dentro de RLL	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	512887	9755037
7	Canal de aguas Lluvias, Ciudadela La Propicia,	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	512471	9752710
8	Canal de aguas Lluvias, Ciudadela La Propicia,	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	512546	9752680
9	Canal de aguas lluvias, sector Las Minas	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	511801	9752543
10	Albarrada del sector Valle Hermoso	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	511696	9752042
11	Canal aguas lluvias, sector Achayan	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	509997	9751372
12	Albarrada del sector Los Tulipanes	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	509727	9751493
13	Canal Iván Abad Guerra	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	511887	9752865
14	Vivienda del Barrio Paraíso	Santa Elena	La Libertad	La Libertad	508835	9752934

Fuente. - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (MAATE)

Tabla Nro. 3.- Sitios identificados como afloramientos naturales del cantón Santa Elena. Coordenadas del proyecto UTM DATUM WGS84 Zona 17 M

Nro.	Sitio	Provincia	Cantón	Parroquia	X	Y
1	Canal de aguas lluvias, sector Francisco Pizarro/ Carlos Rubira	Santa Elena	Santa Elena	SantaElena	514139	9754207
2	Canal de aguas lluvias, Carlos Rubira	Santa Elena	Santa Elena	SantaElena	514118	9754285
3	Canal de aguas lluvias, sector 1° de septiembre.	Santa Elena	Santa Elena	SantaElena	514461	9753941
4	Canal de aguas lluvias, sector 1° de septiembre Norte	Santa Elena	Santa Elena	SantaElena	514589	9754189
5	Sector Grelia Reyes	Santa Elena	Santa Elena	SantaElena	513516	9754142
6	Parte posterior del camal La Libertad, B. Los Tulipanes	Santa Elena	Santa Elena	SantaElena	513234	9754228
7	Acantilados Sección 73	Santa Elena	Santa Elena	Ancón	514200	9743700
8	Baños de San Vicente	Santa Elena	Santa Elena	San Vicente	533500	9754100

Fuente. - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (MAATE)

Cabe indicar que la el detalle con que cuenta el MAATE solo hace referencia a la ubicación geográfica de los afloramientos, más no al Bloque petrolero en donde se encuentran aflorando.

Luego de tener identificados a los afloramientos de manera geografía, iniciamos con el análisis de los informes técnicos de la ARCH, los mismos que nos ayudaron a discernir sobre cuáles son los más representativos por la cantidad de hidrocarburos que aflora del suelo.

Y Finalmente a partir del análisis de la información recopilada, se seleccionaron los afloramientos naturales de hidrocarburos a ser muestreados, priorizando aquellos con mayor accesibilidad y evidencia significativa de concentración de hidrocarburos. Como resultado, se estableció que cuatro (4) puntos de afloramiento natural de hidrocarburos serán considerados como los principales sujetos de estudio para esta investigación.

1. Canal Valparaíso, parte posterior ciudadela Punta Carnero Afloramiento Valparaíso (Cantón Salinas)
2. Canal de aguas lluvias, sector Francisco Pizarro/ Carlos Rubira (Afloramiento Cautivo), (Cantón Santa Elena)
3. Afloramiento Megaterio 1 (Cantón La Libertad)
4. Afloramiento Megaterio 2 (Cantón La Libertad)

3.2. Recolección de datos en campo.

Las muestras recolectadas fueron obtenidas en condiciones naturales in situ, donde los fluidos se encontraban confinados en trampas naturales. Asimismo, se observó que estos fluidos estaban generando contaminación en cuerpos de agua, vías de acceso y la vegetación circundante.

3.2.1. Recolección de muestra en el afloramiento valparaíso

En el sector Valparaíso, existen varios puntos de afloramientos de hidrocarburos. De acuerdo a los históricos encontrados, este afloramiento es el que ha ocasionado mayor impacto ambiental en la zona, debido a que convergen en un canal de aguas lluvias del Cantón Salinas, el mismo que desemboca en el océano. Por este motivo, es el afloramiento más extenso, y ha sido caso de análisis en varias mesas técnicas del COE Cantonal y Provincial, sin encontrar acciones de aprovechamiento y mitigación.

