

**Evaluación de soluciones para mejorar la clarificación del agua en la producción de crudo:
Un enfoque con herramientas y técnicas usadas en la gestión de proyectos**

Orlando Giraldo Diaz

Fernando Ballén Cárdenas

Asesor

Edward Fernando Toro Perea

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Maestría en Gerencia de Proyectos

2024

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mi familia, a mi esposa Gisel y a mi hijo Phillippe los motores de mi vida, a mis amigos, compañeros de trabajo, conocidos, compañeros de estudio y tutores quienes me han apoyado durante todo el proceso de aprendizaje de la maestría en gerencia de proyectos. - Orlando Giraldo

Dedico este hito a mi familia -Yolanda, quien como esposa me dio el push para trabajarle a lo requerido, y a los Chefos que también me apoyaron con su entusiasmo. - Fernando Ballén

Agradecimientos

Agradecimientos de Orlando

Al culminar esta importante etapa de mi vida, no puedo evitar sentir una profunda gratitud hacia cada una de las personas que estuvo ahí con sus palabras de aliento, su apoyo incondicional y su compañía en los momentos difíciles han sido fundamentales para que hoy pueda celebrar este logro.

A mis padres, a mi esposa Gisel y a mi hijo Phillippe gracias por ser mi pilar y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis amigos, gracias por cada risa, por cada consejo y por ser mi segunda familia. A mis profesores, gracias por compartir su conocimiento y por inspirarme a ser mejor cada día. De corazón, gracias por ser parte de esta aventura.

Agradecimientos de Fernando

Estoy muy agradecido con nuestro tutor el Ing. MSc. Edward Fernando Toro Perea, quien con sus conocimientos nos orientó y motivó en el estructuramiento del documento proyecto de grado de manera adecuada, agradecer a los directivos de la maestría y reconocer a la UNAD como una institución formadora de líderes.

Resumen

El documento tiene como finalidad presentar un proyecto que se introduce en el análisis de las estrategias, herramientas y métodos de gerencia de proyectos para la evaluación y el mejoramiento de soluciones en el proceso de clarificación del agua que se produce en los campos petroleros maduros. Para lo anterior, se hará la implementación de la matriz DOFA, en aras de establecer con mayor asertividad los diversos factores que impactan en la problemática según las diferentes oportunidades, debilidades, fortalezas y amenazas que se obtienen del estudio sobre la empresa objeto de estudio. Siguiendo lo anterior, se contempla el uso de herramientas para la recolección, tabulación, análisis y divulgación de datos con la respectiva selección adecuada según su finalidad y en relación con el fin del proceso. También, se espera que lleve a la empresa a integrar procesos que se anticipen o minimicen las amenazas del medio, el fortalecimiento de las debilidades, el potenciamiento de las fortalezas internas y el real aprovechamiento de las oportunidades, dando como resultado un plan de trabajo conjunto e integrado a todo nivel de la empresa. Finalmente, se recalca la importancia de impactar los procesos y tecnologías actuales que se tienen en la clarificación del agua en la producción de crudo, por ello se hace necesario ordenar de forma lineal y escalonada las distintas etapas que se deben seguir en su desarrollo, vinculando las diversas estrategias y herramientas que aporta la gerencia de proyectos con el propósito de obtener un producto que beneficie a nivel nacional las empresas operadoras en la producción de crudo.

Palabras Clave: Aceite, Agua, Productos Químicos, Clarificación, Rompedor de emulsión Inversa.

Abstract

The purpose of this document is to present a project that is introduced into the analysis of strategies, tools and methods of project management for the evaluation and improvement of solutions in the water clarification process that occurs in mature oil fields. To this end, the implementation of the SWOT matrix will be carried out, in order to establish with greater assertiveness the various factors that impact the problem according to the different opportunities, weaknesses, strengths and threats obtained from the study of the company under study.

Following the above, the use of tools for the collection, tabulation, analysis and dissemination of data is contemplated with the respective appropriate selection according to its purpose and in relation to the end of the process. Also, it is expected that it will lead the company to integrate processes that anticipate or minimize threats from the environment, the strengthening of weaknesses, the enhancement of internal strengths and the real use of opportunities, resulting in a joint and integrated work plan at all levels of the company. Finally, the importance of influencing the current processes and technologies used in water clarification in crude oil production is emphasized. Therefore, it is necessary to organize in a linear and staggered manner the different stages that must be followed in its development, linking the various strategies and tools provided by project management with the purpose of obtaining a product that benefits the operating companies in crude oil production at a national level.

Keywords: Oil, Water, Chemical Products, Clarification, Inverse Emulsion Breaker.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Justificación	12
Definición del Problema	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
Marco Referencial	15
Marco Conceptual	15
Marco Teórico	17
Marco Histórico	18
Estado del Arte	21
Marco Legal	22
Metodología	24
Tipo y Enfoque de Investigación	24
Procedimiento de la Investigación	24
Fase 1: Diagnóstico	25
Fase 2: Tratamiento	26
Fase 3: Valoración	26
Diagnóstico	27
Diagnóstico indirecto	27
Diagnóstico directo	41

Tratamiento	52
Valoración	64
Conclusiones.....	73
Recomendaciones	75
Bibliografía	76

