



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS

TEMA:

"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA SECCIÓN PETRÓPOLIS"

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

EMILY MICHELLE SUÁREZ RODRÍGUEZ
ARÓN EFRÉN MÉNDEZ TOMALÁ

TUTOR:

ING. CARLOS ALFREDO MALAVÉ CARRERA, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS**

TEMA:

**"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE
AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE
GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA
SECCIÓN PETRÓPOLIS"**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**EMILY MICHELLE SUÁREZ RODRÍGUEZ
ARÓN EFRÉN MÉNDEZ TOMALÁ**

TUTOR:

ING. CARLOS ALFREDO MALAVÉ CARRERA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



ING. MARLLELIS GUTIERREZ,

PhD.

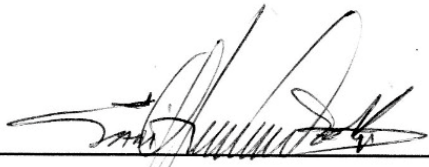
DIRECTORA DE CARRERA



ING. CARLOS MALAVÉ,

MSc

DOCENTE TUTOR



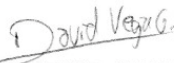
ING. SADI ITURRALDE, MSc

DOCENTE ESPECIALISTA



ING. CARLOS MALAVÉ, MSc

DOCENTE GUÍA DE LA UIC



ING. DAVID VEGA

SECRETARIA DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por ser mi guía, a mi familia por brindarme su apoyo incondicional, su confianza en mí ha sido un pilar fundamental para alcanzar este logro. Este trabajo es un reflejo del esfuerzo compartido y la fortaleza que me brindan todos los días.

Emily Michelle Suárez Rodríguez

Dedico este trabajo a Dios, por darme la fuerza y la sabiduría para superar cada obstáculo y lograr concluir esta carrera. A mi madre, cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido el motor de mi esfuerzo. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por darme el valor para continuar.

Arón Efrén Méndez Tomalá

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA SECCIÓN PETRÓPOLIS”** elaborado por los estudiantes **SUÁREZ RODRÍGUEZ EMILY MICHELLE** y **MÉNDEZ TOMALÁ ARÓN EFRÉN**, egresados de la carrera de Ingeniería en Petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 9% de la valoración permitida.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis Arón Méndez y Emily Suarez para Compilatio2

9%
Textos sospechosos

- 5% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
- < 1% Idiomas no reconocidos
- 4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis Arón Méndez y Emily Suarez para Compilatio2.docx ID del documento: 00d77901bf1a7af874b1b763a23407c4b511656c Tamaño del documento original: 80,63 KB Autores: []	Depositante: CARLOS ALFREDO MALAVE CARRERA Fecha de depósito: 2/12/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 2/12/2024	Número de palabras: 10.932 Número de caracteres: 73.252
--	---	--

FIRMA DEL TUTOR



Firmado electrónicamente por:

**CARLOS
ALFREDO
MALAVE
CARRERA**

Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc

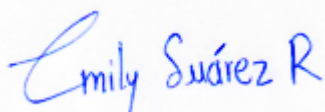
C.I.: 0912370095

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Emily Michelle Suárez Rodríguez y Arón Efrén Méndez Tomalá, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado "**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA SECCIÓN PETRÓPOLIS**", no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería de petróleo, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Emily Michelle Suárez Rodríguez

Autor de Tesis

C.I. 0928230424



Arón Efrén Méndez Tomalá

Autor de Tesis

C.I. 0927367839

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo "**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA SECCIÓN PETRÓPOLIS**", previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleos, elaborado por los estudiantes Emily Michelle Suárez Rodríguez y Arón Efrén Méndez Tomalá, egresados de la carrera de Ingeniería en Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.



Firmado electrónicamente por:

**CARLOS
ALFREDO
MALAVE
CARRERA**

Ing. CARLOS ALFREDO MALAVÉ, MSc.

TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Santa Elena, 04 de diciembre del 2024

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magister en Educación Básica, con registro de la **SENECYT N° 1023-2024-2904505** por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA SECCIÓN PETRÓPOLIS”**, elaborado por los estudiantes **EMILY MICHELLE SUÁREZ RODRÍGUEZ** y **ARÓN EFRÉN MÉNDEZ TOMALÁ** en su opción al título de **INGENIERO EN PETRÓLEOS** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



MÓNICA ISABEL
PAREDES CASTRO

Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Con inmensa gratitud y humildad, dedicamos este apartado a reconocer a las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la culminación de este proyecto de tesis, un logro que representa no solo nuestro esfuerzo, sino también el apoyo y acompañamiento incondicional que recibimos.

A nuestras familias, nuestra mayor fuente de fortaleza y motivación, queremos agradecerles desde el fondo de nuestros corazones. Gracias por su amor incondicional, por sus palabras de ánimo en los momentos difíciles y por creer en nosotros incluso cuando nosotros mismos dudábamos. Su paciencia, comprensión y sacrificio nos dieron la confianza para superar cada obstáculo y alcanzar esta meta.

A nuestros amigos, quienes con su compañía y apoyo nos ayudarán a encontrar el equilibrio necesario entre el esfuerzo y la alegría. Gracias por escucharnos, por darnos consejos, por compartir momentos de distracción y, sobre todo, por alentarnos a continuar cuando las dificultades parecían insuperables.

A los docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), les extendemos nuestro más profundo agradecimiento. Su compromiso con nuestra formación académica y personal ha sido clave para nuestro desarrollo. Gracias por compartir sus conocimientos, por su paciencia y por las lecciones que trascendieron las aulas, enseñándonos valores como la responsabilidad, la ética y el trabajo en equipo.

De manera especial, queremos expresar nuestro agradecimiento a Pacifpetrol, cuya colaboración fue fundamental para el desarrollo de esta investigación. Su apertura y disposición para facilitarnos la información necesaria, así como el acceso a su experiencia y recursos, enriquecieron significativamente nuestro trabajo.

Con toda nuestra gratitud,

*Arón Efrén Méndez Tomalá
Emily Michelle Suárez Rodríguez*

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
SECRETARIA DEL TRIBUNAL.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vi
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. HIPÓTESIS.....	6
1.3.1. Hipótesis general.....	6
1.3.2. Hipótesis específicas.....	6
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7

1.4.2.	Objetivos específicos.....	7
1.5.	ALCANCE.....	7
1.6.	VARIABLES.....	8
1.6.1.	Variables dependientes.....	8
1.6.2.	Variables independientes.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		12
2.1.	Fundamentos del tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera....	12
2.1.1.	Importancia y necesidades.....	12
2.1.2.	Métodos de tratamiento de aguas de formación.....	13
2.1.3.	Impacto ambiental y de salud pública.....	17
2.2.	Revisión de técnicas de tratamiento.....	20
	Métodos convencionales.....	20
	Técnicas avanzadas.....	21
2.3.	Modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación.....	23
2.3.1.	Integración de tecnologías.....	23
2.3.2.	Sostenibilidad y viabilidad económica.....	24
2.3.3.	Casos de éxito y aplicaciones prácticas.....	27
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....		29
3.1.	Diseño de investigación.....	29
3.2.	Enfoque de investigación.....	30
3.3.	Población y muestra.....	31
3.4.	Instrumento de la investigación.....	33

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1. Análisis de agua de formación.....	35
4.2. Caracterización de las propiedades y composición de las aguas de formación.	38
4.3. Resultados de la entrevista.	42
4.4. Modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación.	48
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1. Conclusiones.....	57
5.2. Recomendaciones.	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	63
Anexo A – Formato de encuesta.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Ubicación geográfica - Pacifpetrol.....	35
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	9
Tabla 2. Métodos de tratamientos	15
Tabla 3. Impactos ambientales y de salud pública	19
Tabla 4. Análisis de agua de formación	35
Tabla 5. Caracterización	40
Tabla 6. Análisis detallado de la entrevista	42
Tabla 7. Modelo de gestión integral	54

"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE FORMACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL APLICADOS A LOS POZOS DE LA SECCIÓN PETRÓPOLIS"

Autores: Emily Michelle Suárez Rodríguez

Arón Efrén Méndez Tomalá

Tutor: Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc.

RESUMEN

El trabajo de titulación denominado "Evaluación del proceso de tratamiento de aguas de formación mediante un modelo de gestión integral aplicados a los pozos de la sección Petrópolis" tiene como objetivo principal evaluar las técnicas actuales utilizadas en el tratamiento de aguas de formación en la provincia de Santa Elena, proponiendo innovaciones técnicas y metodológicas para optimizar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. Para lograr esto, se ha caracterizado la composición de las aguas de formación, se han investigado técnicas avanzadas de tratamiento, y se ha diseñado un modelo de gestión integral que combina las mejores prácticas disponibles. La metodología utilizada incluyó un análisis físico - químico de las aguas de formación y una entrevista cualitativa a un ingeniero de la empresa Pacifpetrol, basada en un muestreo probabilístico por conveniencia. Los principales resultados muestran que las aguas de formación contienen altos niveles de contaminantes como hidrocarburos, metales pesados y sales, lo que demanda una gestión más eficiente y sostenible. Se concluye que las tecnologías actuales, aunque efectivas en ciertos aspectos, presentan limitaciones que pueden ser superadas mediante la implementación de técnicas avanzadas como la osmosis inversa, la electrocoagulación y el tratamiento biológico. El modelo propuesto no solo optimiza el proceso de tratamiento, sino que también incorpora la reutilización del agua tratada, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo la sostenibilidad en las operaciones petroleras de la región.

Palabras clave: Aguas de formación, gestión integral, tratamiento ambiental, tecnologías avanzadas, sostenibilidad.

“EVALUATION OF THE WASTEWATER TREATMENT PROCESS
THROUGH A COMPREHENSIVE MANAGEMENT MODEL APPLIED
TO THE WELLS OF THE PETRÓPOLIS SECTION”,

Autores: Emily Michelle Suárez Rodríguez

Arón Efrén Méndez Tomalá

Tutor: Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc.

ABSTRACT

The main objective of the degree work entitled "Evaluation of the formation water treatment process through a comprehensive management model applied to the wells of the Petrópolis section" is to evaluate the current techniques used in the treatment of formation waters in the province of Santa Elena, proposing technical and methodological innovations to optimize efficiency and reduce environmental impact. To achieve this, the composition of the formation waters has been characterized, advanced treatment techniques have been investigated, and a comprehensive management model that combines the best available practices has been designed. The methodology used included physical-chemical analysis of the formation waters and a qualitative interview with an engineer from the Pacifpetrol company, based on probabilistic convenience sampling. The main results show that the formation waters contain high levels of contaminants such as hydrocarbons, heavy metals and salts, which demands more efficient and sustainable management. It is concluded that current technologies, although effective in certain aspects, present limitations that can be overcome through the implementation of advanced techniques such as reverse osmosis, electrocoagulation and biological treatment. The proposed model not only optimizes the treatment process, but also incorporates the reuse of treated water, reducing environmental impact and promoting sustainability in oil operations in the region.

Keywords: Formation waters, comprehensive management, environmental treatment, advanced technologies, sustainability.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, la gestión de aguas de formación en la industria petrolera es un desafío de gran escala, esto se da principalmente mediante la producción de petróleo en estado natural, que a menudo suelen tener contaminantes de alta concentración. Además, se conoce que por cada barril de petróleo extraído se producen aproximadamente tres barriles de aguas de formación, por lo tanto, indica un problema superior en zonas con mayor extracción petrolera. Existen varios métodos para tratar el agua de formación, esto va a depender de su nivel de complejidad; los métodos se pueden dar por separación física o por procesos más complejos como la ósmosis inversa y tratamientos biológicos (IEA, 2024).

La falta de infraestructura de tratamientos de aguas de formación en algunos países de América Latina es alarmante, esto va a variar dependiendo de las leyes ambientales de cada región. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), informan que no tratan toda el agua, es decir, solo utilizan un porcentaje exclusivo, lo que genera riesgos para la salud pública y medio ambiente (CEPAL, 2024).

La sección Petrópolis ubicado en el campo Gustavo Galindo Velazco, es un área con mayor actividad petrolera, lo cual genera volúmenes de alta concentración en las aguas de formación. Esta situación plantea la urgencia de implementar tecnologías avanzadas que ayuden significativamente con el tratamiento de aguas. Resultados de estudios recientes del Ministerio de Recursos Naturales no Renovables sugieren que la efectividad de los tratamientos aplicados varía significativamente, con una eficiencia que no supera el 60% en muchos casos (Ministerio de Energía, 2024).

El principal objetivo de la investigación busca analizar y evaluar las deficiencias que existen en el tratamiento de aguas de formación en la sección Petrópolis; con el fin de mejorar la eficiencia y reducir su impacto ambiental. La aplicación de un modelo de gestión integral para esta área ayudará a disminuir los costos de operación de cada proceso, tener un monitoreo continuo de indicadores ambientales entre otros parámetros necesarios. Para proteger los ecosistemas locales y la salud pública de comunidades cercanas a la zona productora, es necesario considerar tener innovaciones tecnológicas preservando las leyes ambientales.

Para lograr los objetivos específicos es importante tener en cuenta las diversas características del agua, con el fin de, identificar los principales contaminantes por medio de su composición y propiedades. Es de vital importancia que para alcanzar resultados efectivos en el tratamiento de aguas de formación en la provincia de Santa Elena específicamente en el campo GGV sección Petrópolis, se evalúen los parámetros como los metales pesados y compuestos orgánicos volátiles presentes en el agua de formación, los cuales poseen el potencial de causar daños significativos al medio ambiente y a la salud humana si no son adecuadamente gestionados.

La evaluación de las tecnologías y métodos actuales de tratamiento en la industria petrolera de Santa Elena revela limitaciones significativas. Muchas de las técnicas empleadas son obsoletas y no cumplen con los estándares modernos de eficacia y sostenibilidad. Este diagnóstico inicial es crucial para el desarrollo de propuestas de mejora en los procesos existentes y para asegurar que estos se realicen de manera más eficiente y menos perjudicial para el entorno.

Finalmente, se puede afirmar que, la investigación se basará en estudiar y analizar técnicas avanzadas y sostenibles, que permitan aplicar tratamientos que sean innovadores y efectivos para evitar que la contaminación sea de alto riesgo.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

En el presente trabajo de investigación acerca del control evaluativo de procedimientos en cuanto al tratamiento de aguas de formación en diferentes pozos de la sección Petrópolis cuyo campo es GGV dentro de la provincia de Santa Elena; el problema central radica en la ineficiencia de los métodos actuales para tratar adecuadamente estas aguas contaminadas. Las aguas de formación, generadas durante la perforación petrolera, contienen una variedad de contaminantes que representan riesgos significativos para el medio ambiente y la salud pública si no se manejan correctamente.

A continuación, se presentan las causas responsables de este problema; por un lado, las prácticas sistemáticas de los métodos de tratamiento estándar no son altamente producidos esto se debe a la ausencia de características específicas de las aguas de formación. Por otro lado, la negligencia tecnológica para llevar a cabo este mecanismo eficiente ligado a la sostenibilidad imposibilita mejorar las condiciones del contexto. Por

último; la baja inversión económica y la infraestructura actual limitan la implementación de nuevas técnicas que aumenten totalmente la capacidad objetiva como producto de dicho proceso operativo.