La muestra de este afloramiento se realizó en unos tanques que se encuentran instalados de manera artesanal para la acumulación de estos hidrocarburos. El muestreo del afloramiento se realizó con una botella toma muestra (ladrón), la cual es lanzada hacia el interior del tanque, para recolectar una cantidad representativa del producto aflorado.



Figura 8. Sector Valparaíso, Afloramiento Valparaíso

3.2.2. Recolección de muestra en el afloramiento cautivo.

El afloramiento Cautivo, presenta un gran problema para la población, debido a que éste se encuentra cercano a viviendas y por su alto caudal se encuentra a lo largo de una vía de acceso, provocando un impacto visual y ambiental para las personas que conviven con este tipo de fenómeno.

Para minimizar el impacto, PACIFPETROL S. A. construyó una celda sobre el afloramiento, la cual servía de contención, pero debido a la falta de gestión, este hidrocarburo permanece en el sitio, y la gran acumulación de éste a ocasionado que se generen pequeñas vertientes de hidrocarburos que desembocan en un río seco cerca al lugar.

El procedimiento de toma de muestra del producto aflorado se realizó directamente desde la celda, con la ayuda de una botella toma muestra (ladrón)



Figura 09. Sector Carlos Rubira, Afloramiento Cautivo

3.2.3. Recolección de muestra en el afloramiento megaterio 1.

Este afloramiento toma el nombre de Megaterio, debido a que trabajadores de la EP-PETROECUADOR hace algún tiempo atrás, se encontraban realizando trabajos de excavación en el sector Tanque Loma, durante estos trabajos encontraron vestigios paleontológicos, los mismos que luego de un análisis por expertos, se determinó que pertenecían a restos de un megaterio, los mismo que se encuentran en el museo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

El muestreo de este afloramiento se la tomo directamente de una piscina que la EP-PETROECUADOR ha armado con geomembrana sobre el afloramiento, esta muestra se la recolecto con una botella toma muestra (ladrón)



Figura 10. Sector Tanque Loma, Afloramiento Megaterio 1

3.2.4. Recolección de muestra en el afloramiento megaterio 2.

EL nombre de este afloramiento obedece a la misma situación del afloramiento descrito en el literal 4.2.3, ya que éste nuevo afloramiento se encuentra cerca al lugar dentro de los linderos del área de biorremediación de la EP-PETROECUADOR.

El muestreo de este afloramiento se la tomo directamente de una piscina que la EP-PETROECUADOR ha armado con geomembrana sobre el afloramiento, esta muestra se la recolecto con una botella toma muestra (ladrón).



Figura 11. Sector Tanque Loma, Afloramiento Megaterio 2

3.3. Análisis de muestras y datos.

Los análisis de laboratorio fueron realizados por personal calificado en la industria petrolera, que permitieron determinar la calidad de fluido, la gravedad API, viscosidad, Temperatura, entre otros parámetros relevantes:



Figura 12. Muestras tomadas de los 4 afloramientos de estudio.

Como resultado de los análisis realizados de los cuatro (4) afloramientos naturales de hidrocarburos, tenemos los siguientes datos de laboratorio:

Tabla Nro.4.- Resultado de Análisis de los Afloramientos Naturales de Hidrocarburos

PARÁMETROS	UNIDADES	AFLO. CAUTIVO	AFLO. MEGATERIO 1	AFLO. MEGATERIO 2	AFLO. VALPARAÍSO
TEMPERATURA OBSERVADA	°F	84,0	67,6	67,9	114,0
API OBSERVADO	°API	25,2	13,3	14,5	16,0
API @ 60°F	°API	23,7	12,9	14,1	13,2
% BSW	%V/V	0,025	30	4	4
SEDIMENTOS POR EXTRACCIÓN	% M/M	0	0,27	0,12	0,1
VISCOSIDAD @ 80°F	mm ² /s (cSt)	20,852	7166,2	4679,8	6744,6
AZUFRE	% M/M	0,082	0,25	0,23	0,39

Fuente: Propia de los investigadores

CAPÍTULO IV: PLAN DE DESARROLLO PARA AFLORAMIENTOS NATURALES DE HIDROCARBUROS ATÍPICOS EN EL CAMPO PACOA Y GUSTAVO GALINDO