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Kpis Para el Campo 1</i>	29
Tabla 2 <i>Kpis Para el Campo 2</i>	31
Tabla 3 <i>Histórico de Datos de Producción Campo1: Marzo 2024</i>	33
Tabla 4 <i>Histórico de datos de Producción Campo2: Marzo 2024</i>	36
Tabla 5 <i>Datos de Producción Campo1: 04 Abril 2024</i>	43
Tabla 6 <i>Datos Calidad del Agua Campo1: 04 Abril 2024</i>	44
Tabla 7 <i>Datos de Consumo del Clarificador AB Campo1: 04 Abril 2024</i>	45
Tabla 8 <i>Datos de Producción Campo2: 04 Abril 2024</i>	46
Tabla 9 <i>Datos Calidad del Agua Campo2: 04 Abril 2024</i>	47
Tabla 10 <i>Datos de Consumo del Clarificador YZ Campo2: 04 Abril 2024</i>	48
Tabla 11 <i>Perfiles Para el Juicio de Expertos</i>	54
Tabla 12 <i>Preguntas Para el Juicio de Expertos</i>	55
Tabla 13 <i>Respuesta a las Preguntas Para el Juicio de Expertos</i>	57
Tabla 14 <i>Prueba Clarificación Campo 1</i>	67
Tabla 15 <i>Prueba Clarificación Campo 2</i>	70

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama de Proceso Campo 1</i>	28
Figura 2 <i>Diagrama de Proceso Campo2</i>	30
Figura 3 <i>PPM del Clarificador AB Vs TSS del Agua de Inyección Para el Campo1</i>	38
Figura 4 <i>PPM del Clarificador AB Vs O/W del Agua de Inyección Para el Campo1</i>	39
Figura 5 <i>PPM del Clarificador YZ Vs TSS del Agua de Inyección Para el Campo 2</i>	40
Figura 6 <i>PPM del Clarificador YZ Vs O/W del Agua de Inyección Para el Campo 2</i>	41
Figura 7 <i>Matriz DOFA</i>	49
Figura 8 <i>Matriz DOFA Extendida</i>	52
Figura 9 <i>Gráfica Respuestas Juicio de Expertos</i>	59
Figura 10 <i>Matriz de Decisión - No Ponderada</i>	64
Figura 11 <i>Diagrama de Pareto Juicio de Expertos</i>	65
Figura 12 <i>Remoción TSS Campo 1</i>	68
Figura 13 <i>Remoción O/W Campo 1</i>	69
Figura 14 <i>Remoción TSS Campo 2</i>	71
Figura 15 <i>Remoción O/W Campo 2</i>	72

Lista de Apéndice

Apéndice A <i>Matriz de Criticidad</i>	82
Apéndice B <i>Formato Preguntas Juicio de Expertos</i>	83
Apéndice C <i>Formato Aprobación Preguntas Juicio Expertos</i>	84
Apéndice D <i>Respuestas Preguntas Juicio de los Expertos</i>	84
Apéndice E <i>Cantidad de Respuestas Juicio de Expertos</i>	85
Apéndice F <i>Cargo de Juicio de Expertos</i>	85
Apéndice G <i>Respuesta a la Pregunta 1 Juicio de Expertos</i>	86
Apéndice H <i>Respuesta a la Pregunta 2 Juicio de Expertos</i>	86
Apéndice I <i>Respuesta a la Pregunta 3 Juicio de Expertos</i>	86
Apéndice J <i>Respuesta a la Pregunta 4 Juicio de Expertos</i>	87
Apéndice K <i>Respuesta a la Pregunta 5 Juicio de Expertos</i>	87
Apéndice L <i>Respuesta a la Pregunta 6 Juicio de Expertos</i>	88
Apéndice M <i>Respuesta a la Pregunta 7 Juicio de Expertos</i>	88
Apéndice N <i>Respuesta a la Pregunta 8 Juicio de Expertos</i>	88
Apéndice O <i>Respuesta a la Pregunta 9 Juicio de Expertos</i>	89
Apéndice P <i>Respuesta a la Pregunta 10 Juicio de Expertos</i>	89
Apéndice Q <i>Respuesta a la Pregunta 11 Juicio de Expertos</i>	90
Apéndice R <i>Respuesta a la Pregunta 12 Juicio de Expertos</i>	90
Apéndice S <i>Respuesta a la Pregunta 13 Juicio de Expertos</i>	90
Apéndice T <i>Respuesta a la Pregunta 14 Juicio de Expertos</i>	91

Introducción

En la industria petrolera, los estudios sobre el tratamiento de aguas producidas durante la extracción de crudo han sido un tema de interés enfocado a los efectos de contaminación medio ambiental. Lo anterior, ha motivado el desarrollo de investigaciones que permiten reflexionar, principalmente, sobre los diferentes enfoques acerca del tratamiento del agua que principalmente se basan en proceso físico y químico. Sin embargo, es poca la literatura que centra su atención en los aspectos técnicos y tecnológicos que innoven en el seguimiento y control de la extracción de crudo. En consecuencia, las pérdidas económicas y de aprovechamiento de los recursos se incrementa por la poca eficiencia en la clarificación de las aguas.

La DOFA como herramienta de apoyo a la investigación, permite que la formulación de proyectos sea más precisa, óptima, eficiente y detallada en su aplicación durante el proceso de clarificación del agua en la industria petrolera. En la sección tres -03 se encontrará la definición del problema de investigación; en los apartados 4, 5 y 6 podrán observarse los objetivos, la justificación y el marco conceptual, respectivamente; para los apartados 7, 8 y 9 se establece la investigación y sus momentos, así como los análisis realizados sobre cada resultado obtenido durante las fases de aplicación. Finalmente, se encontrarán evidencias de los diagnósticos, tablas, árboles, diagramas y las conclusiones a las que se ha logrado llegar con la investigación. Se adjuntan las referencias bibliográficas al final del documento.