Los efectos negativos de esta problemática son significativos tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Las aguas de formación mal tratadas pueden contaminar cuerpos de agua cercanos y afectar la biodiversidad local, además de representar un riesgo para las comunidades que dependen de fuentes de agua potable cercanas. A nivel económico, los costos asociados con la gestión y tratamiento ineficaz de estas aguas pueden elevarse, afectando la rentabilidad y la imagen corporativa de las empresas petroleras operadoras.

El problema central se muestra en la siguiente pregunta: ¿cómo mejorar el proceso de tratamiento de aguas de formación en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV ubicados en la provincia de Santa Elena, evaluando las tecnologías existentes y recomendando técnicas y métodos para aumentar la eficiencia y reducir el impacto ambiental?

En resumen, la investigación se centra en abordar la ineficiencia en el tratamiento de aguas de formación en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV en Santa Elena. Esto se debe a las limitaciones tecnológicas y financieras, así como a los impactos ambientales y en la salud pública derivados de estas deficiencias. La formulación del problema como pregunta orienta hacia la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles que puedan mejorar la eficiencia del tratamiento y reducir el impacto ambiental de estas operaciones petroleras.

1.2. ANTECEDENTES.

En el trabajo denominado, análisis de productos químicos para la separación del agua en el tratamiento del petróleo para el mejoramiento de la producción petrolera en el campo Lago Agrio de Leopoldo Pedro Lucio Simisterra Chillambo, se plantea que en el proceso de explotación de un yacimiento hidrocarbúfero, asociado al petróleo se produce agua y gas natural. Una vez que la producción del yacimiento se encuentra en superficie, es necesario realizar un proceso de separación de sus componentes, para lo cual se emplean procesos mecánicos apoyados en el uso de productos químicos que facilitan la separación del agua, gas y petróleo. Dentro del proceso de separación en una estación de producción, las condiciones mecánicas permanecen constantes, debido a que

los equipos de separación están diseñados para operar dentro de determinados parámetros de operación y por tanto la eficiencia del proceso depende, en gran medida, de las cualidades que presentan los químicos inyectados. Para seleccionar los mejores productos, de acuerdo con las condiciones operacionales y a las características de los fluidos, se deben desarrollar pruebas de laboratorio de acuerdo con normas establecidas por organismos técnicos internacionales tales como las normas NACE (National Associate Corrosion Engineer) y las ASTM (American Standard Testing Material), que se basan en estudios científicos que consideran las variables más importantes en los procesos de separación. En el trabajo de investigación, se identifican los pozos cuyos fluidos producen inestabilidad en el sistema de producción y tratamiento, y luego se establecen las relaciones de producción entre el aporte de estos pozos con respecto a la producción total del campo. Para el desarrollo de las pruebas de laboratorio, para simular el proceso de separación, hay que determinar las condiciones de producción como: tiempo de residencia, temperatura y concentraciones de químicos inyectados. La selección de los mejores productos a ser dosificados se establece de acuerdo con una tabla de valoración que considera: el desempeño técnico en las pruebas, la viabilidad técnica de las concentraciones propuestas y el rendimiento económico proporcionado por las compañías proveedoras. . Para la evaluación técnica de la aplicación en campo de los mejores químicos seleccionados en el laboratorio, hay que diferenciar los que se emplean en el proceso de deshidratación con los que se emplean para precautelar la integridad de las facilidades de producción. Los primeros deben cumplir parámetros establecidos por la Dirección Nacional de Hidrocarburos mediante decreto ejecutivo 014 y registro oficial 280 del 26 de febrero del 2004 artículo 10, mientras que los segundos deben acatar las exigencias establecidas por PETROPRODUCCIÓN en el acta de reunión previa a las pruebas de laboratorio. En ambos casos se mide, además, el desempeño económico a través del cumplimiento de los rendimientos propuestos. Una adecuada selección y aplicación de productos químicos en el campo Lago Agrio representó un ahorro para PETROPRODUCCIÓN de 32 477,20 dólares mensuales (Simisterra, 2018).

En el trabajo denominado, efectos de las aguas de formación de pozos petroleros sobre los suelos de sabanas ubicadas cerca del Furrial, estado Monagas, Venezuela; en entornos terrestres afectados por operaciones petroleras, la perforación petrolera y los fluidos de aguas de formación (AF) representan un problema ambiental y estético de importancia. Antes de ser regados al medio ambiente, las AF ricas en sólidos en suspensión y con potenciales contaminantes, son transportados a un tanque tratado con

un agente floculante y corregido por pH. Las aguas resultantes luego se vierten en las sábanas locales. Es importante conocer los efectos que las AF tratadas pueden tener en los ecosistemas circundantes. Este aporte tiene como objetivo analizar los niveles de sales solubles y metales pesados en los suelos adyacentes a pozos petroleros ubicados en la parte oriental de las sábanas venezolanas luego del riego con AF tratadas. Las AF tratadas regadas al ambiente tienen un efecto enalante sobre la acidez natural de los suelos. En general, no se encontraron niveles elevados de metales pesados (Fe, Mn, Cu y Zn) ni aluminio soluble en los suelos tratados, lo que se debe al aumento del pH posterior al tratamiento. Los suelos tratados con efluentes generalmente presentaron una mayor concentración de sodio. Sin embargo, no existe riesgo ambiental potencial en las cantidades de sodio soluble liberadas a los ultisoles arenosos ya que el buen drenaje interno de estos y la adecuada precipitación de la zona permiten el pronto desalojo de sales sin peligro de salinización. Sin embargo, se recomienda un seguimiento estricto, en particular de los niveles de pH de las aguas de formación antes de ser irrigadas en las sábanas circundantes (López-Hernández et al., 2020).

En el trabajo titulado: estudio de diferentes técnicas de remoción de aceites en aguas de formación provenientes de la industria petrolera en Colombia, se concluyó que el cumplimiento de las regulaciones y los estándares de calidad del agua tienen como función la seguridad de la salud humana y del medio ambiente, siendo así de gran importancia la instalación de tratamientos de agua con buenos resultados de calidad; pero estas instalaciones se encuentran limitadas por parámetros de costos de capital, costos operacionales, costos de mantenimiento y espacio de instalación. El proceso de remoción de grasas y aceites en las aguas de formación petroleras es de suma importancia en las estas plantas de tratamiento, dado que son los encargados de mantener los parámetros de concentraciones solicitadas por las normativas y de eliminar las sustancias oleosas que pueden perjudicar los ecosistemas. De la gran cantidad de métodos y procesos para la remoción de grasas y aceites de aguas de formación producidas por la industria petrolera, los más comunes y utilizados en Colombia son los sistemas de flotación con aire disuelto, separadores API, CPI y filtración por membrana. Los procesos DAF han demostrado una gran eficacia en la remoción de aceites, grasas y materiales suspendidos en las aguas de formación de la industria petrolera; entre la gran variedad de coagulantes se determinó que los coagulantes inorgánicos como los que poseen hierro y aluminio presentan una mayor solución a la problemática. El orden de efectividad de los coagulantes utilizados en el proceso DAF, presentados en el documento es: sulfato de aluminio > FC > FCAPM

> alúmina con CS610 > PAPM > PAC 18% > PASS > PAC-10LB > sulfato de aluminio y sintec D50 con CLR60 > PFS > PA > PAC. Adicionalmente, los DAFs presentan costos de capital bajos y sus dimensiones de instalación son pequeñas, haciendo que sea uno de los métodos más viables para la industria petrolera en relación del porcentaje de remoción de grasa y aceite y costo, el mejor resultado de remoción fue dado por el sistema de flotación de aire disuelto, utilizando el sulfato de aluminio como coagulante, obteniendo como resultado una remoción del 99,3%. Aunque los resultados de los métodos de hidrociclón, electrocoagulación y filtración de membrana son excelentes en relación al porcentaje de remoción, los costos de instalación, proceso y mantenimientos son muy elevados debido a su alto consumo energético, al alto costo de operación, manutención y capital, convirtiendo los procesos inviables económicamente (Popayán, 2021)

1.3. HIPÓTESIS.

1.3.1. Hipótesis general.

- El uso de tecnologías modernas y sostenibles para el tratamiento del agua de formación en pozos de la sección Petrópolis del campo GGV en la provincia de Santa Elena aumentará significativamente la eficiencia del proceso de tratamiento. Además, el impacto ambiental se reducirá significativamente en comparación con los métodos convencionales utilizados actualmente en pozos de campo seleccionados.

1.3.2. Hipótesis específicas.

- Las aguas de formación de los procesos de perforación petrolera en la provincia de Santa Elena contienen una diversidad de contaminantes, incluyendo hidrocarburos y metales pesados, cuyas concentraciones superan los límites recomendados por las normativas ambientales ecuatorianas, lo que representa un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud pública.
- Los métodos actuales de tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera de Santa Elena presentan limitaciones en términos de eficacia, eficiencia y sostenibilidad, lo que se evidencia en una eliminación incompleta de contaminantes y en el alto consumo de recursos.
- La adopción de tratamientos físicos, químicos y biológicos innovadores en los pozos seleccionados del campo GGV permitirá una reducción más efectiva de los

contaminantes en las aguas de formación, disminuyendo la huella ambiental de la industria petrolera y aumentando las oportunidades de reutilización de agua.

- El diseño e implementación de un modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera de Santa Elena conducirán a una optimización de recursos y a una minimización significativa del impacto ambiental, estableciendo un precedente para prácticas sostenibles en la industria.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo general.

- Evaluar el proceso de tratamiento de aguas de formación mediante un modelo de gestión integral aplicados a los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV de la provincia de Santa Elena, evaluando técnicas actuales y proponiendo innovaciones técnicas y metodológicas para optimizar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar las propiedades y composición de las aguas de formación generadas en los procesos de perforación petrolera en la provincia de Santa Elena, identificando los principales contaminantes y su impacto en el medio ambiente y la salud pública en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV de la provincia de Santa Elena .
- Investigar técnicas avanzadas y sostenibles para el tratamiento de aguas de formación de la perforación petrolera, incluyendo la aplicación de tratamientos físicos, químicos y biológicos innovadores, con un enfoque en la reducción de la huella ambiental y la reutilización de agua.
- Elaborar un modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera de la provincia, que integre las mejores prácticas, tecnologías innovadoras y estrategias de sostenibilidad, con el fin de optimizar los recursos y minimizar el impacto ambiental.

1.5. ALCANCE.

El trabajo de investigación presenta un alcance multidimensional en diversos componentes determinantes del cambio al que se exponen las aguas de formación dentro

del área petrolera, ubicada en Santa Elena. Este estudio se llevará a cabo en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV de la provincia antes mencionada; con la observación directa en el proceso de tratamiento de aguas de formación que se emplean ahora, se proporcionarán resultados plasmados en un control de seguimiento evaluativo con características generales de los principales aspectos que contaminan el agua.

La respectiva valoración detallará el impacto que trae consigo el proceso de perforación hacia el medio ambiente y los posibles daños que ocasionan a la salud; además de identificar cuáles son los elementos químicos altamente contaminantes que se presentan en este método sistemático. Después de este control, los resultados y recomendaciones tomarán fuerza para aplicar el ejercicio en el contexto y a su vez implementar soluciones positivas para la labor operativa de todas las entidades petroleras de la localidad.

Este modelo integrará las mejores prácticas, tecnologías innovadoras y estrategias de sostenibilidad identificadas durante el estudio, con el objetivo de optimizar los recursos y minimizar el impacto ambiental. La implementación de este modelo podría tener un impacto significativo en la forma en que la industria petrolera de la región gestiona sus aguas de formación, sentando un precedente para otras regiones e industrias. Al abordar tanto los aspectos técnicos como los prácticos del tratamiento de aguas de formación, el estudio busca proporcionar un marco comprensivo y aplicable para mejorar la gestión ambiental en la industria petrolera de la provincia.

1.6. VARIABLES.

1.6.1. Variables dependientes.

- Eficiencia del tratamiento de aguas de formación: se define como la capacidad de los métodos de tratamiento para eliminar contaminantes y reducir la toxicidad de las aguas de formación. Se mide en términos de porcentaje de contaminantes eliminados, calidad del agua y otros indicadores relevantes.
- El impacto ambiental: es la operación que se desarrolla a través del procedimiento de las aguas de formación en el contexto de los ecosistemas de las prácticas que realizan las industrias petroleras.
- Sostenibilidad y costo-eficiencia: se refiere a la viabilidad a largo plazo de los métodos de tratamiento en términos de costos operativos, consumo de recursos y

capacidad para adaptarse a futuras regulaciones ambientales y desafíos de sostenibilidad.

Las variables dependientes e independientes están estrechamente relacionadas porque conllevan a buscar nuevos modelos que ayuden a cambiar la gestión actual del tratamiento en las aguas de formación ligadas a la eficiencia sostenible ambiental.

1.6.2. Variables independientes.

- Tipo de técnicas de tratamiento de aguas de formación: refiere a los diferentes métodos y tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas de formación, incluyendo tratamientos físicos, químicos y biológicos. Esta variable será fundamental para evaluar cómo diferentes técnicas afectan la calidad del tratamiento y la eficiencia del proceso.
- Características de los fluidos de perforación: incluye la composición química y propiedades físicas de los fluidos de perforación utilizados en los pozos petroleros. La variabilidad en la composición de estos fluidos puede influir significativamente en la eficacia de los métodos de tratamiento aplicados.
- Modelo de gestión implementado: se refiere al diseño y aplicación de modelos de gestión para el tratamiento de aguas de formación, abarcando aspectos como la integración de prácticas sostenibles, la optimización de recursos y la adopción de tecnologías innovadoras.

A continuación, se presenta la matriz de operacionalización de variable:

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

Variables/Categorías	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Técnicas
Eficiencia del tratamiento de aguas de formación.	Capacidad de los métodos de tratamiento para eliminar contaminantes y reducir la toxicidad de las aguas de formación.	- Porcentaje de contaminantes eliminados. - Calidad del agua.	- Tasa de remoción de contaminantes. - Parámetros de calidad del agua como DBO, DQO, metales pesados, etc.	- Tratamientos físicos (filtración, sedimentación). - Tratamientos químicos (coagulación, floculación). - Tratamientos biológicos

Variables/Categorías	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Técnicas
				(biorreactores, lagunas aeróbicas).
Impacto ambiental.	Efectos del tratamiento sobre el medio ambiente, incluyendo la reducción de la contaminación y el impacto en ecosistemas acuáticos y terrestres.	-Reducción de la contaminación en ecosistemas. -Impacto en la biodiversidad antes y después del tratamiento.	-Medidas de contaminantes en ecosistemas cercanos -Evaluaciones de la biodiversidad antes y después del tratamiento.	-Evaluación de impacto ambiental. -Monitoreo continuo de la calidad del agua y los suelos circundantes.
Sostenibilidad y costo-eficiencia.	Viabilidad a largo plazo de los métodos de tratamiento en términos de costos operativos, consumo de recursos y adaptación a regulaciones ambientales.	-Costos de operativos. -Consumo de recursos. -Conformidad con regulaciones.	-Costo por m ³ de agua tratada. -Consumo energético y de reactivos por m ³ tratado.	-Optimización de procesos. -Tecnologías de tratamiento de bajo consumo energético.
Tipo de técnicas de tratamiento de aguas de formación.	Métodos y tecnologías utilizados para el tratamiento de aguas de formación.	-Métodos físicos. -Métodos químicos. -Métodos biológicos.	-Eficiencia de cada técnica en pruebas controladas y en operación real.	-Comparación y selección de técnicas basada en eficacia y sostenibilidad.
Características de los fluidos de perforación.	Composición química y propiedades físicas de los fluidos de perforación utilizados en los pozos petroleros.	-Composición química. -Propiedades físicas.	-Variaciones en la composición química. -Correlación con la eficacia de tratamiento.	-Análisis de laboratorio de muestras de fluidos.