4.1. Plan de desarrollo para afloramientos naturales de hidrocarburos atípicos en el campo Pacoa y Gustavo Galindo

Introducción

Los afloramientos naturales de hidrocarburos en los campos Pacoa y Gustavo Galindo, en la provincia de Santa Elena, presentan una oportunidad significativa para la explotación de crudos pesados. Sin embargo, debido a las características físico-químicas específicas de estos hidrocarburos y sus condiciones de afloramiento, es necesario un plan de desarrollo que optimice la recuperación de los recursos, implemente técnicas de recuperación y maximice la viabilidad económica. El presente plan se basa en los análisis de laboratorio de los afloramientos de Valparaíso, Cautivo, Megaterio 1 y Megaterio 2, y propone estrategias técnicas para el aprovechamiento de estos recursos.

Resultados de los Análisis de Laboratorio

Los análisis de laboratorio revelan las siguientes características clave para los cuatro afloramientos evaluados:

Parámetro	Valparaíso	Cautivo	Megaterio 1	Megaterio 2
Gravedad API	13.2°	25.2°	13.3°	14.5°
Viscosidad @ 80°F	6744,6 mm ² /s	20,852 mm ² /s	7166,2 mm ² /s	4679,8 mm ² /s
Contenido de Azufre	0.39%	0.082%	0.25%	0.23%
BSW (% de agua)	4%	0.025%	30%	4%

Análisis y Diagnóstico

1. Afloramiento Valparaíso:

- ✓ Gravedad API de 13,2°, indicando un crudo pesado.

- ✓ **Alta viscosidad** de 6744,6 mm²/s, lo que sugiere la necesidad de mejorar la movilidad del crudo mediante técnicas térmicas.
- ✓ **Moderado contenido de azufre** (0.39%), lo que requiere medidas de desulfuración, especialmente si se busca comercializar el crudo de forma más rentable.



Figura 13. Proceso de calentamiento del hidrocarburo



Figura 14. Toma de temperatura y API.



Figura 15. Centrifugado de muestra



Figura 16. Resultado de separación

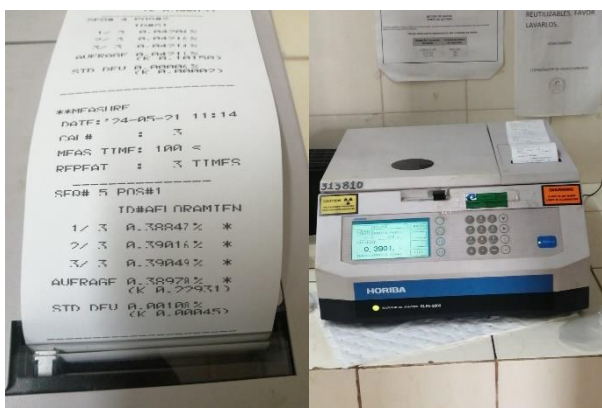


Figura 17. Análisis de azufre

2. Afloramiento Cautivo:

- ✓ **Gravedad API** de 25.2°, lo que indica un crudo liviano.
- ✓ **Viscosidad** más baja (20,852 mm²/s), lo que facilita su flujo sin la necesidad de tratamientos intensivos.
- ✓ **Contenido mínimo de BSW (agua)**, lo que reduce los costos de procesamiento inicial y permite un mejor manejo.



Figura 18. Temperatura de muestra

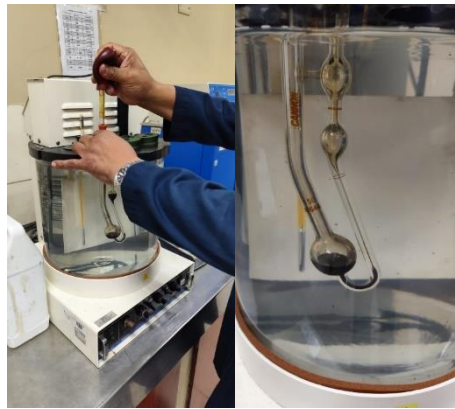


Figura 19. Viscosímetro muestra cautivo



Figura 20. Muestra crudo / bsw cautivo



Figura 21. Resultado de azufre muestra de cautivo



Figura 22. Toma de Api muestra de cautivo

3. Afloramiento Megaterio 1:

- ✓ **Gravedad API** de 13.3°, clasificándose como crudo pesado.
- ✓ **Viscosidad extremadamente alta** de 7166,2 mm²/s, lo que sugiere que su extracción es particularmente desafiante y requiere técnicas de recuperación térmica.
- ✓ **Alto contenido de agua (30%)**, lo que incrementa los costos de separación.