Justificación

El agua en la producción de petróleo en campos maduros contiene alrededor del 8% de trazas de crudo inherentes que no pueden separarse eficientemente, ello debido a que no se cuenta con tecnologías avanzadas, se tienen equipos obsoletos y los productos químicos empleados no son eficientes, lo cual es una problemática para la rentabilidad y sostenibilidad del negocio de las compañías operadoras, ya que se disminuirá la producción y se elevarán los costos operativos.

Por consiguiente, al implementar, monitorear y controlar mediante el diagrama de Gantt, las soluciones de mejoramiento en la clarificación del agua de producción de petróleo en estos campos maduros, permite identificar los aspectos negativos y establecer un enfoque de mejora continua en los procedimientos y procesos que se llevan a cabo, impactando positiva y directamente los campos de producción de crudo, así mismo se abren oportunidades de negocio rentable para aquellas compañías que descartaban esta unidad de negocio por esta razón y la realización de procesos desgastantes e improductivos.

Cabe resaltar que, con la implementación de esta solución en la clarificación del agua, las compañías operadoras mediante análisis en tablas Excel de indicadores y la matriz DOFA, se interesarían más en incorporarlas como generación de valor, ya que incrementaría la producción de petróleo a bajos costos y tener una operación libre de incidentes ambientales.

Planteamiento del Problema o Fundamentación

Definición del Problema

El presente proyecto se ha planteado abordar la baja eficiencia en la clarificación del agua en la producción de crudo. Lo anterior, dado que se hace complicado este proceso por el bajo uso de tecnologías actualizadas en la mayoría de los campos maduros; adicionalmente, los equipos son obsoletos y los productos químicos que se usan son de baja eficiencia, lo que conlleva a las compañías operadoras a tener pérdidas de producción ya que parte del crudo contenido en el agua producida no puede separarse eficientemente. Como consecuencia, una gran cantidad de agua no es clarificada como es requerido, elevando los costos de producción y lo poco rentable que resulta el negocio para una empresa que desee obtener ganancias significativas o al mantenerse operativa en el campo.

Por lo tanto, surge la necesidad de realizar una evaluación para mejorar la clarificación del agua en la producción de crudo en campos maduros, la cual estará referenciada por el uso de las herramientas que facilita la gerencia de proyectos, contemplando que esta brinda la concepción de efectuar un proyecto prospero, con unos resultados de impacto significativo. De igual manera, la pregunta problema de la que nace este interés investigativo es ¿Cómo con el uso de las herramientas de la gerencia de proyectos se puede sustentar una solución en la mejora de la clarificación del agua de producción de crudo, con el fin de determinar un modelo de gestión de mejoramiento en los campos petroleros maduros?

Objetivos

Objetivo General

Ajustar el proceso de la clarificación del agua producida y éxito operativo de la empresa operadora petrolera

Objetivos Específicos

Realizar el diagnóstico de la clarificación del agua durante la producción de crudo

Identificar soluciones viables y eficientes en el mejoramiento de la clarificación del agua en la producción de crudo

Analizar las mejoras implementadas en la clarificación del agua durante la producción de crudo

Marco Referencial

Se hace una recopilación bibliográfica de los antecedentes del tema de investigación referido a teorías, herramientas, revisiones, estudios previos, entre otros, los cuales sustentan el tema del trabajo aplicado.

Marco Conceptual

En el presente proyecto se trabajará con una serie de técnicas y/o herramientas pertinentes a la gerencia de proyectos, con el objetivo de desarrollar un proceso factible, viable y eficiente. Por lo tanto, a continuación, se mencionarán las técnicas implementadas para la fase inicial del proyecto las cuales fueron:

Diagrama de Gantt

Esta herramienta ha brindado la posibilidad de organizar de manera detallada las diversas actividades que se han efectuado en el transcurso del proyecto, los cuales permiten que se realice en fases claramente identificables, evitando que se prolongue la finalización de este. Un hito podría ser la producción de un documento, la realización de una reunión o el producto final de un proyecto. Los hitos son tareas de duración cero. (Escamilla P. & Álvarez E. 2019. p. 12).

Matriz DOFA

La matriz DOFA conocida por algunos como FODA, y SWOT en inglés, es una herramienta de gran utilidad para entender y tomar decisiones en toda clase de situaciones en negocios y empresas. DOFA es el acrónimo de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas. Los encabezados de la matriz proveen un buen marco de referencia para revisar la estrategia, posición y dirección de una empresa, propuesta de negocios, o idea. (López J. s.f. p. 3).

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado curva 80%-20%, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha. Permite, pues, asignar un orden de prioridades, afirmando que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de este efecto. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto -pocos vitales, muchos triviales-, es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los “pocos vitales” a la izquierda y los “muchos triviales” a la derecha. (Escamilla P. & Álvarez E. 2019. p. 15).

Juicio de Expertos

El juicio de expertos es un método de validación útil para verificar la fiabilidad de una investigación que se define como “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez, 2008:29). Tras someter un instrumento de cotejo a la consulta y al juicio de expertos éste ha de reunir dos criterios de calidad: validez y fiabilidad.