Variables/Categorías	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Técnicas
Modelo de gestión implementado.	Diseño y aplicación de modelos de gestión para el tratamiento de aguas formación, incluyendo la integración de prácticas sostenibles.	-Integración de tecnologías. -- -Optimización de recursos. -Adopción de innovaciones. la de	-Cumplimiento de objetivos del modelo de gestión. -Mejoras en eficiencia y reducción de impactos.	-Desarrollo de modelos de gestión integral. en y de

Nota: Elaborado por los autores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos del tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera.

2.1.1. Importancia y necesidades.

Las aguas de formación en la industria petrolera simbolizan los subproductos con mayor relevancia en la extracción del petróleo, particularmente en los pozos de la sección Petrópolis. Estas aguas se logran encontrar en algunas formaciones geológicas o durante la producción de hidrocarburos y gas. El control y tratamiento de las aguas son de gran importancia por su composición variable y volumen, por la existencia de metales pesados, sales hidrocarburos y otros contaminantes (Dávila, 2024).

Las aguas de formación en la industria petrolera simbolizan los subproductos con mayor relevancia en la extracción de petróleo, particularmente en los pozos de la sección Petrópolis. Estas aguas se logran encontrar en algunas formaciones geológicas o durante la producción de hidrocarburos y gas. El control y tratamiento de las aguas son de gran importancia por su composición variable y volumen, por la existencia de metales pesados, sales, hidrocarburos y otros contaminantes (Dávila, 2024).

El tratamiento de las aguas de formación es crucial para cumplir con las normas ambientales y tiene como objetivo de proteger los ecosistemas locales y de salud pública. Los métodos de tratamiento varían ampliamente, conforme a la composición del agua y las especificaciones requeridas de descarga o reutilización. Habitualmente, las técnicas incluyen separación física de aceite y sólidos, tratamientos biológicos para lograr descomponer componentes orgánicos y los desarrollos químicos para eliminar contaminantes específicos.

En la provincia de Santa Elena con la industria petrolera activa, contrarresta retos relacionados particularmente con las aguas de formación adecuado a la especificidad geológica y química de sus áreas petroleras. En este lugar es esencial caracterizar con mucho cuidado las propiedades y composición de estas aguas. Tener conocimiento de los contaminantes presentes y su concentración fortalece el diseño de sistemas de tratamiento más efectivos y lograr identificar los riesgos potenciales par el ambiente y la salud pública.

El marco de la valoración del proceso de tratamientos en los pozos de Petrópolis, se estudia la necesidad de valorar las tecnologías y métodos actuales utilizados en la región. Implica revisar el potencial de cada sistema actual y sus restricciones. De distintas maneras, las tecnologías usadas puede que no sea suficiente adaptar las características específicas del agua de formación local.

La investigación de métodos avanzados y sostenibles es de gran importancia. El planteamiento no debe estar enfocado solo en tratar eficazmente los contaminantes, sino que logre disminuir la huella ambiental del proceso. Estas mejoras incluyen el desarrollo de nuevos agentes químicos que sean más eficientes y menos nocivos con el medio ambiente, o métodos biológicos que aprovechan microorganismos especializados para disminuir contaminantes específicos.

La sostenibilidad del tratamiento de las aguas de formación consiste en la reutilización del agua tratada. Donde el agua es un recurso carente, como en ciertas poblaciones de la provincia de Santa Elena, la reutilización no solo colabora a el equilibrio ambiental, reduciendo los costos asociados al control del agua. El método de reinserción del agua en el campo agrícola es altamente viable, reduciendo los costos asociados al control del agua.

2.1.2. Métodos de tratamiento de aguas de formación.

Los métodos de tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera son culminantes para ejecutar de manera adecuada los subproductos, disminuyendo su impacto ambiental y posibilitando su reutilización o distribución segura. Aquí se detalla y explica múltiples métodos de tratamientos más usados:

1. Separación física:

- **Descripción:** este método involucra la separación de agua, aceite y sólidos mediante procesos físicos como la sedimentación, la flotación y la filtración.
- **Funcionamiento:** se utiliza la gravedad para que los sólidos y gotas de aceite se asienten o floten, dependiendo de su densidad, facilitando su remoción. La filtración se emplea para capturar partículas más finas.

- **Aplicaciones:** es comúnmente el primer paso en el tratamiento de las aguas de formación para eliminar la mayor cantidad posible de aceite y sólidos antes de aplicar tratamientos más refinados. (Mazille & Spuhler, 2020).

2. Tratamiento biológico:

- **Descripción:** emplea microorganismos para degradar los contaminantes orgánicos que se encuentran en el agua (S.r.l, 2024).
- **Funcionamiento:** los microorganismos consumen materia orgánica como fuente de energía y al hacerlo, transforman los contaminantes en biomasa, dióxido de carbono y agua. (Tuset, 2024).
- **Aplicaciones:** método eficaz para reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en cuerpos de agua.

3. Tratamiento químico:

- **Descripción:** implica la adición de productos químicos para provocar reacciones que eliminen los contaminantes.
- **Funcionamiento:** los coagulantes y floculantes se añaden para aglutinar los contaminantes, formando floculos más grandes que pueden ser fácilmente separados por sedimentación o flotación.
- **Aplicaciones:** se utiliza para remover metales pesados, ajustar el pH y desinfectar el agua. (Mazille & Spuhler, SSWM, 2020).

4. Osmosis inversa y otros procesos de membrana:

- **Descripción:** emplea membranas semipermeables para separar sustancias disueltas del agua mediante presión.
- **Funcionamiento:** la presión se aplica al agua, forzándola a pasar a través de una membrana que retiene los contaminantes, pero permite el paso del agua limpia.
- **Aplicaciones:** es muy efectivo para desalinizar y remover contaminantes muy pequeños, siendo útil en la purificación de agua para su reutilización.

5. Evaporación:

- **Descripción:** basado en el calentamiento del agua hasta su punto de ebullición para separarla de los sólidos y otros contaminantes.
- **Funcionamiento:** el agua se evapora dejando atrás los contaminantes, y el vapor de agua se condensa de nuevo en líquido en otra parte del sistema.
- **Aplicaciones:** útil en la eliminación de altas concentraciones de sales y otros minerales.

6. Tratamientos avanzados:

- **Descripción:** incluyen técnicas como la oxidación avanzada, que utiliza radicales libres para degradar contaminantes orgánicos resistentes.
- **Funcionamiento:** agentes oxidantes fuertes como el ozono o peróxido de hidrógeno se usan para romper las moléculas de los contaminantes, convirtiéndolos en moléculas más simples y menos dañinas.
- **Aplicaciones:** ideal para tratar contaminantes específicos que son difíciles de remover con otros métodos.

Cada uno de estos métodos tiene su propio conjunto de ventajas y desafíos, a menudo se utilizan en combinación para lograr el nivel deseado de tratamiento según las características específicas del agua de formación y los requisitos reglamentarios. La elección del método adecuado depende de factores como la composición del agua, los costos operativos, las normativas ambientales y la infraestructura disponible.

Tabla 2.

Métodos de tratamientos.

Método de tratamiento	Descripción	Aplicaciones principales	Ventajas
Separación física.	Utiliza procesos físicos para separar el agua de los hidrocarburos y sólidos suspendidos. Incluye la	Separación inicial en el tratamiento de aguas de formación para remover grandes partículas y aceites.	Bajo costo y fácil implementación. Reduce significativamente la carga de contaminantes.

	decantación y filtración.		
Tratamiento biológico.	Emplea microorganismos para descomponer orgánicos y reducir la carga contaminante. Incluye sistemas de lodos activados y biorreactores.	Utilizado para tratar contaminantes orgánicos biodegradables en el agua.	Efectivo para reducir BOD y COD. Menor impacto ambiental comparado con tratamientos químicos.
Tratamiento químico.	Involucra la adición de químicos para precipitar o neutralizar contaminantes. Comprende la coagulación, floculación y desinfección.	Aplicable para eliminar metales pesados y ajustar el pH del agua.	Alta eficiencia en la remoción de contaminantes específicos.
Osmosis inversa y otros procesos de membrana.	Usa membranas semipermeables para separar contaminantes del agua basándose en el tamaño de partícula.	Ideal para la desalinización y la remoción de contaminantes disueltos muy finos.	Produce agua de alta pureza, apta para reutilización en procesos industriales.
Evaporación.	Emplea calor para evaporar el agua, dejando atrás los contaminantes.	Usado en condiciones donde otros métodos no son viables, especialmente en la remoción de sales disueltas.	Efectivo en ambientes con alta concentración de sales.

Tratamientos avanzados.	Incluyen técnicas como la oxidación avanzada, que utiliza radicales libres para degradar contaminantes orgánicos complejos.	Aplicado en aguas de formación con contaminantes que no se pueden tratar eficazmente con métodos convencionales.	Puede degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos y persistentes.
--------------------------------	---	--	---

Nota: Datos tomados de Urbina y Vera (2020).

2.1.3. Impacto ambiental y de salud pública.

El impacto ambiental y de salud pública de las aguas de formación no tratadas es un tema de gran preocupación, especialmente en contextos industriales como el de la industria petrolera, donde los contaminantes típicos incluyen hidrocarburos y metales pesados. Estos contaminantes poseen la capacidad de afectar gravemente los ecosistemas y la salud humana, convirtiendo el tratamiento efectivo de las aguas de formación en una prioridad crítica (Almansa et al., 2020).

Los componentes orgánicos localizados en el petróleo son muy tóxicos para el ecosistema acuático. Su existencia en ambientes acuáticos puede llevar a una disminución en los niveles de oxígeno, comprometiendo la vida de los peces y microorganismos. Existen hidrocarburos que son carcinogénicos y puede llegar a acumularse en la cadena alimenticia, potenciando un riesgo a la salud humana al consumir dichos peces (Almansa et al., 2020).

Por otro lado, los metales pesados como el plomo, mercurio y cadmio, encontradas en las aguas de formación industriales, son reconocidos por su alta toxicidad y capacidad para bioacumularse en los tejidos vivos. Incluidas en las bajas concentraciones, dichos metales desencadenan problemas de salud, incluyendo daño neurológico, disfunción renal y trastornos del sistema inmunológico (Nápoles et al., 2021).

La exposición a aguas de formación no tratadas también puede llevar a brotes de enfermedades. Organismos patógenos como bacterias, virus y parásitos pueden ser transportados por el agua y provocar enfermedades como el cólera, la hepatitis y otras

infecciones gastrointestinales. Estos riesgos son especialmente altos en comunidades sin acceso a sistemas adecuados de tratamiento de aguas (Santa et al., 2021).

Desde un punto de vista ambiental, las aguas de formación no tratadas pueden alterar drásticamente la química de los cuerpos de agua receptores, aumentando la turbidez y nutrientes, lo que a su vez puede provocar eutrofización. Este fenómeno causa el crecimiento excesivo de algas que bloquean la luz solar, impidiendo la fotosíntesis y reduciendo el oxígeno disponible, lo que puede desencadenar la muerte masiva de peces y deteriorar la biodiversidad acuática (Álvarez et al., 2022).

El impacto sobre los hábitats terrestres tampoco puede ser subestimado, ya que las aguas contaminadas pueden filtrarse a través del suelo, afectando la vegetación y la fauna local. Además, la contaminación del suelo puede llevar a la alteración de ecosistemas enteros, afectando la flora y fauna que dependen de ellos, así como la calidad del suelo para la agricultura (Huaman et al., 2020).

La regulación y el control riguroso son, por tanto, esenciales para mitigar estos impactos. Las leyes ambientales modernas requieren que las industrias, incluida la petrolera, traten sus aguas de formación antes de su descarga, estableciendo límites estrictos sobre la concentración de hidrocarburos, metales pesados y otros contaminantes.

Sistemas como la oxidación avanzada, la adsorción y los tratamientos biológicos han demostrado ser efectivos en la eliminación de contaminantes tóxicos y la reducción de la carga patógena en el agua.

Además, la monitorización constante y la evaluación del desempeño de los sistemas de tratamiento son fundamentales para asegurar su eficacia a lo largo del tiempo. Las técnicas de monitoreo no solo ayudan a asegurar el cumplimiento de las normativas, sino que también proporcionan datos valiosos para la mejora continua de los procesos de tratamiento.

Por último, la educación y la concienciación sobre la importancia del tratamiento adecuado de las aguas de formación son cruciales para fomentar prácticas sostenibles. La participación comunitaria y la colaboración entre sectores pueden fortalecer los esfuerzos para proteger recursos hídricos y promover la salud pública.

A continuación, se enumera y explica los impactos ambientales y de salud pública de las aguas de formación no tratadas, especificando el tipo de impacto asociado con cada contaminante común:

Tabla 3.

Impactos ambientales y de salud pública

Impacto	Tipo de impacto	Descripción detallada
Contaminación por hidrocarburos.	Ambiental y de salud.	Los hidrocarburos en las aguas de formación pueden ser tóxicos para la vida acuática, reduciendo los niveles de oxígeno en el agua y acumulándose en la cadena alimenticia. En humanos, la exposición puede aumentar el riesgo de cáncer y afectar negativamente la salud reproductiva y endocrina.
Contaminación por metales pesados.	Ambiental y de salud.	Metales como el mercurio, plomo y cadmio pueden bioacumularse en peces y humanos, causando daño neurológico y renal, y otros trastornos de salud. También afectan negativamente la biodiversidad acuática y terrestre.
Eutrofización.	Ambiental.	Nutrientes como nitrógeno y fósforo promueven el crecimiento excesivo de algas que bloquean la luz solar y agotan el oxígeno, causando la muerte de especies acuáticas y deterioro de la calidad del agua.
Disminución de la biodiversidad.	Ambiental.	La toxicidad del agua y la alteración de hábitats conducen a una reducción en la biodiversidad acuática y terrestre, afectando los ecosistemas y las especies que dependen de ellos.
Contaminación del suelo.	Ambiental.	Los contaminantes en las aguas de formación pueden infiltrarse en el suelo, alterando su composición y afectando la salud de la vegetación y la fauna local, así como la agricultura.