4. Afloramiento Megaterio 2:

- ✓ **Gravedad API** de 14.5°, otro crudo pesado.

- ✓ **Viscosidad alta** (4679,8 mm²/s), indicando que, aunque es menos viscoso que Megaterio 1, aún requiere intervención técnica.
- ✓ **Moderado contenido de agua (4%)**, lo que implica menores problemas de separación que en Megaterio 1.



Figura 23. Toma de API Megaterio 1 y 2



Figura 24. Toma de datos azufre muestras megaterio 1 y 2

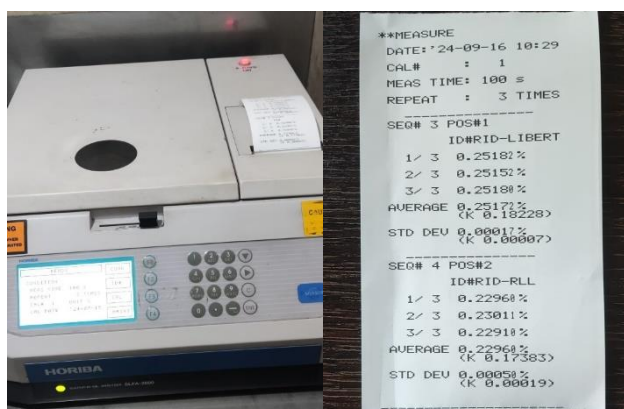


Figura 25. Toma de datos azufre muestras megaterio 1 y 2



Figura 26. Datos BSW muestras megaterio 1 y 2



Figura 27. Viscosímetro muestras megaterio 1 y 2

Estrategias de Aprovechamiento Basadas en Análisis de Laboratorio

Las estrategias que se exponen a continuación obedecen a técnicas para recuperar el recurso hidrocarburífero y poder utilizarlo en los procesos de producción:

1. Tratamiento In Situ para Separación de Agua y Sólidos

El **tratamiento in situ para la separación de agua y sólidos en afloramientos naturales** de petróleo busca separar eficientemente las fases acuosas y los sólidos presentes en el crudo directamente en el lugar del afloramiento, sin necesidad de transportar grandes cantidades de material a una instalación de tratamiento. Esto se vuelve particularmente importante en afloramientos naturales, donde el petróleo pesado suele estar mezclado con agua y sedimentos (Megaterio 1 y 2). Se detallan alternativas de implementación:

- ✓ **Separación por gravedad**

- Este método aprovecha la diferencia de densidad entre el agua, los sólidos (sedimentos) y el petróleo.
- En un afloramiento, se puede usar un tanque de sedimentación o un pozo de decantación donde el petróleo, el agua y los sólidos se separan en fases distintas. El crudo flota sobre el agua y los sólidos sedimentan en el fondo.
- Este es un proceso simple, pero es efectivo para separar la mayor parte del agua y sedimentos.

✓ **Filtración in situ (Valparaiso)**

- Se pueden emplear filtros de malla o sistemas de filtración de medios porosos que permitan que el petróleo fluya a través, mientras retienen los sólidos.
- La filtración in situ es eficaz para eliminar partículas sólidas y otros contaminantes del petróleo, aunque generalmente es menos eficaz para separar el agua, que puede requerir un tratamiento posterior.

✓ **Separación por productos químicos (demulsificantes)**

- Los demulsificantes son productos químicos que permiten romper las emulsiones de agua y crudo, permitiendo una separación más fácil.
- En un afloramiento natural, se podrían agregar demulsificantes a la mezcla de petróleo para separar el agua adherida. Estos productos químicos desestabilizan la emulsión, facilitando que el agua y los sólidos se separen del petróleo, que luego puede ser recogido de manera más eficiente.
- La eficiencia de los demulsificantes depende del tipo de crudo y de las características de la emulsión formada.