La validez de contenido se establece con frecuencia a partir de dos situaciones, una que atañe al diseño de una prueba y, la otra, a la validación de un instrumento sometido a procedimientos de traducción y estandarización para adaptarlo a significados culturales diferentes. Es aquí donde la tarea del experto se convierte en una labor fundamental para eliminar aspectos irrelevantes, incorporar los que son imprescindibles y/o modificar aquellos que lo requieran.

Matriz de Decisiones No Ponderada

Es una herramienta que busca poder elegir la mejor opción considerando múltiples factores. Esta es una de las matrices más conocidas para llevar a cabo la toma de decisiones en una empresa, un proyecto o, por qué no, en nuestra vida cotidiana. Sin embargo, usualmente se toma a la ligera y no tiene en cuenta todos los factores que afectan el resultado de una decisión, por lo tanto, se realiza una evaluación incompleta de la situación (Toledo, 2020).

Marco Teórico

El enfoque se describe utilizando el Árbol de Problemas, el Árbol de Objetivos y el Árbol de justificación como herramienta para abordar los problemas y encontrar soluciones de manera sistemática. El Árbol de Problemas ayuda a identificar la causa raíz de un problema, el Árbol de Objetivos ayuda a definir metas y estrategias para resolverlo, y el Árbol de Justificación permite evaluar y justificar las decisiones tomadas durante el proceso (Aldunate, 2088). Estas metodologías proporcionan un marco sólido para el análisis y la toma de decisiones.

Las herramientas de análisis informacional son fundamentales para comprender y abordar los datos recopilados.

La matriz DOFA es una herramienta que identifica los puntos críticos del proceso al analizar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades, lo que permite desarrollar estrategias para enfrentar las adversidades (González-Muñoz, 2023).

El diagrama de Pareto es una herramienta que destaca la importancia del análisis de las causas y consecuencias, demostrando que el 80% de las consecuencias provienen del 20% de las causas. Para su desarrollo, se utiliza un diagrama de barras que muestra los ítems prioritarios en orden descendente, lo que facilita la identificación de áreas de mejora y la planificación de acciones correspondientes.

El diagrama de Gantt es una herramienta organizacional y estructural que permite la visualización de actividades, duración, valor, responsables y relaciones en un cronograma. Es útil para mantener un seguimiento ordenado del proyecto, ya sea en etapas de planeación, ejecución o cierre, proporcionando una línea base para optimizar los procesos y evitar desviaciones.

La evaluación mediante el juicio de expertos, método de validación cada vez más utilizado en la investigación, “consiste, básicamente, en solicitar a una serie de personas la demanda de un juicio hacia un objeto, un instrumento, un material de enseñanza, o su opinión respecto a un aspecto concreto” (Cabero y Llorente, 2013:14). Se trata de una técnica cuya realización adecuada desde un punto de vista metodológico constituye a veces el único indicador de validez de contenido del instrumento de recogida de datos o de información (Escobar Pérez, 2008); de ahí que resulte de gran utilidad en la valoración de aspectos de orden radicalmente cualitativo.

Marco Histórico

Durante el desarrollo del proyecto se definieron los objetivos, seleccionando para ello herramientas de la gerencia de proyectos que permitieran cumplir con lo requerido, de las cuales se utilizaron las siguientes herramientas:

Matriz DOFA

Se originó en la década de 1960–1970 (Humphrey, 2004) época en la que el Instituto de Investigación de la Universidad de Stanford (SRI), designó al grupo constituido por Marion Doshier, Dr. Otis Benepe, Albert Humphrey, Robert Stewart y Birger Lie, para que, con los fondos provistos por las empresas de la revista Fortune determinaran las razones por las cuales fallaba la planificación corporativa de las empresas, seguido de ello esta herramienta se clasificó en cuatro variables las cuales eran modificables, siendo denominadas, SOFT (Satisfactory, Opportunity, Fault y Threat). Más sin embargo este nombre fue modificado posteriormente

llegando al que hoy se conoce, adicionalmente cabe recalcar que puede ser contemplado en tres - 03 niveles (Proctor, 1999), el interno, el microentorno y el macroentorno.

Diagrama de Gantt

Este diagrama fue creado por Henry Laurence Gantt a principios del siglo XX. El desarrollador puso en marcha esta técnica con el fin de establecer una relación entre tiempo y carga de trabajo. De este modo, los proyectos complejos -incluyen más de 25 actividades- pueden ser visualizados a través de la tarea más costosa y reflejará los plazos, la asignación de recursos y los costes presupuestarios, bien lo menciona (Pastor, 2011) “los diagramas de Gantt son ayudas gráficas y visuales, útiles en aspectos de planificación y programación, monitoreo y control”. Por tanto, la gráfica de Gantt es una forma sencilla de planificar los proyectos teniendo en cuenta todos los factores determinantes.

Así, la empresa puede prever y organizar todos los movimientos de la compañía. Se demuestra una conclusión asertiva referente a la implementación de la herramienta en la cual destaca (Guerrero Chanduvi Dante, 2020) que “el diagrama de Gantt cumple con el 60% de las consideraciones necesarias, para la planificación, monitoreo y control de proyectos”, siendo un aspecto en el cual el cronograma visualiza una serie de rutas críticas de las actividades en consecución, aportando mayor grado de verificación al proyecto.