Enfermedades infecciosas.	De salud pública.	Las aguas de formación pueden contener patógenos que causan enfermedades como el cólera, hepatitis y otras gastroenteritis. La exposición a aguas contaminadas es un riesgo directo para las comunidades humanas.
Impactos económicos.	Socioeconómico.	Los costos relacionados con el tratamiento de enfermedades, la pérdida de biodiversidad, y la limpieza de recursos hídricos contaminados representan una carga económica significativa para las comunidades y gobiernos.

Nota: Datos tomados de Tonato y Brito, (2021).

2.2. Revisión de técnicas de tratamiento.

El tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera es primordial para tener un mejor manejo de subproductos de manera que se disminuye el impacto ambiental y se logre cumplir con las normas. A continuación, detallo las técnicas de tratamiento, tanto convencionales como avanzadas, que se aplican a las aguas de formación en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV de la provincia de Santa Elena.

Métodos convencionales.

1. Separación física:

- **Descripción:** este método implica la separación de fases líquidas y sólidas basada en la diferencia de densidades. Comúnmente incluye la utilización de desarenadores, desnatadores y tanques de sedimentación.
- **Aplicaciones:** utilizado para remover aceite y sólidos grandes del agua antes de otros tratamientos más detallados.
- **Ventajas:** simplicidad y bajo costo de operación.

2. Filtración:

- **Descripción:** se usa materiales filtrantes para lograr eliminar las partículas presentes. Los filtros usados pueden ser carbón activado, membrana o arena (Herry, s.f.).

- **Aplicaciones:** esencial para la clarificación final del agua y preparación para descarga o reutilización.
- **Ventajas:** eficiencia en la remoción de sólidos y capacidad de adaptación a diferentes niveles de calidad requeridos.

3. Flotación por aire disuelto (DAF):

- **Descripción:** inyecta aire a alta presión en el agua para formar microburbujas que se adhieren a los contaminantes oleosos, haciendo que floten y puedan ser removidos (SAS, 2024).
- **Aplicaciones:** efectivo para aguas con altas concentraciones de aceites y grasas.
- **Ventajas:** rápida separación y eficiente en la remoción de aceites.

4. Tratamientos químicos básicos:

- **Descripción:** incluye la adición de coagulantes y floculantes que ayudan a aglomerar los contaminantes, facilitando su remoción por sedimentación.
- **Aplicaciones:** útil para aguas con contaminantes disueltos y en suspensión.
- **Ventajas:** alta efectividad en condiciones controladas y mejora significativa de la calidad del agua.

Técnicas avanzadas.

1. Osmosis inversa:

- **Descripción:** técnica de filtración a través de membranas semipermeables que remueve contaminantes disueltos mediante la aplicación de presión.
- **Aplicaciones:** remoción de sales, metales pesados y otros contaminantes disueltos para obtener agua de alta pureza.
- **Ventajas:** produce agua de calidad superior, apta para procesos industriales exigentes o re inserción ambiental.

2. Biorremediación:

- **Descripción:** utiliza microorganismos naturales o modificados para descomponer o adsorber contaminantes orgánicos e inorgánicos (Rodríguez, 2003).
- **Aplicaciones:** tratamiento de contaminantes específicos como hidrocarburos y metales pesados.
- **Ventajas:** método ecológico que reduce la huella ambiental y mejora la sostenibilidad del tratamiento.

3. Oxidación avanzada:

- **Descripción:** procesos que utilizan combinaciones de ozono, luz ultravioleta, y peróxidos para generar radicales libres que descomponen los contaminantes a nivel molecular (López, y otros, 2021).
- **Aplicaciones:** efectivo contra contaminantes orgánicos persistentes y microorganismos patógenos.
- **Ventajas:** alto nivel de purificación y reducción de contaminantes a compuestos menos nocivos.

4. Electrocoagulación:

- **Descripción:** utiliza corriente eléctrica para generar iones metálicos en el agua que actúan como coagulantes.
- **Aplicaciones:** tratamiento de aguas con contenido variable de contaminantes.
- **Ventajas:** flexibilidad operativa y capacidad de tratar una amplia gama de contaminantes.

Dichos métodos y técnicas son parte de un modelo de gestión integral que tiene como objetivo implementar en la sección Petrópolis para aumentar la eficiencia del tratamiento de aguas de formación y disminuir el impacto ambiental.

2.3. Modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación.

2.3.1. Integración de tecnologías.

Las técnicas existentes de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación se generan a lo largo del tiempo con el objetivo de enfrentar los múltiples desafíos medioambientales y operativos. Estos modelos se basan en enfoques estructurados que permiten la correcta gestión de las aguas residuales generadas durante la extracción de petróleo. Las aguas de formación contienen una mezcla de contaminantes que varían según la ubicación geológica y la composición de los fluidos extraídos, por lo que los modelos de gestión integral buscan adaptarse a estas variaciones y garantizar un tratamiento efectivo que minimice el impacto ambiental. Estos modelos suelen utilizar una metodología que evalúa las propiedades del agua, selecciona la tecnología de tratamiento más adecuada e implementar estrategias de control y seguimiento para garantizar la eficacia de los procesos utilizados.

Una de las principales características de los modelos de gestión integrada es la necesidad de una evaluación detallada de la composición del agua de formación, que incluye un análisis fisicoquímico completo. La etapa inicial genera las concentraciones de contaminantes que están presentes, como metales pesados, hidrocarburos y sales disueltas. Con dichos datos, los ingenieros logran identificar las tecnologías más adecuadas para tratar el agua de formación de manera eficiente.

Los modelos de gestión integral contienen un fuerte componente de sostenibilidad, que se da a ver con la optimización de recursos y la disminución del consumo energético. Este enfoque no solo se basa en las contribuciones a la conservación de los suministros hídricos, sino que ayuda a las empresas petroleras a cometerse a las regulaciones estrictas ya establecidas. La implementación de sistemas de reciclaje de agua es soporte crucial en los modelos más modernos, por su beneficio en poder cerrar el ciclo del agua dentro de la propia operación.

La división física de los contaminantes es el primer paso en muchos modelos, donde se usan nuevas técnicas como la flotación por aire disuelto o la decantación para remover los sólidos y los aceites flotantes. Aunque estos métodos son simples, son efectivos y pueden servir como base para etapas posteriores del tratamiento. Pero ellos por sí solos no son suficientes para cumplir con los estándares de calidad del agua, por lo

que es necesario implementar tecnologías adicionales para asegurar la eliminación de contaminantes más complejos (Fabregas, 2023).

Los tratamientos biológicos y químicos llevan un gran peso. En dichos modelos de gestión integral más completos, se integran procedimientos de coagulación y floculación para suprimir partículas suspendidas y metales pesados. Estos tratamientos químicos disminuyen las concentraciones de contaminantes, combinándose diversas tecnologías para tener resultados óptimos.

Otras tecnologías importantes es la osmosis inversa, la cual es usada para la eliminación de sales y otros contaminantes presentes en el agua. Consiste en la filtración por medio de una membrana semipermeable, logrando una alta pureza en el agua, logrando una reutilización con mayor facilidad en diversos procesos. También presenta desafíos por el tema económico, lo que genera que las empresas evalúen cuidadosamente dentro del modelo de gestión.

Existen modelos con técnicas innovadoras como el tratamiento de la oxidación avanzada y la electrocoagulación. Dichas tecnologías se usan para suprimir contaminantes resistentes y con una mayor dificultad de tratar con métodos comunes. La oxidación avanzada utiliza agentes oxidantes para desintegrar moléculas complicadas en compuestos simples y menos nocivos, al mismo tiempo que la electrocoagulación emplea corriente eléctrica para producir coagulantes in situ que simplifica la remoción de partículas.

2.3.2. Sostenibilidad y viabilidad económica.

La sostenibilidad y viabilidad económica del modelo integrado de tratamiento de aguas de formación son factores clave para su implementación en la industria petrolera. Estos modelos buscan no sólo eliminar eficazmente los contaminantes en el agua producidos durante la extracción de petróleo, sino también optimizar los recursos disponibles en términos de impacto ambiental y rentabilidad económica. El enfoque sostenible implica minimizar el impacto negativo sobre los ecosistemas y las comunidades circundantes, mientras que la viabilidad económica se refiere a la capacidad de las empresas de equilibrar los costos operativos con los beneficios obtenidos a largo plazo.

Uno de los aspectos centrales de la sostenibilidad de estos modelos es la reducción del uso de productos químicos y energía en los procesos de tratamiento. Muchos de los modelos más avanzados han integrado tecnologías biológicas que dependen de microorganismos para descomponer los contaminantes orgánicos presentes en las aguas de formación. Estas tecnologías no solo resultan más respetuosas con el medio ambiente, sino que también disminuyen la necesidad de productos químicos costosos, lo que contribuye a la reducción de costos. Al ser procesos biológicos, requieren menos intervención mecánica, lo que significa que se necesita menos energía para su operación, mejorando así la eficiencia global de los modelos en términos de sostenibilidad y viabilidad.

La reutilización del agua tratada es otro aspecto clave de la sostenibilidad. En zonas donde el agua es un recurso limitado, los modelos de gestión integral han mostrado ser una solución eficaz para reducir la dependencia de fuentes externas. La posibilidad de reutilizar el agua tratada en otros procesos industriales, o incluso en actividades agrícolas, representa un ahorro considerable tanto en el uso de agua fresca como en los costos asociados a la gestión de residuos. Este enfoque circular contribuye a la preservación de los recursos hídricos, lo que es especialmente relevante en regiones donde las operaciones petroleras pueden ejercer presión sobre los suministros de agua locales.

En términos de viabilidad económica, los modelos de gestión integral presentan costos iniciales considerables, ya que requieren la inversión en tecnologías avanzadas como la osmosis inversa o la oxidación avanzada. No obstante, a largo plazo, los ahorros derivados de la eficiencia operativa, la reducción de multas por incumplimiento ambiental y la disminución de costos de tratamiento hacen que estos modelos sean económicamente rentables. La clave de su viabilidad económica radica en la capacidad de las empresas para implementar estos modelos de manera gradual, ajustando los sistemas a las necesidades específicas de cada sitio, lo que permite amortizar los costos de inversión inicial a lo largo del tiempo.

Otro factor relevante es el mantenimiento de las infraestructuras utilizadas en el tratamiento de las aguas de formación. Aunque las tecnologías avanzadas suelen ser más costosas de instalar, muchas de ellas requieren menos mantenimiento que los sistemas convencionales una vez que están en funcionamiento. La durabilidad de los equipos y la reducción de fallos mecánicos contribuyen a reducir los gastos operativos, lo que refuerza la viabilidad económica del modelo. Además, los avances en automatización han

permitido que muchas de estas plantas de tratamiento operen de manera más eficiente, con menos personal y una menor necesidad de intervención humana constante, lo que también contribuye a la reducción de costos laborales.

La adopción de estos modelos de gestión integral también responde a una presión creciente por parte de las normativas ambientales internacionales, que exigen a las empresas petroleras un cumplimiento estricto en cuanto a la gestión de sus residuos, incluidas las aguas de formación. El incumplimiento de estas regulaciones puede acarrear sanciones económicas significativas, lo que hace que la implementación de modelos sostenibles no solo sea una opción viable, sino también una necesidad para evitar multas que pueden afectar gravemente la rentabilidad de los proyectos.

La flexibilidad de los modelos de gestión integral también es un punto a favor de su sostenibilidad y viabilidad económica. Estos modelos pueden adaptarse a diferentes tipos de contaminantes y volúmenes de agua, lo que significa que las empresas pueden ajustar sus operaciones en función de las necesidades específicas de cada yacimiento petrolero.

El impacto positivo de estos modelos de gestión integral no se limita al ámbito económico y ambiental, sino que también tiene implicaciones sociales. La correcta gestión de las aguas de formación minimiza el riesgo de contaminación de cuerpos de agua cercanos, lo que beneficia a las comunidades que dependen de estas fuentes para su abastecimiento. Al reducir la probabilidad de conflictos ambientales y sociales, las empresas petroleras pueden operar con mayor estabilidad en las regiones donde se encuentran sus yacimientos. Esto, a su vez, disminuye los riesgos de interrupciones en las operaciones y evita los costos derivados de la remediación de desastres ambientales o de compensaciones a las comunidades afectadas.

Por último, la adaptación de tecnologías en dichos modelos promueve la innovación y el desarrollo de nuevas soluciones con una mayor eficiencia y con un menor costo para el tratamiento de aguas de formación. Las compañías que consideran invertir en la mejora de sus modelos de gestión no solo obtienen beneficio a corto plazo, sino que toman el primer lugar en obtener un modelo sostenible.

2.3.3. Casos de éxito y aplicaciones prácticas.

En Noruega, la empresa llamada Equinor ha incorporado tecnologías para tratar las aguas de formación en sus operaciones offshore. Equinor desarrolló un método que combina separación física y química junto con métodos de biorremediación que logra reducir los contaminantes antes de descargar el agua tratada al mar. Dicho plan logró cumplir con los estrictos estándares ambientales por el gobierno noruego (Camacho, Ortiz, Rodríguez, & Sinning, 2023).

En Argentina, la empresa YPF ha logrado implementar un modelo de gestión integral en el yacimiento de Vaca Muerta, uno de los principales campos de extracción de hidrocarburos no convencionales del país. La estrategia de YPF se centra en la reutilización de las aguas de formación, lo que ha permitido reducir la cantidad de agua nueva necesaria para sus operaciones. La empresa utiliza tecnologías de separación y filtración, junto con procesos químicos que permiten recuperar hasta el 80% del agua utilizada. Este enfoque ha sido clave para mejorar la sostenibilidad de sus operaciones, especialmente en una región donde los recursos hídricos son limitados.

En Oriente Medio, el tratamiento de aguas de formación ha sido un reto considerable debido a las altas concentraciones de sales disueltas en el agua. Sin embargo, en Abu Dabi, la empresa ADNOC ha implementado con éxito un modelo de gestión integral que combina la desalinización y la reinyección de aguas tratadas en los pozos de producción. Este enfoque ha permitido a ADNOC cumplir con las normativas locales y minimizar el impacto ambiental en una región altamente dependiente de los recursos hídricos. Además, ha generado un ahorro significativo en el costo de adquisición de agua, lo que ha mejorado la viabilidad económica de sus operaciones.

En Brasil, Petrobras ha sido pionera en el uso de tecnologías de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas de formación en sus operaciones offshore. El proyecto implementado en los campos petroleros de la cuenca de Santos ha permitido reducir significativamente los niveles de hidrocarburos y metales pesados presentes en el agua antes de su disposición en el océano. La compañía ha conseguido reducir los costos relacionados con sanciones ambientales y ha mejorado su reputación como líder en prácticas sostenibles en la industria del petróleo.

En el Reino Unido, la compañía BP ha desarrollado un sistema innovador en el campo petrolero de Clair Ridge, ubicado en el Mar del Norte. BP utiliza una tecnología de ultrafiltración que permite eliminar los sólidos y el petróleo residual antes de reinyectar el agua tratada en los pozos. Este enfoque ha reducido la cantidad de agua que necesita ser desechada y ha mejorado la eficiencia de las operaciones.