2. Desulfuración y Mejoramiento

Desulfuración In Situ: En los afloramientos donde el contenido de azufre es elevado (Valparaíso, Megaterio 1 y 2), se recomienda utilizar tecnologías de desulfuración que

eliminen compuestos azufrados en el sitio de explotación. Esto mejorará la calidad del crudo. Se detallan varias alternativas:

✓ **Biodesulfurización en afloramientos naturales**

- Bacterias reductoras de azufre, estos microorganismos autóctonos o inoculados exógenamente pueden ser aplicadas a la zona del afloramiento para metabolizar los compuestos de azufre en el petróleo. Estos microorganismos convierten los sulfuros en compuestos más simples y menos contaminantes. Sin embargo, el éxito de este proceso depende de las condiciones ambientales (temperatura, pH, oxígeno) y de la capacidad de las bacterias para sobrevivir y actuar en la superficie del afloramiento.

✓ **Tratamiento químico superficial**

- Dado que el petróleo está expuesto en la superficie en un afloramiento, se podría aplicar un tratamiento químico directo en el lugar. Los agentes oxidantes o productos químicos reactivos podrían pulverizarse sobre la superficie del crudo para inducir la desulfuración. Por ejemplo, soluciones de peróxido de hidrógeno o de soda cáustica (hidróxido de sodio) pueden oxidar o neutralizar los compuestos de azufre en el petróleo. Sin embargo, se debe mantener un exhaustivo control de estos reactivos en un entorno abierto y natural, ya que el tratamiento podría tener efectos ambientales no deseados.

✓ **Mezcla con aditivos**

- Se podría mezclar el petróleo en el afloramiento con agentes desulfurantes como la cal (CaO) o el magnesio (Mg) en polvo, que reaccionen con los compuestos de azufre para formar sulfuros que puedan separarse, la idea es provocar una reacción directa en el petróleo que está expuesto o en las zonas más cercanas a la superficie.

Para todas estas estrategias se deberá implementar tanques satélites de almacenamiento con el objetivo de minimizar la contaminación e impacto ambiental con el suelo aflorante.

3. Almacenamiento y Manejo de Crudos en Tanques y Geomembranas

- ✓ **Tanques de Contención en Afloramientos Cautivo y Valparaíso:** La implementación de tanques de almacenamiento permitirá contener el crudo de manera eficiente, evitando derrames en áreas cercanas a poblaciones o cuerpos de agua. Estos sistemas deben estar diseñados para manejar tanto crudos líquidos como los semisólidos presentes en algunos afloramientos.

4. Estrategia Ambiental y de Gestión de Impactos

- ✓ **Monitoreo de Emisiones y Contaminación:** Dada la cercanía de los afloramientos a cuerpos de agua (Valparaíso) y áreas pobladas (Cautivo), es fundamental implementar un sistema de monitoreo continuo de la calidad del aire, suelo y agua para evitar la contaminación por hidrocarburos. Además, los afloramientos como Megaterio 1 con alto contenido de agua necesitan sistemas de tratamiento para prevenir la contaminación del agua superficial y subterránea.
- ✓ **Biorremediación para Áreas Afectadas:** Los afloramientos que ya han generado contaminación en suelos y cuerpos de agua (como Valparaíso) requerirán estrategias de biorremediación mediante el uso de microorganismos que degraden los hidrocarburos, facilitando la recuperación ambiental de las zonas afectadas.

Toda vez que se ha analizado las estrategias a implementar para el aprovechamiento de los afloramientos naturales de Hidrocarburos presentes en los Campos Pacoa y Gustavo Galindo, se puede considerar el ingreso de estos productos recuperados a los procesos de producción de los campos, para su aprovechamiento y optimización.

Viabilidad Económica del Aprovechamiento

Con base en los resultados de los análisis, se puede realizar un análisis económico de los costos y beneficios esperados:

- ✓ **Afloramientos con Baja Viscosidad (Cautivo):** Dado que el crudo en el afloramiento Cautivo tiene menor viscosidad y bajos niveles de agua, los costos de extracción serán más bajos, y la recuperación puede realizarse con técnicas menos intensivas, mejorando la viabilidad económica.

- ✓ **Afloramientos con Alta Viscosidad (Valparaíso, Megaterio 1 y 2):** Aunque los costos de recuperación en afloramientos como Valparaíso, Megaterio 1 y 2 serán más altos debido a su viscosidad extrema y contenido de agua, la aplicación de técnicas como el tratamiento in situ mejorará el rendimiento y reducirá los costos a largo plazo.