Mediante el análisis de las actividades, identificando de tal manera cuales de estas requieren de ser efectuadas con antelación y cuales deben de realizarse de manera conjunta; se hace fundamental contemplar la importancia de conllevar un proceso estructurado en el proyecto, teniendo en cuenta que de esta manera se evitaren posibles retardos en los plazos de ejecución y brindaran viabilidad, ordenamiento y una línea base de seguimiento de este.

Esta herramienta brinda la posibilidad de organizar de manera detallada las diversas actividades que se efectuarán en el transcurso del proyecto, (Hinojosa, M. A. (2003). Diagrama de Gantt. Recuperado el, 1), este proceso se monitorea en una gráfica que se va diligenciando según su avance y determinar mediante la curva "S" adelantos y/o atrasos y con esta información, definir las acciones necesarias para mantener la línea base estimada del alcance del proyecto.

Diagrama de Pareto

Dando sus inicios en 1909 con Vilfredo Pareto (1848 – 1923) mediante la publicación de resultados de sus estudios sobre la distribución de la riqueza, observando que el 80% de la misma se encontraba concentrada en el 20% de la población. Siendo seguido de este suceso que Juran, en su proceso de edición de la "Manual de Control de la Calidad" en el cual figuraban numerosos ejemplos de mala distribución, señalando que Pareto había encontrado mal distribuida la riqueza, mostrando ejemplos mediante curvas acumulativas para la desigual distribución de la riqueza y la desigual distribución de las pérdidas de calidad. Tituló esas curvas como principio de Pareto de la distribución desigual aplicado a la distribución de la riqueza y la distribución de las pérdidas de calidad. (Juran, 1983).

Árbol de problemas, Árbol de Objetivos y Árbol de Justificación

El árbol de problemas fue creado en 1969 y permite identificar y organizar un problema central, sus causas y consecuencias mediante una estructura de diagrama de árbol. El árbol de objetivos transforma el árbol de problemas al convertir los problemas en objetivos y las causas en medios para lograrlos. Ambas herramientas siguen una metodología cualitativa y permiten esquematizar problemas y situaciones para encontrar soluciones.

Matriz de Decisiones No Ponderada

Una matriz no ponderada es una herramienta utilizada en diversas áreas, como el análisis de decisiones o evaluaciones comparativas, donde se asignan valores cualitativos a diferentes opciones o criterios sin aplicar pesos específicos a cada uno. En este contexto, cada criterio o opción se evalúa de manera igualitaria en términos de importancia o rendimiento, sin que uno tenga más influencia que otro dentro de la matriz.

Estado del Arte.

Hablar hoy del petróleo se vuelve un tema de gran interés por las diferentes perspectivas que se tienen sobre su uso. De hecho, se reconoce que “El petróleo y otros combustibles fósiles son la principal fuente de energía para las actividades humanas.” (Raiger L. & López, N. 2009. p. 147). Sin embargo, las discusiones hoy giran por el impacto ambiental que ha generado el uso de estas materias primas. Lo anterior, ha llevado y motivado a la construcción de un proyecto que busca hacer rentable los procesos de producción petrolera, generando planeaciones que logren reducción de los costos de operación y se aproveche de mejor manera cada extracción.

En efecto, las investigaciones han mantenido un interés sobre los procesos de contaminación o sobre la problemática de la baja eficiencia en los procesos de extracción

Dos de los problemas más importantes que históricamente afectan a la industria petrolera son la alta contaminación ambiental que genera y la baja eficiencia de extracción del crudo de sus reservorios naturales (...) cuando se producen pérdidas en los tanques, oleoductos y diversas instalaciones industriales o a partir de fallas o accidentes en los sistemas de almacenaje o de transporte (...).

Por otro lado, la extracción de hidrocarburos de sus reservorios naturales no es un proceso eficiente. Tanto es así que según la base de datos de Reservorios del Departamento de

Energía de los Estados Unidos existen más de 600 reservorios que contienen más de 12.000 millones de barriles de petróleo irrecuperables. Si por algún mecanismo se pudiera extraer solo el 10% de ese petróleo residual, se estaría hablando de un incremento en 300 millones de barriles. (Raiger L. & López, N. 2009. p. 148)

Esta problemática es la que se pretende mediar con la gestión de proyectos que den cuenta de las posibilidades de aprovechar la clarificación del agua utilizada durante las etapas de extracción.

Marco Legal

En Colombia se, refleja un desafío común como en muchos países: el deterioro de los recursos hídricos debido a la contaminación industrial. Aunque el país cuenta con una abundancia de recursos hídricos, la calidad del agua se ha visto comprometida por la actividad industrial, lo que representa una amenaza para el medio ambiente y la salud pública.

La creación de leyes y la existencia de entidades como el Ministerio de Medio Ambiente son pasos importantes para abordar este problema. Estas medidas pueden ayudar a regular y controlar las actividades industriales para minimizar su impacto en los recursos hídricos. Además, es crucial fomentar prácticas sostenibles y responsables en el sector industrial, así como promover la conciencia ambiental entre la población para reducir la contaminación en general.

El cuidado y la preservación de los recursos hídricos son fundamentales para garantizar un futuro sostenible y saludable para las generaciones presentes y futuras. Por lo tanto, es necesario continuar fortaleciendo las políticas y acciones destinadas a proteger y restaurar la calidad del agua en Colombia y en todo el mundo.