Finalmente, en China, la empresa China National Petroleum Corporation (CNPC) ha logrado implementar un modelo integral en sus operaciones de extracción de petróleo en Xinjiang. Utilizando tecnologías de separación y tratamiento químico, CNPC ha logrado tratar grandes volúmenes de aguas de formación, minimizando el impacto en el medio ambiente local. La compañía ha logrado reutilizar el agua tratada para proyectos de riego agrícola en la región, lo que ha beneficiado a las comunidades locales y ha mejorado la sostenibilidad de sus operaciones.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño de investigación.

El diseño de investigación es la estructura metodológica que guía el proceso de recopilación, análisis e interpretación de datos, con el fin de alcanzar los objetivos planteados en un estudio. Este diseño determina los métodos y técnicas adecuados para obtener información precisa y relevante, garantizando que los resultados sean válidos y confiables. En un contexto académico o profesional, como la evaluación de un proceso de tratamiento de aguas de formación, el diseño debe estar alineado con las preguntas de investigación, así como con las características del fenómeno a estudiar. Además, debe asegurarse que el análisis permita una comprensión integral del problema, teniendo en cuenta tanto los aspectos técnicos como los posibles impactos ambientales y económicos que se deriven de la aplicación del modelo propuesto.

El diseño de investigación incluye el uso de un enfoque mixto. Esto significa que se combinan métodos cuantitativos y cualitativos para proporcionar una visión más completa del problema. En este caso, los datos cuantitativos, como los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua, son fundamentales para caracterizar la composición y los niveles de contaminantes, mientras que los datos cualitativos, obtenidos a través de entrevistas, permiten comprender cómo se gestionan actualmente estos procesos en la industria. Este enfoque metodológico es elemental para la solución de los problemas planteados en la investigación.

Para obtener la información cualitativa, se realizó una entrevista que se llevó a cabo por medio de un muestreo probabilístico por conveniencia, tal que, fue enfocada hacia un ingeniero de la empresa Pacifpetrol S.A, quien tiene experiencia directa en el área de aguas de formación. En este sentido se comprende que el método de muestreo se justifica por la necesidad de recolectar información esencial de expertos directamente involucrados en el área de estudio, sosteniendo así que los datos obtenidos sean de manera específica y aplicable a las condiciones de los pozos del campo GGV de la provincia de Santa Elena. La entrevista, tiene como fin explorar los tratamientos actuales y los desafíos asociados que conllevan en su implementación, lo que proporciona una base sólida para identificar oportunidades de mejora y posibles innovaciones.

Por otro lado, el diseño del cuestionario utilizado se centró específicamente en varios aspectos clave, teniendo como prioridad las técnicas de tratamientos físico, químico y biológicos utilizados actualmente, recalcando los niveles de eficiencia y las dificultades que impiden la efectividad de estas estrategias.

Por esta razón, es mejor indagar la percepción del ingeniero sobre posibles innovaciones tecnológicas, del mismo modo que aporten y ayuden a mejorar la gestión de las aguas de formación, tanto desde una perspectiva operativa como ambiental. En efecto, la combinación de datos no sólo permite evaluar el estado actual del tratamiento, sino que también indica soluciones más progresivas y sostenibles.

Tras la exhaustiva recopilación y análisis posterior de datos de aguas de formación realizado en laboratorio, proporciona una comprensión más a fondo de la eficacia del modelo de gestión integral propuesto. Por lo tanto, los resultados permiten evaluar de una manera práctica la eficiencia e implementación de tecnologías actuales teniendo en cuenta las condiciones específicas de los pozos en la sección Petrópolis. Este enfoque certifica que las recomendaciones finales no sólo sean teóricamente factibles sino también aplicables a las situaciones de la industria petrolera local.

Por último, es conveniente acotar, que el diseño de investigación incluye la comparación y explicación de resultados obtenidos con las normativas ambientales vigentes, lo que permite evaluar si las técnicas actuales cumplen con los estándares requeridos o si es necesario introducir nuevas tecnologías para mejorar los procesos. Este análisis, combinado con datos cualitativos de la entrevista realizada, facilita una base sólida para desarrollar un modelo de gestión integral más eficaz, que ayude a optimizar los recursos y minimizar los impactos ambientales en la provincia de Santa Elena.

3.2. Enfoque de investigación.

El enfoque de investigación establece cómo se recolectan, analizan e interpretan los datos. Esto se puede dar de manera cuantitativa (datos numéricos y análisis estadístico), cualitativa (percepciones y experiencias) o mixta (combinando ambos). La elección del enfoque investigativo depende del problema de investigación y los objetivos planteados teniendo en cuenta las fortalezas de cada metodología.

El método que se acogió para el trabajo de titulación será de enfoque de investigación mixta, el cual va a permitir evaluar el proceso de tratamiento de aguas de formación aplicados a los pozos de la sección Petrópolis. Este enfoque es útil puesto que permite combinar datos técnicos obtenidos de análisis de laboratorio de la composición de las aguas de formación, con información cualitativa obtenida a través de la entrevista dada en la empresa Pacifpetrol S.A. Al momento de unificar ambas fuentes de datos, se obtiene una visión integral que ayuda a identificar y evaluar métodos actuales y mejoras para el tratamiento de aguas de formación.

Es conveniente especificar que la entrevista realizada fue de vital importancia porque ayudo a destacar información valiosa, por lo tanto, formó parte del componente cualitativo de este enfoque. Cabe recalcar que el enfoque cualitativo complementa datos cuantitativos, del mismo modo que permite comprender limitaciones y fortalezas del modelo de gestión integral actual.

El estudio realizado se da por un método de enfoque mixto, que permite que tanto aspectos técnicos como perspectivas practicas sean tomadas en cuenta durante el análisis. Los datos cuantitativos obtenidos de los análisis de laboratorio complementan una base sólida la cual permite caracterizar la composición del agua y medir los niveles de contaminantes. Por otro lado, la entrevista brindó información cualitativa sobre cómo estos datos se traducen en acciones concretas en el campo Petrópolis. Cabe resaltar que la combinación de enfoques asegura que el trabajo estimado desarrolle conclusiones completas y prácticas que vayan de la mano con las necesidades técnicas como lo son, las experiencias de los ingenieros que se especializan en el área de tratamiento de aguas de formación en los pozos de la sección Petrópolis.

3.3. Población y muestra.

La población y muestra son elementos fundamentales dentro de cualquier investigación, ya que determinan el grupo de personas o entidades a las que se aplicó el estudio. La población representa el universo total de sujetos que fueron incluidos en el análisis, mientras que la muestra es un subconjunto de esa población, seleccionada para obtener resultados representativos sin necesidad de evaluar a cada individuo. La población del trabajo propuesto está conformada por ingenieros y técnicos especializados en el tratamiento de aguas de formación los cuales desarrollan y aplican sus

conocimientos en la empresa Pacifpetrol S.A. Cabe considerar que, por falta de tiempo y recursos, no es posible entrevistar a todos los ingenieros, puesto que se ha tomado la decisión de seleccionar una muestra.

La muestra seleccionada se obtuvo a través de un muestreo probabilístico por conveniencia, por lo que, se seleccionó a un ingeniero experto en el área, considerando su disponibilidad y tiempo. Este muestreo por conveniencia permitió que accediéramos a información clave, es decir, que al ser un ingeniero que se involucra directamente en la gestión de aguas de formación del campo, nos asegura que los datos obtenidos sean precisos y de vital importancia para la investigación.

En la entrevista se abordaron varios temas los cuales fueron de total interés en el área de gestión de aguas de formación, la experiencia que nos compartió el experto permitió tener una visión práctica de la tecnología utilizada y los desafíos que enfrenta la empresa como tal. Este tipo de combinación de datos cualitativos y cuantitativos es clave para proponer un modelo de gestión integral más eficiente y alineado con las necesidades de la empresa.

En esa línea, aunque la muestra fue pequeña y no necesariamente representativa de toda la población de ingenieros que trabajan en la gestión de aguas de formación, el enfoque por conveniencia permitió obtener datos especializados de un experto con amplio conocimiento del tema. Este tipo de muestra es válido en investigaciones donde el objetivo es obtener información detallada y práctica de un profesional clave que pueda proporcionar insights valiosos sobre el proceso estudiado. Además, los resultados obtenidos se integran de manera efectiva con los análisis técnico-científicos para cumplir con los objetivos de la investigación planteada en este trabajo de titulación.

También en lo que respecta a datos cuantitativos, específicamente en el análisis de agua de formación proporcionado por la empresa Pacifpetrol, se evaluaron varios parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados del agua generada en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV. Dichos parámetros son críticos para determinar la calidad del agua y la eficacia del agua que se va a tratar.

En el informe de muestra obtenida se detallan los parámetros de campo, el cual menciona que el pH tiene un valor de 7.6 indicando que se encuentra dentro del rango de límite máximo permisible de 6 – 9, la conductividad de campo tiene un valor de 25,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ esto quiere decir que contiene una alta concentración de sales disueltas. Los

parámetros realizados en el laboratorio arrojaron la presencia de sólidos totales gravimétricos dando un valor de 19,122 mg/l, lo cual significa una carga de material suspendido afectando los cuerpos receptores si no se tratan adecuadamente. Sin embargo, hay otro parámetro que excede los límites establecidos, como es el cloruro (Cl^-) el cual tiene un valor de 9,962 mg/l esto conlleva a tener tratamientos adicionales para poder disminuir su concentración.

La tabla también muestra parámetros orgánicos, en el cual se evaluaron los hidrocarburos totales de petróleo (C8 – C40) mg/l, arrojando un valor de 2.2 mg/l, indicando que es un resultado que está por debajo del límite permisible, lo que demuestra que el tratamiento en este aspecto es efectivo. Por otra parte, la presencia de metales pesados como el bario detalla un valor de 9.2 mg/l y un límite permisible de 2.0 mg/l, en este caso se sugiere un tratamiento más exhaustivo para reducir la concentración de dicho metal. Por otro lado, la cantidad de coliformes totales, menciona un valor de 11,000 NMP/100 ml, esto muestra que hay una alta carga microbiana en el agua, lo que implica la necesidad de un tratamiento biológico para descontaminar el agua antes de su reutilización o descarga.

Por último, es conveniente mencionar, que el análisis realizado anteriormente aporta una visión detallada de los contaminantes presentes en las aguas de formación, permitiendo ver a detalle cada uno de los parámetros detallados anteriormente, esto es con el fin de poder cumplir con las normativas ambientales y evitar tener un impacto ambiental mayor.

3.4. Instrumento de la investigación.

El cuestionario diseñado como instrumento de investigación para este estudio ubicado en el anexo A, está compuesto por 20 preguntas abiertas que abordan aspectos clave relacionados con el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera. El propósito de este cuestionario es obtener información detallada y experta sobre los métodos y tecnologías utilizadas, los desafíos que se enfrentan y las estrategias para optimizar el tratamiento de estas aguas residuales. Cada pregunta está formulada para explorar diferentes áreas del tratamiento, desde los métodos físicos, químicos y biológicos hasta la evaluación de tecnologías avanzadas, como la osmosis inversa, y su impacto en la sostenibilidad y la reducción de la huella ambiental. A través de este

instrumento, se espera obtener una visión integral sobre la gestión de aguas de formación, que permita evaluar las prácticas actuales y proponer mejoras en la eficiencia y reducción de contaminantes.

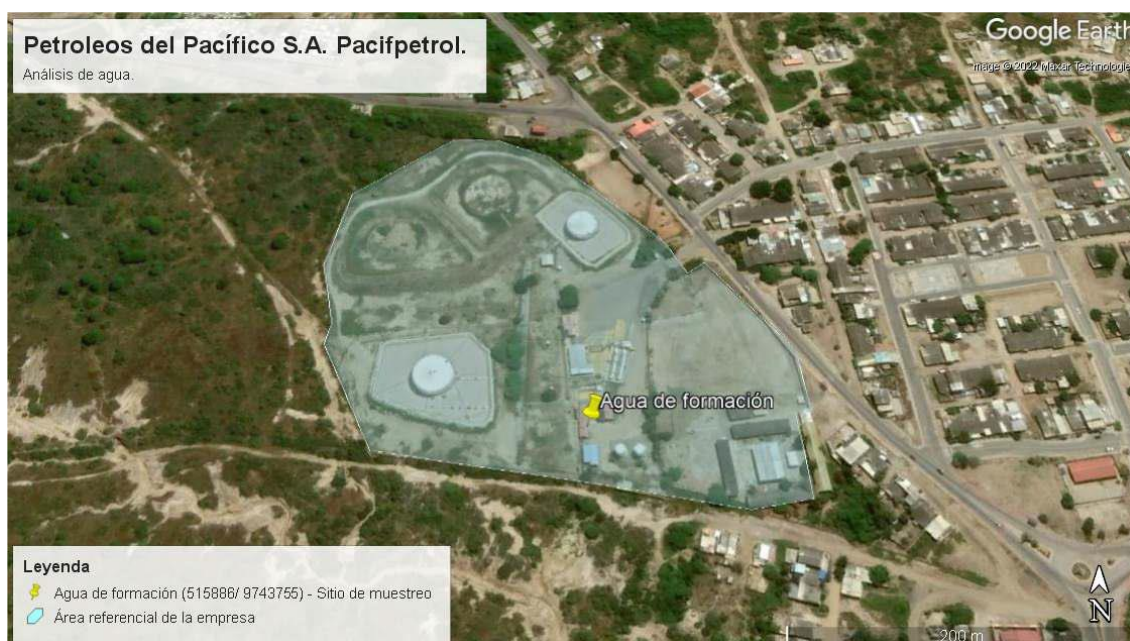
El cuestionario también se enfoca en aspectos operativos y normativos, indagando sobre cómo se monitorea la calidad del agua tratada y cómo se asegura el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. Asimismo, busca identificar las limitaciones de los métodos convencionales y los desafíos al implementar nuevas tecnologías, lo que resulta esencial para proponer soluciones innovadoras. Las preguntas finales del cuestionario están dirigidas a obtener recomendaciones de los expertos para mejorar los procesos de tratamiento y promover la reutilización del agua tratada, lo cual es vital para garantizar la viabilidad económica y la sostenibilidad en la gestión de aguas de formación en los pozos petroleros.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de agua de formación

Figura 1.

Ubicación Geográfica – Pacifpetrol.



Nota: Pacifpetrol ubicado por Google Maps (2024).

A continuación, se presenta una tabla que resume los principales resultados obtenidos en el análisis de agua de formación en Pacifpetrol, destacando los parámetros evaluados y su comparación con los límites máximos permisibles según la normativa ambiental.

Tabla 4.

Análisis de agua de formación.

Parámetro	Valor obtenido	Límite máximo permisible	Unidad de medida	Método de análisis
pH	7.6	6-9	-	SM 4500 H / MM-AG/S-01
Conductividad	25	N/A	μS/cm	EPA 9050 A / MM-AG-02

Parámetro	Valor obtenido	Límite máximo permisible	Unidad de medida	Método de análisis
Temperatura	29.9	Condición natural ± 3 °C	°C	SM 2550 / MM-AG-43
Sólidos Totales Gravimétricos	19,122	1,6	mg/l	SM 2540 B / MM-AG-06
Bicarbonato	557	N/A	mg/l	SM 2320 / MM-AG-09
Cloruro	9,962	1	mg/l	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfato	19	1	mg/l	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfuro	<0.013	0.5	mg/l	EPA 376.2 / MM-AG-33
Hidrocarburos Totales de Petróleo	2.2	20.0	mg/l	EPA 8015 D / MM-AG-23
Coliformes Totales	11	N/A	NMP/100 ml	SM 9223 A,B / MM-AG/S-20
Bario	9.2	2.0	mg/l	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Calcio	550	N/A	mg/l	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cromo	0.039	N/A	mg/l	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro	9.8	10.0	mg/l	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Nota: Datos tomados de Pacifpetrol (2024).