CONCLUSIONES

De las muestras recolectadas se observa que existen crudos altamente viscosos y de baja movilidad, el acceso es limitado y se encuentran en diferentes topografías, es decir, sitios salineros a orillas del océano Pacífico, parte montañosa.

Del análisis realizado existen diferencias entre puntos recolectados de muestras que van desde los 12,9° a 14,1° API (en Valparaíso y megaterio1 y 2), que son muy diferente a los fluidos producidos en los campos Pacoa y Gustavo Galindo y el único que se semeja es el de y 23,7° API (cautivo).

Los análisis de laboratorio revelaron variaciones significativas en la composición de los hidrocarburos entre los afloramientos, lo que permite personalizar las técnicas de recuperación y tratamiento. Se evidencia que una gestión inadecuada podría generar contaminación y daños irreversibles, lo que refuerza la necesidad de implementar un plan integral que maximice los beneficios económicos y minimice los riesgos ambientales.

El estudio concluye que la explotación sostenible de los afloramientos naturales de hidrocarburos en los campos Pacoa y Gustavo Galindo es viable, siempre que se adopten técnicas apropiadas que mejoren la recuperación y transporte del crudo.

RECOMENDACIONES

- ✓ Implementar técnicas de deshidratación, desulfuración en los afloramientos dependiendo de las características del crudo.
- ✓ Fortalecer la coordinación entre instituciones gubernamentales y empresas privadas para garantizar una explotación segura y responsable.
- ✓ Ingresar el producto recuperado a los procesos de producción de los Campos Petroleros de la Provincia de Santa Elena.
- ✓ Iniciar un estudio geológico de los afloramientos naturales existentes en los Campos Pacoa y Gustavo Galindo, para conocer el comportamiento del hidrocarburo en el subsuelo.

REFERENCIAS:

Aminzadeh, F., y Dasgupta, S. N. (2013). Fundamentals of Petroleum Geology. *Developments in Petroleum Science*, 60, 15-36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50662-7.00002-0>

Armijos, D., y Oña, J. (2018). *Metodología para generar las curvas de presión de formación y presión de fractura mediante un algoritmo a partir de los registros de pozo en el campo Gustavo Galindo Velasco*. (July), 1-23.

Asadzadeh, S., y De Souza, C. (2017). Spectral remote sensing for onshore seepage characterization: A critical overview. *Earth-Science Reviews*, 168, 48-72. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.004>

Cabanillas, L., Carstens, G., Lovecchio, J. P., Marshall, P., Rébora, L., Soldo, J. C., ... Vergani, G. (2013). Hidrocarburos Convencionales y no Convencionales. *Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos del Petróleo*, 23(Agosto-Septiembre), 40-48. Recuperado de <http://rch.retina.ar/hoy134/HIDROCARBUROS.pdf>

Calderón, A. (2014). Estudio de los ciclos de trabajo utilizando el echometer para aumentar la eficiencia de los equipos de bombeo mecánico en las secciones 67 y tigre del campo Gustavo Galindo Velasco. *Tesis de grado*, 97.

Chiles, O. J., Pico, S. P., (2024) Aplicación De Sistemas De Información Geográficos Para La Creación del Catastro General De Afloramientos Naturales De Petróleo En La provincia De Santa Elena, Ecuador.” Trabajo De Integración Curricular

Chipe, L., y Panchana, F. (2015). Estudio de los pozos productivos y abandonados como fuente de contaminación de hidrocarburos y su impacto ambiental en el sector de Santa Paula del cantón Salinas. *tesis*, 214.

Cordero, J. J. (2024). Hidrocarburos. *Vida Científica Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 4*, 12(23), 46-47. <https://doi.org/10.29057/prepa4.v12i23.11955>

Clarke, R. H., y Cleverly, R. W. (1991). Petroleum seepage and post-accumulation migration. *Geological Society Special Publication*, 59(59), 265-271. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1991.059.01.17>

Etiopie, G. (2015). Natural gas seepage. En *The Earth's Hydrocarbon Degassing*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14601-0>

Gonzabay, D. (2022) “Identificación Y Descripción De Indicios Superficiales De Petróleo En La Provincia De Santa Elena”