En la actualidad se cuenta con la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 (MINAMBIENTE, 2015), expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

donde se reglamenta en el artículo 11 para la actividad de hidrocarburos, en ella contiene los parámetros legales de vertimientos a los cuerpos de agua y es la encargada de establecer, verificar, controlar y hacer cumplir las condiciones estipuladas en dicha ley para todas las industrias. Por consiguiente, cada agua proveniente de las industrias antes de ser vertido a un cuerpo de agua debe tener un tratamiento ya sean primario, secundario o terciario para que se cumpla con la normatividad nacional ambiental.

El Estudio de Impacto Ambiental debe presentar como documento independiente un resumen ejecutivo del mismo, el cual incluye una síntesis del proyecto propuesto, las características relevantes del área de influencia, las obras y acciones básicas de la construcción y operación, el método de evaluación ambiental seleccionado, la jerarquización y cuantificación de los impactos ambientales significativos, la zonificación ambiental y de manejo, los criterios tenidos en cuenta para el análisis de alternativas y de tecnologías para los componentes del proyecto; presentar el resumen del plan de manejo ambiental y de las necesidades de aprovechamiento de recursos con sus características principales. Adicionalmente, especificar el costo total del proyecto y del Plan de Manejo Ambiental -PMA y sus respectivos cronogramas de ejecución.

Metodología

Tipo y Enfoque de Investigación

Este proyecto se realiza mediante un enfoque mixto, debido a que este proyecto se centra en la recolección, vinculación y análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, adicionalmente los datos obtenidos son aportados tanto por el investigador, así como también de la revisión documental y el juicio de expertos, para con ello aportar mayor veracidad a la creación de un plan de soluciones en el mejoramiento de la clarificación del agua de producción de crudo en campos maduros.

La población objeto con la cual se trabaja este proyecto son los campos de producción que están ubicados en el bloque llanero, con una muestra permitida para su estudio, para con ello llegar a la consecución del debido plan de gestión.

En cuanto al proceso de recolección de datos se efectuará mediante correos electrónicos de forma indirecta y luego de forma directa en campo, las cuales se analizan mediante una matriz DOFA, con ello brindando la alternativa de contemplar las posibles debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del proyecto. Además, se hará uso de herramientas de la gerencia de proyectos con la finalidad de determinar alternativas en la solución y el mejoramiento de clarificación del agua en la producción de crudo. Finalmente, se aportarán datos estadísticos relevantes para la investigación, entendiendo como una investigación la acción participativa, ya que busca dar solución a una problemática.

Procedimiento de la Investigación

Con el fin de realizar una propuesta para dar solución en el mejoramiento de la clarificación del agua producida en campos petroleros, es importante conocer el estado actual del campo a través de métodos directos e indirectos, con el objetivo de optimizar este proceso y

explorar nuevas estrategias y tecnologías para mejorar la calidad del agua tratada, maximizar la recuperación de petróleo y minimizar los impactos en ambientales y de operación.

El procedimiento se plantea en fases, etapas y tareas, donde se expone, revisa y se trata cada una de las estrategias y estados del proceso para obtener un producto final con la calidad requerida.

Fase 1: Diagnóstico

Etapas 1: Determinación de los datos y registros del volumen y las características del agua en la producción durante el proceso de clarificación.

Tarea 1: Solicitar información indirecta por correo electrónico. Enviar solicitudes de datos y registros sobre las características del agua producida a las personas pertinentes dentro de la empresa operadora.

Tarea 2: Tratamiento de los datos y registros indirectos.

Tarea 3: Síntesis del informe de datos y registros indirectos.

Etapas 2: Diagnóstico de la información directa en campo por parte del personal de laboratorio.

Tarea 4: Tratamiento de los datos y registros directo.

Tarea 5: Análisis de los resultados medidos en campo a través de DOFA.

Tarea 6: Síntesis del informe de datos y registros directo.

Tarea 7: Evaluar las variables críticas del proceso de clarificación del agua utilizando una matriz de criticidad.

Tarea 8: Síntesis del diagnóstico general a partir de la matriz de criticidad.

Fase 2: Tratamiento

Etapa 3: Análisis del diagnóstico integral del proceso de agua clarificada, mediante el DOFA extendida.

Tarea 9: DOFA extendida para tratamiento

Etapa 4: Desarrollo del Juicio de expertos, a partir de los resultados de la DOFA extendida, con el fin de generar alternativas de solución.

Tarea 10: Implementación de juicio de expertos y desarrollo de encuesta semiestructuradas.

Etapa 5: Desarrollo de posibles alternativas soluciones viables a partir de DOFA extendida y juicio de expertos.

Tarea 11: Identificación y descripción de las alternativas de solución. Se procede a identificar y describir las alternativas viables de solución que surgieron del análisis DOFA extendida y del juicio de expertos.

Tarea 12: Síntesis de las alternativas de solución

Fase 3: Valoración

Etapa 6: Evaluación de las alternativas de solución identificadas

Tarea 14: Valoración técnica de las alternativas de solución utilizando criterios de decisión.

Etapa 7: Selección de las alternativas para la mejor estrategia de mejoramiento en la clarificación del agua.

Tarea 15: Valoración de las alternativas para el mejoramiento en la clarificación del agua y el éxito operativo de la empresa operadora.

Tarea 16: Socializar resultados, evidencias, y entrega formal productos.

Diagnóstico

Con la necesidad de mejorar la clarificación del agua en la producción en campos petroleros, se propone un enfoque integral combinando métodos directos e indirectos para comprender el estado actual de los campos. El objetivo es optimizar este proceso con nuevas estrategias y tecnologías para mejorar la forma en que se aborda el tratamiento químico de clarificación del agua en la industria petrolera.