Como resultado de lo anterior, se indica que las muestras de agua de formación de la sección Petrópolis, determina parámetros tanto fisicoquímico, como microbiológicos. Uno de los parámetros clave es el pH, dando un valor de 7.6 el cual se encuentra en un

alcance aceptable entre 6-9, basándose en la normativa ambiental. El valor aportado en el análisis indica que el agua no presenta niveles de alta alcalinidad o acidez, por lo que, es favorable para el tratamiento fisicoquímico. Sin embargo, la conductividad fue de 25,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este valor no obstante indica una alta concentración de salinidad, por lo tanto, es necesario implementar técnicas de desalinización para evitar impactos ambientales adversos.

La concentración de sólidos totales gravimétricos fue de 19,122 mg/l, esto da a entender que el valor está por encima del límite establecido de 1,600 mg/l, el valor establecido indica que el agua de formación contiene un parámetro significativo, es decir, que si no son removidos apropiadamente podrían causar daños a las instalaciones de tratamiento de agua.

En cuanto a los hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40), el análisis mostró un valor de 2.2 mg/l, muy por debajo del límite máximo permisible de 20 mg/l, lo que indica que el tratamiento está siendo efectivo en la eliminación de estos compuestos orgánicos. Cabe mencionar que el alto contenido de bario resalta con un valor permitido de 2.0 mg/l, esto indica que el tratamiento utilizado actualmente no reduce la contaminación de metales pesados, dicho esto es recomendable implementar tecnologías avanzadas, como lo es la precipitación química o la absorción.

Los parámetros microbiológicos dieron valores poco factibles, en él se indica que los coliformes totales tienen una concentración de 11,000 NMP/100 ml, por lo que no es recomendable que el agua sea reutilizada debido a su alta carga bacteriana, para asegurar que el agua cumpla con los estándares de calidad sanitaria. Este resultado subraya la importancia de abordar tanto los contaminantes químicos como los microbiológicos en cualquier modelo de gestión integral de aguas de formación.

En el informe de muestra dado por la empresa, reveló concentraciones elevadas diferentes a la del bario, estos metales son: calcio (550 mg/l), la cual no tiene un límite máximo permisible, pero la presencia de la cantidad mencionada puede influir en la calidad general del agua. Los metales antes mencionados contribuyen a la salinidad total del agua por lo que es necesario que sean considerados en cualquier tratamiento que ayude a reducir la carga iónica del agua de formación. Eliminar estas sales es esencial para

evitar la acumulación de sal en el suelo y los ecosistemas circundantes, especialmente en áreas donde el agua es escasa y necesita ser reutilizada.

La alta conductividad y los sólidos en suspensión, así como los niveles elevados de cloruro y bario, indican que los métodos de tratamiento físico (como la filtración y separación por membranas) deben complementarse con procesos químicos más avanzados. Por consiguiente, el tratamiento biológico ayuda a eliminar los coliformes asegurando que el agua tratada pueda ser reutilizada de manera conveniente.

Finalmente, los resultados del análisis facilitan una base sólida para la evaluación del modelo de gestión integral que se propone implementar en el campo GGV específicamente en el área Petrópolis.

4.2. Caracterización de las propiedades y composición de las aguas de formación,

La explicación para estos resultados generados en procesos de perforación petrolera ejecutadas en la provincia de Santa Elena dirigida específicamente en la sección Petrópolis del campo GGV, demuestra distintas características tanto físicas y químicas, estos parámetros son esenciales para entender el impacto ambiental y de salud pública. En términos teóricos, las aguas de formación se derivan a partir de la extracción de petróleo y con frecuencia suelen contener metales pesados, mezcla de sales pesadas, compuestos orgánicos e inorgánicos, por eso es importante realizar un tratamiento especializado para minimizar su impacto negativo. Para tener soluciones adecuadas de tratamientos de aguas de formación, se debe de tener en cuenta los parámetros importantes que permitan caracterizar cada componente analizado.

El primer parámetro analizado es el pH, puesto que el valor está en un rango permisible entre 6 y 9, lo cual es positivo en términos de tratamiento de agua, respetando las normativas ambientales vigentes. Sin embargo, la conductividad medida en el agua contiene un valor de 25,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que demuestra que es crítico debido a su alta conductividad, tiene presencia de altos niveles de iones como cloruro y sodio, estas

medidas pueden tener efectos negativos tanto en la eficiencia de tratamiento como en el medio ambiente.

Los resultados del análisis de sólidos totales gravimétricos datan un valor de 19,122 mg/l, el cual está por encima del límite máximo permitido. Sin embargo, tener un exceso de sólidos representa un alto riesgo para los ecosistemas acuáticos, puesto que pueden causar sedimentación y alteración en la vida de organismos presentes en el agua. En consecuencia, los altos niveles de sólidos en suspensión pueden ralentizar en el tratamiento y a su vez aumentar los costos de operación.

Por otra parte, la concentración de bario alcanzó los 9,2 mg/L, lo que superó el límite máximo de 2,0 mg/L. El bario es un metal pesado tóxico que puede afectar de manera negativamente a la salud humana y a los ecosistemas presentes en el agua.

En el desarrollo de análisis se pudo presenciar una alta concentración de coliformes (11,000 NMP/100 ml), demostrando que tienen una alta carga bacteriana presentes en el agua de formación. Está claro que tener un nivel alto es preocupante para la salud pública, es decir, son indicadores de contaminación fecal que al no ser tratadas apropiadamente puede presentar riesgos al momento de descargar o reutilizar el agua. Una solución sería implementar técnicas de desinfección, como la cloración o el uso de radiación ultravioleta.

Los metales pesados como el calcio, bario y cloruro, son aquellos responsables de que el agua tenga una alta conductividad. Para poder solucionar y tener una mejor eficiencia se llegó a la conclusión de requerir técnicas y tratamientos especializados que ayuden a eliminar las sales presentes con el fin de evitar la salinización de suelos.

También se determinó la presencia de bajas concentraciones tanto de sulfato (SO_4^{2-}) con un valor de 19 mg/l y sulfuro (S^{2-}) con un número <0.013 mg/l, lo cual es positivo dado que estos contaminantes no serían un problema para el caso. Otro punto es que la presencia del hierro alcanzó los 9.8 mg/l casi cerca del límite de 10 mg/l, seguido del cromo con una concentración de 0.039 mg/l, ambos metales pesados deben de supervisarse cuidadosamente debido a su toxicidad.

Las muestras de aguas de formación presentan temperaturas elevadas (29.9 °C), puesto que afecta a la solubilidad de los gases presentes y a los procesos de tratamiento biológicos.

La importancia de los resultados del campo GGV de la sección Petrópolis radica en la necesidad de un tratamiento integral que se adecúe a métodos físicos, químicos y biológicos. El manejo de tecnologías perfeccionadas de desalinización, desinfección y filtración resulta sustancial para disminuir el impacto ambiental y certificar el sostenimiento en la administración de aguas de formación en el campo petrolero.

A continuación, se presenta una tabla que resume la caracterización de las propiedades y composición de las aguas de formación generadas en los procesos de perforación petrolera en la provincia de Santa Elena, específicamente en los pozos de la sección Petrópolis del campo GGV. La tabla identifica los principales contaminantes y sus posibles impactos en el medio ambiente y la salud pública.

Tabla 5.

Caracterización.

Parámetro	Valor obtenido	Límite máximo permisible	Impacto potencial en el medio ambiente y la salud pública
pH.	7.6	6-9	Aceptable, no representa un riesgo inmediato.
Conductividad (µS/cm).	25	N/A	Alta salinidad, afecta la calidad del agua y puede causar salinización del suelo.
Sólidos totales gravimétricos (mg/l).	19,122	1,6	Exceso de sólidos en suspensión puede afectar la vida acuática y obstruir sistemas de tratamiento.
Cloruro (mg/l).	9,962	1	Contribuye a la salinidad, potencialmente dañino para la

Parámetro	Valor obtenido	Límite máximo permisible	Impacto potencial en el medio ambiente y la salud pública
			fauna acuática y los suelos agrícolas.
Hidrocarburos totales de petróleo (mg/l).	2.2	20.0	Bajo impacto, el tratamiento es efectivo en este parámetro.
Bario (mg/l).	9.2	2.0	Altamente tóxico, puede afectar el sistema nervioso y los riñones en humanos, además de dañar la fauna acuática.
Calcio (mg/l).	550	N/A	Afecta la dureza del agua, pero no presenta un impacto ambiental directo significativo.
Sodio (mg/l).	3,525	N/A	Aumenta la salinidad del agua, lo que puede afectar la vida vegetal y la calidad del suelo.
Hierro (mg/l).	9.8	10.0	Puede causar coloración del agua y afectar la vida acuática en concentraciones altas.
Coliformes Totales (NMP/100 ml).	11	N/A	Indicador de contaminación microbiológica, representa un alto riesgo para la salud pública si no se trata adecuadamente.
Sulfato (mg/l).	19	1	Bajo impacto, no representa un problema significativo.
Sulfuro (mg/l).	<0.013	0.5	No problemático en esta concentración, bajo riesgo ambiental.

Parámetro	Valor obtenido	Límite máximo permisible	Impacto potencial en el medio ambiente y la salud pública
Temperatura (°C).	29.9	Condición natural ± 3	Puede afectar la solubilidad de gases y la eficiencia de procesos biológicos de tratamiento.

Nota. Datos tomados de Pacifpetrol (2024).

4.3. Resultados de la entrevista.

Tabla 6.

Análisis detallado de la entrevista.

No.	Pregunta	Respuesta
1	¿Cuál es la importancia del tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera?	Reduce los posibles impactos ambientales negativos por descargas no controladas, contaminación a acuíferos cuando no existen los estudios y mantenimientos correspondientes, alteración de la calidad de los componentes ambientales. Permite que la operación sea sostenible y se reduzcan los riesgos industriales.
2	¿Qué métodos de tratamiento de aguas de formación son los más utilizados en la industria?	Tratamientos fisicoquímicos.
3	¿Podría explicar el proceso de separación física utilizado en el tratamiento de aguas de formación?	Aplicación de floculantes, separación por gravedad, filtrado.
4	¿Cuáles son las principales características químicas y físicas de las aguas de formación que requieren tratamiento?	Valores de conductividad eléctrica elevados, presencia de trazas de hidrocarburo, sedimentos, metales pesados. Dependiendo del proceso, pueden presentar altas temperaturas, pH entre 6-9 dependiendo de la formación.

No.	Pregunta	Respuesta
5	¿Qué tipo de contaminantes suelen encontrarse en las aguas de formación?	Metales pesados, trazas de hidrocarburo, sólidos, sales, sulfatos, carbonatos, entre otras.
6	¿Cómo afectan los contaminantes presentes en las aguas de formación al medio ambiente y a la salud pública?	Alteran la calidad del suelo y agua principalmente. El incremento de la salinidad en el agua o suelo puede afectar a tal punto de matar toda la biota de las áreas afectadas (descarga directa) y en los sitios de inmisión podría generar bioacumulación de metales pesados en especies existentes y la pérdida de calidad del componente por la acumulación de sedimentos, alteración de los procesos naturales como el ciclo de nitrógeno y la falta de transferencia de oxígeno. El daño a la salud humana estaría asociado por el consumo de agua contaminada o alimentos que hayan bioacumulado contaminantes en su organismo. La exposición directa a estos contaminantes también podría generar daños a la salud.
7	¿Qué tecnologías avanzadas se están utilizando para el tratamiento de aguas de formación?	Uno de los métodos que rompen el esquema de lo tradicional es la osmosis inversa, electrocoagulación que puede ser complementado con tratamientos fisicoquímicos según se requiera.
8	¿Cuál es la eficacia de los métodos biológicos en el tratamiento de aguas de formación?	El tratamiento biológico busca degradar los contaminantes mediante el uso de organismos o microorganismos. Cuando existen altas concentraciones de contaminantes no se recomienda esta técnica de tratamiento, se podría utilizar como método complementario en una fase terciaria de tratamiento en función del agente contaminante que se pretende tratar.

No.	Pregunta	Respuesta
9	¿Qué papel juegan los coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento químico de aguas de formación?	Permiten la separación de sólidos.
10	¿Qué beneficios ofrece la osmosis inversa en el tratamiento de aguas de formación?	Ayudaría a la reducción de salinidad.
11	¿Cómo se integra la sostenibilidad en los modelos de gestión para el tratamiento de aguas de formación?	Es una práctica sostenible el tratamiento de agua de formación considerando que estamos haciendo uso de los recursos sin comprometer los recursos de las próximas generaciones.
12	¿Podría describir un caso de estudio exitoso en la aplicación de técnicas avanzadas de tratamiento de aguas de formación?	No.
13	¿Qué desafíos se enfrentan al implementar nuevas tecnologías de tratamiento en campos petroleros?	Uno de los principales desafíos es la legislación existente, no hay una motivación obligatoria para tratamiento y descarga o reutilización de agua de formación, la mayoría de las normas se enfocan en la reinyección. Al no ser un requisito obligatorio no siempre se obtienen los recursos para la implementación de estas tecnologías.
14	¿Cómo se monitorea la calidad del agua tratada para asegurar su conformidad con las normativas ambientales?	Mediante muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorios acreditados.
15	¿Qué impacto tiene el uso de tratamientos avanzados en la reducción de la huella	Impacto ambiental positivo por la recuperación de este recurso.

No.	Pregunta	Respuesta
	ambiental de la industria petrolera?	
16	¿Cuáles son las principales limitaciones de los métodos convencionales de tratamiento de aguas de formación?	Los recursos.
17	¿Cómo se determina la viabilidad económica de un método de tratamiento específico?	Una herramienta son los estudios de tratabilidad a escala de laboratorio donde se ensayen diferentes tratamientos y se pueda generar una matriz de recursos que determine la viabilidad del proyecto.
18	¿Qué estrategias se están utilizando para promover la reutilización del agua tratada en la industria?	Incentivos verdes para buenas prácticas ambientales.
19	¿Cuál es la importancia de la educación y concienciación sobre el tratamiento adecuado de las aguas de formación?	Reducir el riesgo de contaminación al ambiente y daños a la salud.
20	¿Qué recomendaciones daría para mejorar los procesos de tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros?	Realizar un estudio de tratabilidad para cada caso.

Nota: Elaborado por los autores.