Hidalgo, A., y Aguirre, M. (2015). *Estudio técnico-económico de inyección alternada de nitrógeno huff & puff para recuperación mejorada de petróleo en pozos del campo Gustavo Galindo Velasco.*

Link, W. K. (1952). Significance of oil and gas seeps in world oil exploration. *AAPG Bulletin*, 36(8), 1505-1540. Recuperado de <http://archives.datapages.com/data/bulletns/194952/data/pg/0036/0008/1500/1505.htm?doi=10.1306%2F5CEADB3F-16BB-11D7-8645000102C1865D>

López, C. (2015). Elementos conceptuales para dispositivo de rastreo de trampas de petróleo usando señales electromagnéticas inducidas. *Tesis*, 151, 10-17. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>

Lorenzo, E., Martínez, M., y Morato, A. (2019). *Biomarcadores como herramientas para la determinación del origen de emanaciones de hidrocarburos: surgencia de La Libertad, Ecuador, agosto 2016.* 827-836.

Lorenzo, E. Morato, A. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO, Primera Edición, 2018 Editorial UPSE, ISBN: 978-9942-776-05-

Loya, D. (2013). Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos. *Tesis de grado. Universidad Veracruzana*, (Tesina para obtención de especialista en gestión e impacto ambiental), 94.

Macgregor, D. S. (1993). Relationships between seepage, tectonics and subsurface petroleum reserves. *Marine and Petroleum Geology*, 10(6), 606-619. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(93\)90063-X](https://doi.org/10.1016/0264-8172(93)90063-X)

Magoon, L. B. (1988). Petroleum systems of the United States. *US Geological Survey Bulletin*, 1870.

Morales, S. (2012). Recuperación secundaria en campos de petróleo y su convención en almacenamiento subterráneos de gas natural. *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS*, 171.

Ortega, A. T., Torres, C. A., Silva, O., & Moreno, L. A. (2023). VALIDACIÓN SINTÉTICA DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS PESADOS. CASO DE ESTUDIO. Fuentes, el reventón energético, 21(1), 83-93. <https://doi.org/10.18273/revfue.v21n1-2023006>

Prado, I. (2021). *The logistics behind O & G industry : case study analysis*.

Pulido, A. L. (2019). Caracterización estructural de afloramientos rocosos mediante herramientas de percepción remota. Bogotá.

Rodríguez, D., y Pilasagua, J. (2014). Estudio de Factibilidad para la Implementación del Sistema de Bombas de Cavidades Progresivas en el Campo “Gustavo Galindo Velasco” Ubicado en la Provincia de Santa Elena. *Tesis*.

Salinas, F., Paguay, E., Zambrano, J. (2023). Informe Técnico Nro. MAATE-UCAZG-FS-2023-0140 Inspección afloramientos naturales Provincia de Santa Elena.

Selley, R. C., y Sonnenberg, S. A. (2015a). The Physical and Chemical Properties of Petroleum. *Elements of Petroleum Geology*, 13-39. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386031-6.00002-3>

Selley, R. C., y Sonnenberg, S. A. (2015b). Traps and Seals. En *Elements of Petroleum Geology*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386031-6.00007-2>

Tuz, M., y León, J. (2013). *Evaluación histórica del riesgo geológico durante la exploración petrolera en la cuenca oriente y su proyección a futuras exploraciones*. 150. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6354/1/CD-4873.pdf>

Vejar, M. (1998). *Manifestaciones de hidrocarburos en ambiente deltaico, de la formación San Miguel en la subcuenca Fuentes Rio Escondido, noreste de México*. 136.

Veloz, E. (2015). Afloramiento de Hidrocarburos en el Sector Valparaíso del Cantón Salinas, Provincia de Santa Elena – Ecuador. *Revista Técnica «Energía»*, 11(1), 68-76. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v11.n1.2015.73>

Veloz, E., Chavarría, J. & Pulido, I. (2024) Assessing the Presence of Petroleum Hydrocarbons in the Punta Carnero Estuary (Ecuador). *Water Air Soil Pollut* **235**, 126 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-06938-4>

Yagual, K. (2020). Técnicas de Recuperación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos Aplicables en el Cantón Salinas

Zuñiga, D. (2020). *Prospectividad hidrocarburífera del pre-Aptiense en los Bloques 64 y 65, con base en información de pozos y sísmica 2D-3D*. 117.