Siguiendo lo anterior, a continuación, se presenta una descripción breve de los procesos involucrados en el tratamiento químico en la deshidratación de crudo y clarificación de agua producida:

Crudo: Antes, durante y después de la separación primaria se aplican diferentes productos que ayudan con la correcta deshidratación del crudo, según su naturaleza y composición pueden aplicarse rompedores de emulsión directa, dispersantes e inhibidores de parafina y/o asfáltenos para llevar a cabo la comercialización de este.

Agua: Antes, durante y después de la separación primaria se aplican diferentes productos que ayudan con la correcta clarificación, según la facilidad se pueden aplicarse rompedores de emulsión inversa, clarificadores, coagulantes y floculantes para llevar el agua dentro de los parámetros establecidos y el destino final de la misma, que puede ser vertimiento, disposición y/o reinyección como recobro.

Diagnóstico Indirecto

A través de correo electrónico, se solicitó a la empresa operadora responsable de la operación y comercialización de petróleo compartir para el estudio y viabilidad de mejoras en el tratamiento químico de clarificación del agua producida y el histórico del seguimiento de los

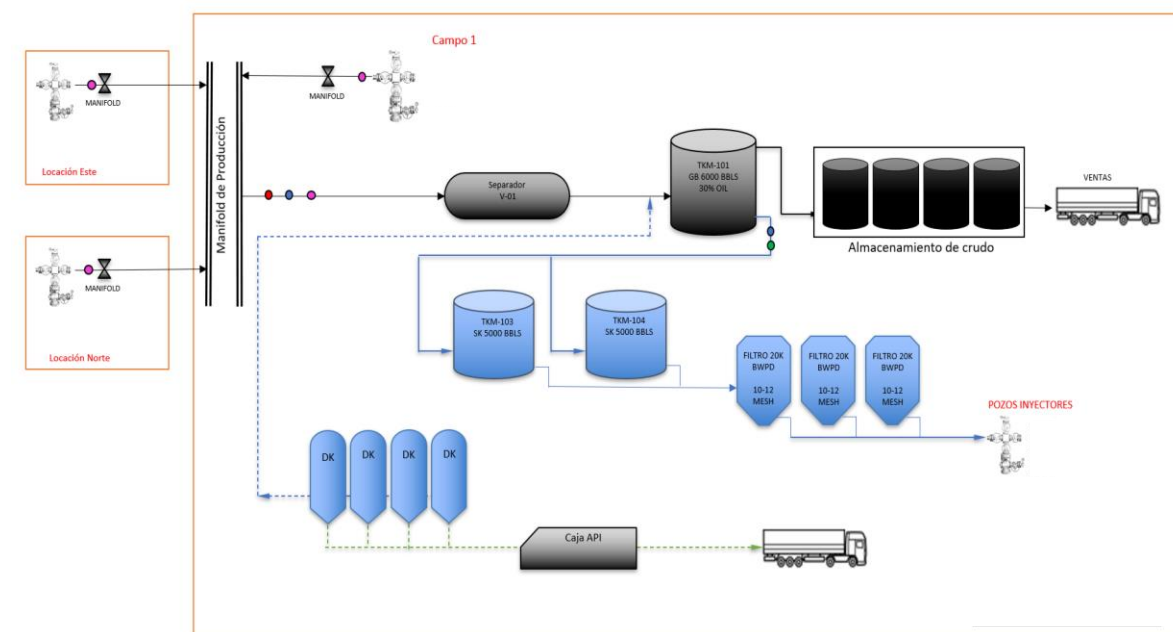
parámetros de calidad de agua del mes de marzo de 2024 con el fin realizar el diagnóstico de los campos 1 y 2.

Información indirecta de datos y registros sobre las características del agua producida

Campo 1: Para comprender mejor el proceso de producción de crudo y clarificación de agua en campos petroleros se comparte el diagrama de proceso del campo 1 objeto del proyecto, tal como se observa en la figura 1.

Figura 1

Diagrama de Proceso Campo 1



Nota. Diagrama de proceso campo 1

Descripción

El campo 1, se encuentra ubicado en el departamento del Casanare, donde actualmente se cuenta con 7 -siete pozos productores, cuya producción (gas + agua + crudo) se extrae y envía por medio de bombas electro sumergibles -BES a la estación principal o CPF (Facilidad Central

de Proceso), allí se realizan varios procesos tales como: separación primaria de (gas + agua + crudo), donde se quema el gas a través de una tea y el agua + crudo continúan en una siguiente etapa de separación llamada Separación Secundaria.

Luego por proceso el agua separada se trata químicamente, se filtra, se mide en cantidad y calidad para ser inyectada nuevamente a la formación; previamente debe cumplir con los parámetros de calidad tales como TSS -Total Solid Suspended (Total de Sólidos Suspendidos) ≤ 5 ppm y O/W -Oil in Water (Aceite en Agua) ≤ 5 ppm, cuyos valores hacen parte de los KPIs - Key Performance Indicators (Indicadores de Desempeño) establecidos por la operadora para el campo 1, ver tabla 1.