El análisis de las respuestas del experto de Pacifpetrol al cuestionario sobre el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera proporciona una visión detallada de las prácticas actuales, los desafíos y las oportunidades de mejora en los pozos de la sección Petrópolis. En primer lugar, se destaca la importancia del tratamiento de

aguas de formación para reducir el impacto ambiental, lo cual es fundamental en un contexto donde las operaciones petroleras pueden generar riesgos significativos para los recursos hídricos y los ecosistemas circundantes. La respuesta del ingeniero refleja que el tratamiento adecuado no solo mitiga los efectos negativos, sino que también contribuye a la sostenibilidad de las operaciones industriales, disminuyendo riesgos operacionales.

En cuanto a los métodos más utilizados, el experto menciona que los tratamientos fisicoquímicos son los más comunes en la industria. Estos métodos son efectivos para la separación de contaminantes como sólidos y metales pesados, y permiten abordar de manera eficiente algunos de los principales retos que plantea el tratamiento de aguas de formación. Sin embargo, es evidente que los tratamientos convencionales presentan limitaciones, especialmente en cuanto a la capacidad de eliminar contaminantes más persistentes, como las sales disueltas o los metales pesados en concentraciones elevadas. Este punto subraya la necesidad de innovar y mejorar los procesos para lograr un tratamiento más completo y sostenible.

El proceso de separación física descrito por el experto, que incluye la aplicación de floculantes, separación por gravedad y filtrado, es un método fundamental para la eliminación inicial de sólidos suspendidos y sedimentos en las aguas de formación. Aunque este método es eficaz para reducir la carga de contaminantes en las primeras etapas del tratamiento, es necesario complementarlo con otras tecnologías avanzadas que puedan eliminar compuestos más difíciles de tratar, como los hidrocarburos disueltos y los metales tóxicos. Esta respuesta refuerza la idea de que la integración de múltiples tecnologías es esencial para alcanzar un tratamiento integral y eficiente.

Las características químicas y físicas de las aguas de formación que requieren tratamiento, mencionadas por el ingeniero, incluyen elevados niveles de conductividad eléctrica, trazas de hidrocarburos, sedimentos y metales pesados. Estas características son comunes en las aguas de formación y requieren tratamientos específicos para reducir su concentración a niveles permisibles. Este diagnóstico es clave para definir las estrategias de tratamiento más apropiadas, ya que cada contaminante presenta un reto único y requiere una tecnología adecuada para su eliminación eficaz. Además, la presencia de altas temperaturas y un pH que puede variar según la formación geológica son factores que también influyen en la selección de las tecnologías de tratamiento más apropiadas.

Los principales contaminantes que suelen encontrarse en las aguas de formación, como metales pesados, hidrocarburos, sólidos y sales, representan un desafío tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Estos contaminantes pueden afectar gravemente la calidad del agua y el suelo, alterando los ecosistemas locales y generando riesgos para la biota y las personas expuestas a estas sustancias. El incremento de la salinidad y la bioacumulación de metales pesados en los organismos vivos son problemas que requieren atención urgente, ya que pueden tener efectos negativos a largo plazo, tanto en los ecosistemas como en la cadena alimentaria humana.

En relación con el impacto de los contaminantes en el medio ambiente y la salud pública, el experto señala que el aumento de la salinidad y la presencia de metales pesados pueden dañar gravemente la biota de las áreas afectadas, y que la bioacumulación de metales puede afectar tanto a la fauna como a los seres humanos que consuman alimentos contaminados. Este punto subraya la importancia de implementar un tratamiento exhaustivo que no solo se enfoque en la eliminación de los contaminantes visibles, sino también en aquellos que pueden acumularse en el ambiente y generar problemas a largo plazo.

Entre las tecnologías avanzadas utilizadas para el tratamiento de aguas de formación, el ingeniero menciona la osmosis inversa y la electrocoagulación. Estas técnicas ofrecen una alternativa innovadora frente a los métodos tradicionales, especialmente cuando se trata de reducir la salinidad y eliminar metales pesados. Sin embargo, es evidente que estas tecnologías, aunque eficaces, requieren una inversión significativa y su implementación puede enfrentar obstáculos, como la falta de motivación legislativa o la falta de recursos financieros en algunos casos, lo que plantea un desafío para su adopción a gran escala.

En cuanto a la eficacia de los métodos biológicos, el ingeniero aclara que estos son útiles como complemento en las fases terciarias de tratamiento, pero no son recomendables cuando las concentraciones de contaminantes son elevadas. Esta observación es relevante para el diseño de un modelo de gestión integral, ya que indica que los métodos biológicos deben ser considerados como parte de un proceso más amplio, que incluya tratamientos fisicoquímicos y tecnologías avanzadas para lograr resultados óptimos.

El papel de los coagulantes y floculantes en el tratamiento químico de aguas de formación es crucial para facilitar la separación de sólidos, pero es evidente que su uso debe estar complementado por tecnologías que puedan abordar contaminantes más difíciles de tratar. En este sentido, la osmosis inversa se presenta como una solución eficiente para reducir la salinidad, lo que es especialmente relevante en contextos donde las aguas de formación tienen altas concentraciones de sales disueltas.

La sostenibilidad, según el ingeniero, es un aspecto integral del tratamiento de aguas de formación. Este enfoque sostenible implica el uso racional de los recursos y la adopción de tecnologías que minimicen el impacto ambiental, sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. La implementación de prácticas sostenibles no solo mejora la calidad del tratamiento, sino que también puede generar beneficios económicos a largo plazo para las empresas petroleras que adopten modelos de gestión integral.

Finalmente, el experto menciona que uno de los principales desafíos para implementar nuevas tecnologías en los campos petroleros es la falta de legislación que obligue al tratamiento y reutilización del agua de formación. Este punto es crítico, ya que destaca la necesidad de una regulación más estricta para motivar a las empresas a adoptar tecnologías avanzadas que puedan reducir la huella ambiental y mejorar la sostenibilidad de las operaciones.

4.4. Modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación.

Modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera de la provincia de Santa Elena.

Objetivo del modelo:

Desarrollar un sistema integral para la gestión y tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera que optimice la eficiencia, reduzca el impacto ambiental y garantice la sostenibilidad a largo plazo.

Estructura del modelo:

1. Evaluación inicial y caracterización.

Acciones concretas:

- Realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de formación generadas en los pozos.
- Identificar los principales contaminantes, incluidos hidrocarburos, metales pesados, sales, sólidos y compuestos orgánicos.

Actividades:

- Recolección de muestras de agua de formación de cada pozo y su caracterización en laboratorio.
- Establecer la composición del agua de formación en términos de pH, conductividad, metales y niveles de salinidad.

Mediciones necesarias:

- Conductividad, pH, concentración de metales (Ba, Fe, Na), hidrocarburos totales de petróleo.

KPI:

- % de pozos con caracterización completada.
- Tiempo promedio de evaluación de calidad de agua.

2. Implementación de tecnologías de tratamiento.

Acciones concretas:

- Integrar tecnologías avanzadas como osmosis inversa, electrocoagulación, y oxidación avanzada junto con métodos tradicionales de separación física y química.

Actividades:

- Instalación de plantas de osmosis inversa para reducción de sales.
- Implementación de coagulantes y floculantes para la eliminación de sólidos suspendidos.
- Uso de oxidación avanzada para tratar hidrocarburos y compuestos orgánicos persistentes.

Mediciones necesarias:

- Concentración de sales antes y después del tratamiento.
- Reducción de sólidos totales después de la aplicación de floculantes.
- Nivel de hidrocarburos después de la oxidación avanzada.

KPI:

- % de reducción de sales post tratamiento.
- Eficiencia de remoción de hidrocarburos (% de reducción).
- Volumen de agua tratada que cumple con las normativas ambientales.

3. Monitoreo y control en tiempo real.**Acciones concretas:**

- Implementar sistemas de monitoreo continuo con sensores en línea para verificar la calidad del agua tratada en cada etapa del proceso.

Actividades:

- Instalación de sensores de conductividad, pH, metales pesados y hidrocarburos en las plantas de tratamiento.
- Automatización del monitoreo de parámetros clave en todas las etapas del tratamiento.

Mediciones necesarias:

- pH, conductividad, niveles de bario y otros metales pesados en tiempo real.

KPI:

- Frecuencia de mediciones automatizadas (número de mediciones por hora).
- % de eventos de alerta generados por parámetros fuera de norma.

4. Reutilización del agua tratada.**Acciones concretas:**

- Diseñar procesos para reutilizar el agua tratada en actividades industriales o agrícolas, o reinyección en pozos petroleros para mantener la presión.

Actividades:

- Establecer infraestructuras para la recolección y reutilización del agua tratada en procesos industriales o riego.
- Implementar un programa de monitoreo post reutilización para evaluar la calidad del agua reutilizada.

Mediciones necesarias:

- Volumen de agua tratada reutilizada (m³).

- Análisis post tratamiento para asegurar que el agua reutilizada cumple con los estándares de calidad.

KPI:

- % de agua reutilizada en lugar de descargada.
- Eficiencia de uso del agua (% de reducción en consumo de agua fresca).

5. Minimización de residuos y optimización energética.

Acciones concretas:

- Optimizar los procesos de tratamiento para minimizar la generación de residuos sólidos y reducir el consumo energético.

Actividades:

- Mejorar la eficiencia de los sistemas de filtración y deshidratación de lodos.
- Implementar energías renovables como solar o eólica para alimentar las plantas de tratamiento.

Mediciones necesarias:

- Consumo energético por metro cúbico de agua tratada.
- Volumen de residuos sólidos generados.

KPI:

- Reducción de costos energéticos (% de reducción de consumo de energía).
- % de reducción de residuos generados durante el proceso de tratamiento.

6. Cumplimiento regulatorio y reporte de normativas.

Acciones concretas:

- Garantizar que el agua tratada cumpla con todas las normativas locales, nacionales e internacionales.

Actividades:

- Elaboración de reportes periódicos de conformidad ambiental.
- Auditorías de cumplimiento normativo por entidades reguladoras.

Mediciones necesarias:

- % de cumplimiento normativo en auditorías.
- Concentración de contaminantes en descargas de agua post tratamiento.

KPI:

- % de auditorías satisfactorias.
- Número de incidentes de no conformidad.

7. Capacitación y desarrollo de personal.

Acciones concretas:

- Capacitar al personal en el uso de tecnologías avanzadas y en la operación eficiente de las plantas de tratamiento.

Actividades:

- Programas de formación técnica para operadores de plantas.
- Entrenamiento en gestión de sistemas automatizados de monitoreo y control.

Mediciones necesarias:

- Número de horas de capacitación por empleado.
- Competencia técnica alcanzada según evaluaciones post capacitación.

KPI:

- % de personal capacitado en tecnologías específicas.
- Reducción de errores operativos tras capacitación.

8. Monitoreo de impacto ambiental.

Acciones concretas:

- Evaluar continuamente el impacto ambiental del agua tratada en los ecosistemas locales.

Actividades:

- Estudios periódicos de calidad del suelo y agua en áreas cercanas a los puntos de descarga.
- Monitoreo de bioacumulación de metales pesados en la biota local.

Mediciones Necesarias:

- Calidad del agua y suelo post descarga.
- Niveles de metales pesados en la biota local.

KPI:

- % de reducción de contaminantes en áreas de impacto.
- Indicadores de salud ambiental (biodiversidad, calidad del suelo y agua).

9. Innovación y mejora continua.

Acciones concretas:

- Fomentar la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas de formación más eficientes y sostenibles.

Actividades:

- Colaboración con instituciones académicas y tecnológicas para el desarrollo de proyectos innovadores.
- Implementación de pruebas piloto con nuevas tecnologías en el tratamiento de aguas.

Mediciones necesarias:

- Número de proyectos de innovación en desarrollo.
- Eficiencia de nuevas tecnologías evaluadas.

KPI:

- % de proyectos piloto exitosos que se implementan a gran escala.
- Mejoras en la eficiencia operativa (% de aumento en la remoción de contaminantes).

10. Sostenibilidad y economía circular.**Acciones concretas:**

- Integrar el concepto de economía circular en la gestión del agua tratada y los residuos generados.

Actividades:

- Reutilización de lodos como enmiendas agrícolas (si es viable).
- Promover la reutilización del agua en diversas aplicaciones industriales.

Mediciones necesarias:

- % de residuos reutilizados o reciclados.
- Volumen de agua que es reincorporada en procesos industriales.

KPI:

- % de residuos convertidos en productos reutilizables.
- % de incremento en la reutilización del agua.

Este modelo de gestión integral establece un sistema robusto que abarca todas las etapas críticas del tratamiento de aguas de formación, desde la evaluación inicial hasta la sostenibilidad a largo plazo.

A continuación, se presenta una tabla que resume el modelo de gestión integral para el tratamiento de aguas de formación, incluyendo acciones concretas, actividades, mediciones necesarias y los KPI correspondientes:

Tabla 7.

Modelo de gestión integral.

Área del Modelo	Acciones Concretas	Actividades	Mediciones Necesarias	KPI
Evaluación inicial y caracterización.	Realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de formación.	Recolección y análisis muestras de laboratorio.	y pH, de conductividad, en concentración de metales, hidrocarburos totales.	% de pozos con caracterización completada, tiempo promedio de evaluación de calidad de agua.
Implementación de tecnologías de tratamiento.	Integrar tecnologías avanzadas como osmosis inversa, electrocoagulación y oxidación avanzada con métodos tradicionales.	Instalación de plantas sistemas de tratamiento.	de Reducción de sales, sólidos y de hidrocarburos antes y después del tratamiento.	% de reducción de sales y sólidos, eficiencia de remoción de hidrocarburos, volumen de agua tratada.
Monitoreo y control en tiempo real.	Instalar sistemas de monitoreo continuo para verificar la calidad del agua tratada en cada etapa.	Instalación de sensores de conductividad, metales pesados y otros parámetros.	de Frecuencia de mediciones automatizadas (cada hora), niveles de contaminantes en tiempo real.	Frecuencia de alertas generadas, % de eventos de alerta por parámetros fuera de norma.
Reutilización del agua tratada.	Diseñar procesos para reutilizar el agua tratada en actividades industriales o agrícolas.	Implementar infraestructura para la recolección o reutilización de agua.	Volumen de agua tratada reutilizada, y análisis post tratamiento para calidad de agua.	% de agua reutilizada vs descargada, eficiencia en la reutilización del agua (% de

Área del Modelo	Acciones Concretas	Actividades	Mediciones Necesarias	KPI
				reducción de consumo).
Minimización de residuos y optimización energética.	Optimizar procesos para reducir residuos y disminuir consumo energético.	Mejorar sistemas para de filtración y deshidratación de lodos, incorporar energías renovables.	Consumo energético por m ³ de agua tratada, volumen de residuos generados.	Reducción de consumo energético, % de reducción de residuos sólidos generados.
Cumplimiento regulatorio y reporte de normativas.	Asegurar que el agua tratada cumpla con las normativas locales, nacionales e internacionales.	Realización de auditorías de cumplimiento normativo elaboración de reportes.	de Concentración de contaminantes y post tratamiento, de informes auditoría ambiental.	% de auditorías satisfactorias, número de incidentes de no conformidad.
Capacitación y desarrollo de personal.	Capacitar personal en tecnologías avanzadas operación plantas tratamiento.	al Realizar en programas de formación y técnica de entrenamientos de operativos.	Número de horas de capacitación por empleado, y competencias técnicas alcanzadas.	% de personal capacitado, reducción de errores operativos post capacitación.

Área del Modelo	Acciones Concretas	Actividades	Mediciones Necesarias	KPI
Monitoreo de impacto ambiental.	Evaluar continuamente el impacto ambiental del agua tratada en los ecosistemas locales.	Monitoreo de la calidad del suelo y agua, estudios de bioacumulación en la biota.	de Calidad del suelo y agua post descarga, niveles de metales pesados en biota local.	% de reducción de contaminantes en áreas de impacto, indicadores de salud ambiental.
Innovación y mejora continua.	Fomentar investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas de formación.	la Colaborar con instituciones académicas para desarrollar nuevas tecnologías.	Número de proyectos de innovación desarrollo, eficiencia de nuevas tecnologías.	% de proyectos piloto exitosos implementados, mejoras en la eficiencia operativa (% de aumento en remoción).
Sostenibilidad y economía circular.	Integrar economía circular en la gestión de agua y residuos generados.	la Reutilizar lodos agrícolas (si es viable), promover la reutilización de agua.	lodos reutilizados, volumen de agua reincorporada en procesos de industriales.	% de residuos convertidos en productos reutilizables, incremento en la reutilización del agua tratada.

Nota: Elaborado por los autores.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se concluyó, que el diseño y el análisis del proceso de tratamiento de aguas de formación por medio de una gestión integral a los pozos de la sección Petrópolis, logra múltiples resultados con mucha relevancia para las empresas petroleras y la gestión ambiental en la provincia de Santa Elena. Como primer punto, se determina el procedimiento de aguas de formación eficaz para disminuir los efectos negativos vinculados a la sustracción de petróleo, específicamente con la aparición de contaminantes de alto riesgo como metales pesados o hidrocarburos.

Además, se verifica que los modelos de gestión integral deben tener un punto de vista multidisciplinario que considere desde la caracterización química de las aguas hasta el uso de tecnologías avanzadas de tratamiento. En la provincia de Santa Elena, las condiciones exclusivas de las aguas de formación, como su elevada salinidad y la participación de metales pesados, requieren alternativas tecnológicas alineadas, lo que demuestra la demanda de especialistas capacitados y de aportaciones en infraestructura para alcanzar las reglas internacionales.

Al incorporar la tecnología osmosis inversa, la electrocoagulación y el tratamiento biológico, aumentan el rendimiento del proceso de tratamiento de aguas. Estos avances, al fusionarse forman de una manera efectiva la eliminación de contaminantes presentes en el agua.

La viabilidad económica es clave para destacar. Dentro de las tecnologías modernas para su inicio es necesario una fuerte inversión, pero al largo plazo logran una productividad con el agua tratada, que se lograría utilizar en otras áreas agrícolas o industriales, demostrando la reducción de costos operativos y optimización a la sostenibilidad del procedimiento.

En condiciones de sostenibilidad, el tratamiento de aguas de formación resguarda el ambiente y potencia la representación de las empresas petroleras, mostrando su

dedicación con los procedimientos responsables y con la ejecución del reglamento ambiental más exigentes. Se comprende que la aplicación de estos modelos ayuda a competir en mercados internacionales donde la gestión ambiental es una prioridad.

Asimismo, se realizó un análisis sobre las ventajas de este modelo que destacan el ámbito local, ya que su desarrollo puede ser replicada en otros sectores del país, formando un criterio para la industria petrolera en Ecuador y fomentando un cambio hacia una industria comprometida con la sostenibilidad.

Finalmente, los resultados del modelo de gestión integral radican en la cooperación del sector privado, las autoridades gubernamentales y las comunidades locales. Con la ayuda de una acción en conjunto es viable desarrollar resultados que no solo sean efectivos de manera técnica, sino que también ayude con la protección del medio ambiente y al bienestar social.

5.2. Recomendaciones.

A partir de la culminación del trabajo y planificación del modelo de gestión integral, se sugiere como primer punto avanzar con la caracterización periódica de las aguas de formación. La fluctuación en las concentraciones de contaminantes, necesitan un monitoreo continuo para ajustar los procesos de tratamiento y confirmar que los sistemas aplicados logren mantener su productividad a lo largo del tiempo.

Es crucial que se adquieran las tecnologías con un mayor desarrollo en el área de tratamiento de aguas de formación, como la osmosis inversa y la electrocoagulación, no con el fin de limitarlo con los pozos de la sección Petrópolis, se debe incorporar en todos los pozos de la industria petrolera de la provincia de Santa Elena. Estas tecnologías demuestran su eficiencia en la reducción de metales, sales y sólidos. Aunque es alto el costo inicial, la sostenibilidad y eficiencia operativa es rentable a largo plazo.

Otro elemento fundamental es el desarrollo de un sistema de monitoreo automatizado y en tiempo real que examine de manera continua la calidad del agua tratada. Dicho sistema posibilitará detectar de forma inmediata cualquier irregularidad en los niveles de contaminantes, lo que prevendrá descargas sin control que puedan surgir

resultados negativos en el medio ambiente. El manejo de las plantas de tratamiento se conserve dentro de los límites permitidos por la normativa, asegurando la ejecución legal y la estabilidad operativa.

Una sugerencia primordial es impulsar la reutilización del agua tratada en múltiples aplicaciones industriales y agrícolas. Sacar provecho del agua tratada para la irrigación o la reinyección en pozos petroleros puede reducir la presión sobre los suministros hídricos naturales.

El estudio de la viabilidad económica para el estudio de costos y beneficios en las tecnologías de tratamientos recomendadas. La electrocoagulación y la osmosis inversa, tiene un fuerte costo inicial, pero el potencial para la reducción de sales y eliminación de contaminantes justifica la inversión a largo plazo. Es fundamental que cada tecnología sea examinada no solo de la vista técnica, sino también de manera económica, para garantizar que su ejecución sea rentable para la industria petrolera.

En resumen, es esencial incorporar a los grupos locales en los procedimientos de gestión ambiental. La sensibilidad en los procedimientos y el diálogo abierto con los grupos cercanos a los pozos petroleros aportarán a mejorar el enfoque público de la industria, aparte de reducir posibles disputas vinculados con el uso del agua y la protección del medio ambiente. Se propone que las empresas proporcionen proyectos relacionando el compromiso social que integre la gestión de aguas de formación como parte de su obligación con la sostenibilidad.

Por último, las recomendaciones engloban tanto el despliegue de tecnologías, el seguimiento continuo y la reutilización del agua. Solo por medio de una composición de estos fundamentos será creíble implementar una gestión integral eficaz y duradero del tratamiento de aguas de formación en la provincia de Santa Elena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almansa Manrique, É. F., Velásquez Penagos, J. G., Gutiérrez Parrado, S. L., Rodríguez Yzquierdo, G. A., González Rodríguez, R. G., & Peláez Montoya, J. A. (2020). Uso de aguas de producción tratadas de la industria petrolera en sistemas agrícolas y agropecuarios. In *Uso de aguas de producción tratadas de la industria petrolera en sistemas agrícolas y agropecuarios*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.institutional.5461642>
- Álvarez, N., Rodríguez, Á., Pompa, P., Reyes, M., & Franco, D. (2022). Impacto Ambiental De La Industria Petrolífera De Santiago De Cuba. Caracterización. *Tecnología Química*, XXVII(2).
- Dávila, J. (2024). *PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9492/4/76990-2024-I-GA.pdf>
- Camacho, L., Ortiz, D., Rodríguez, J., & Sinning, R. (2023). *Un estudio de caso de las acciones de Noruega para entrar en una senda de desarrollo sostenible desde 2015*. Obtenido de https://www.uexternado.edu.co/wp-content/uploads/2024/04/3_Noruega_Camacho-L.-Ortiz-D.-Rodriguez-J.-Sinning-R.pdf
- CEPAL. (2024). Estudio Económico de America Latina y el Caribe Colombia. *Estudio Económico de America Latina y El Caribe Colombia*. <https://doi.org/https://www.cepal.org/es>
- Fabregas, J. (2023). *SIGMADAF*. Obtenido de Reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en las aguas residuales.
- Herry. (s.f.). *Instituto de agua*. Obtenido de <https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/proceso-de-la-filtracion-del-agua/filtracion-de-agua/>
- Huaman Vilca, S., Lucen, M., Paredes Vite, M., & Changanaqui Alfaro, D. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la Laguna Marvilla en los Pantanos de Villa

- (Lima – Perú). *South Sustainability*. <https://doi.org/10.21142/ss-0102-2020-019>
- IEA. (2024). *Agencia Internacional de Energía (IEA)*. <https://doi.org/https://www.iea.org/>
- Jaimes Urbina, J. A., & Vera Solano, J. A. (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. *Informador Técnico*, 84(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.2305>
- Leopoldo Pedro Lucio Simisterra Chillambo. (2018). Análisis de productos químicos para la separación del agua en el tratamiento del petróleo para el mejoramiento de la producción petrolera en el campo Lago Agrio. *UTC*. <https://doi.org/http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7091/1/MUTC-000084.pdf>
- López, M., Castellanos, O., Reynoso, F., Castañeda, M., Mendoza, J., Sosa, C., & Muñiz, B. (2021). *Universidad Tecnológica Equinoccial*. Obtenido de Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572268461005/html/>
- López-Hernández, D., Hernández, C., Liendo, F., Urich, J., & Vallejo-Torres, O. (2020). EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE POZOS PETROLEROS SOBRE LOS SUELOS DE SABANAS UBICADAS CERCA DE EL FURRIAL, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/rica.53600>
- Maps, G. (2024). *Google Maps*. 4699519. <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>
- Mazille, F., & Spuhler, D. (2020). *SSWM*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>
- Ministerio de Energía. (2024). *Ministerio de Recursos Naturales no Renovables*. <https://doi.org/https://www.recursosyenergia.gob.ec/>

- Nápoles, J., Rodríguez, S., Liuber, S. y, & Ábalos, A. (2021). Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos Total organic extract decrease in contaminated soil of hydrocarbons. *Tecnología Química Versión ISSN 2224-6185. RTQ, vol.35.*
- Popayán Angélica. (2021). *Estudio de diferentes técnicas de remoción de aceites en aguas residuales provenientes de la industria petrolera.* https://doi.org/http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5469/1/Popay%C3%A1n_2021_TG.pdf
- Rodríguez, T. (2003). El papel de los microorganismos en labiodegradación de compuestos tóxicos. *ecosistemas* . Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/540/54012219.pdf>
- Santa Jaimes, J., Serrano, M., & Stashenko, E. (2021). Análisis comparativo de diferentes métodos de extracción de hidrocarburos presentes en aguas residuales industriales. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 2(3).*
- S.r.l, M. W. (2024). *MITA.* Obtenido de <https://www.mitawatertechnologies.com/es/tecnologias/tratamientos-biologicos/#:~:text=El%20tratamiento%20biol%C3%B3gico%20es%20una,en%20suspensi%C3%B3n%20en%20el%20agua.>
- SAS, S. (2024). *SYNERTECH.* Obtenido de [https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/sistema-de-flotacion-por-aire-disuelto-daf#:~:text=La%20flotaci%C3%B3n%20por%20aire%20disuelto%20\(DAF\)%20es%20un%20proceso%20de,el%20agua%20a%20presi%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica.](https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/sistema-de-flotacion-por-aire-disuelto-daf#:~:text=La%20flotaci%C3%B3n%20por%20aire%20disuelto%20(DAF)%20es%20un%20proceso%20de,el%20agua%20a%20presi%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica.)
- Tonato Soria, P. F., & Brito, H. (2021). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Totoras, provincia de Tungurahua. In *Facultad de Ciencias: Vol. Bachelor.*
- Tuset, S. (2024). *Condorchem Enviro Solutions.* Obtenido de <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>

ANEXOS

Anexo A – Formato de encuesta.

Cuestionario sobre el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera.

Objetivo:

El presente cuestionario tiene como objetivo recolectar información relevante sobre los métodos, tecnologías y prácticas empleadas en el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera. La información obtenida será utilizada para evaluar el proceso de tratamiento y proponer innovaciones técnicas que optimicen la eficiencia del tratamiento y reduzcan el impacto ambiental.

Instrucciones:

Estimado(a) participante, agradecemos su valiosa colaboración en este estudio. A continuación, encontrará una serie de preguntas relacionadas con el tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera. Le solicitamos responder cada pregunta de manera clara y detallada, basándose en su experiencia profesional y conocimientos técnicos. No hay respuestas correctas o incorrectas, y la información proporcionada será tratada de manera confidencial y utilizada exclusivamente con fines académicos.

Dirigido a:

Ingenieros y profesionales con experiencia en la gestión y tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera.

Preguntas:

1. ¿Cuál es la importancia del tratamiento de aguas de formación en la industria petrolera?
2. ¿Qué métodos de tratamiento de aguas de formación son los más utilizados en la industria?
3. ¿Podría explicar el proceso de separación física utilizado en el tratamiento de aguas de formación?

4. ¿Cuáles son las principales características químicas y físicas de las aguas de formación que requieren tratamiento?
5. ¿Qué tipo de contaminantes suelen encontrarse en las aguas de formación?
6. ¿Cómo afectan los contaminantes presentes en las aguas de formación al medio ambiente y a la salud pública?
7. ¿Qué tecnologías avanzadas se están utilizando para el tratamiento de aguas de formación?
8. ¿Cuál es la eficacia de los métodos biológicos en el tratamiento de aguas de formación?
9. ¿Qué papel juegan los coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento químico de aguas de formación?
10. ¿Qué beneficios ofrece la osmosis inversa en el tratamiento de aguas de formación?
11. ¿Cómo se integra la sostenibilidad en los modelos de gestión para el tratamiento de aguas de formación?
12. ¿Podría describir un caso de estudio exitoso en la aplicación de técnicas avanzadas de tratamiento de aguas de formación?
13. ¿Qué desafíos se enfrentan al implementar nuevas tecnologías de tratamiento en campos petroleros?
14. ¿Cómo se monitorea la calidad del agua tratada para asegurar su conformidad con las normativas ambientales?
15. ¿Qué impacto tiene el uso de tratamientos avanzados en la reducción de la huella ambiental de la industria petrolera?
16. ¿Cuáles son las principales limitaciones de los métodos convencionales de tratamiento de aguas de formación?

17. ¿Cómo se determina la viabilidad económica de un método de tratamiento específico?
18. ¿Qué estrategias se están utilizando para promover la reutilización del agua tratada en la industria?
19. ¿Cuál es la importancia de la educación y concienciación sobre el tratamiento adecuado de las aguas de formación?
20. ¿Qué recomendaciones daría para mejorar los procesos de tratamiento de aguas de formación en los pozos petroleros?

Agradecimiento:

Le agradecemos de antemano por su tiempo y por compartir su conocimiento en este tema crucial para el desarrollo sostenible de la industria petrolera. Su participación contribuirá significativamente a los objetivos de esta investigación.

Confidencialidad:

Toda la información proporcionada será tratada de manera confidencial y utilizada únicamente para fines académicos dentro del marco de este estudio.