El crudo separado se trata químicamente y envía a tanques de almacenamiento, donde se mide en cantidad y calidad para luego ser comercializado, debiendo cumplir previamente con parámetros de calidad tales como tener un Bs&W -Basic Sedimentary and Water $\leq 0.5\%$, cuyos valores hacen parte de los KPIs -Key Performance Indicators (Indicadores de Desempeño) establecidos por la operadora para el campo 1, ver tabla 1.

Tabla 1

KPIs para el Campo 1

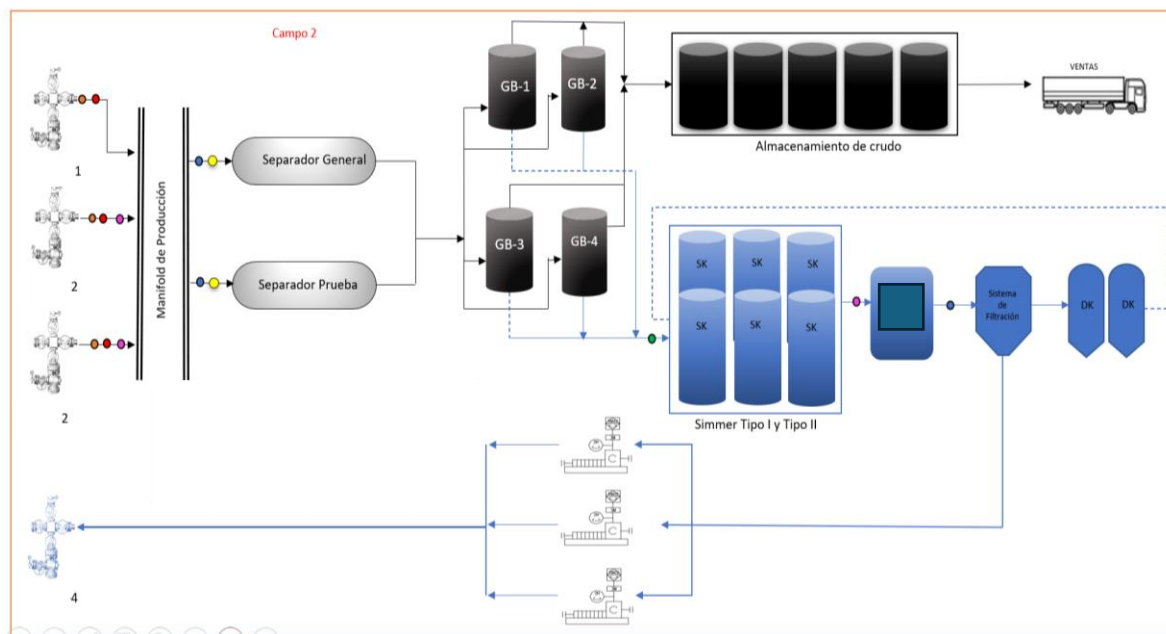
KPIs para el Campo 1		
Fluido	Parámetro	Valor aceptado
Crudo	Bs&W	$\leq 0.5\%$
	O/W	≤ 5 ppm
Agua	TSS	≤ 5 ppm

Nota. KPIs para el campo 1

Campo 2: Para comprender mejor el proceso de producción de crudo y clarificación de agua, en campos petroleros se comparte el diagrama de proceso del campo 2 objeto del proyecto, tal como se observa en la figura 2.

Figura 2

Diagrama de Proceso Campo2



Nota. Diagrama de proceso campo2

Descripción. El campo 2, se encuentra ubicado en el departamento del Meta, donde actualmente se cuenta con 3 -tres pozos productores, cuya producción (gas + agua + crudo) se extrae y envía por medio de bombas electro sumergibles -BES a la estación principal o CPF (Facilidad Central de Proceso), allí se realizan varios procesos tales como: separación primaria de (gas + agua + crudo), donde se quema el gas a través de una tea y el agua + crudo continúan en una siguiente etapa de separación llamada separación secundaria.

Luego, por medio del proceso, el agua separada se trata químicamente, se filtra, se mide en cantidad y calidad para ser inyectada nuevamente a la formación; también, debería cumplir

previamente con parámetros de calidad tales como TSS -Total Solid Suspended (Total de Sólidos Suspendidos) ≤ 10 ppm y O/W -Oil in Water (Aceite en Agua) ≤ 10 ppm, cuyos valores hacen parte de los KPIs -Key Performance Indicators (Indicadores de Desempeño) establecidos por la operadora para el campo 2, ver tabla 2.

Finalmente, el crudo separado se trata químicamente y envía a tanques de almacenamiento, donde se mide en cantidad y calidad para luego ser comercializado, debiendo cumplir previamente con parámetros de calidad tales como tener un Bs&W -Basic Sedimentary and Water $\leq 0.5\%$, cuyos valores hacen parte de los KPIs -Key Performance Indicators (Indicadores de Desempeño) establecidos por la operadora para el campo 2, ver tabla 2.

Tabla 2

KPIs para el Campo 2

KPIs para el Campo 2		
Fluido	Parámetro	Valor aceptado
Crudo	Bs&W	$\leq 0.5\%$
	O/W	≤ 10 ppm
Agua	TSS	≤ 10 ppm

Nota. KPIs para el campo 2

Tratamiento de los Datos Indirectos

El departamento de control de calidad dentro de la trazabilidad del proceso del crudo exige capturar datos y registros de variables tales como: cantidad de producción de crudo + agua, consumo de producto químico, los sólidos totales suspendidos y aceite en agua. Estos datos son

analizados por profesionales que dictaminan si el proceso es óptimo y si cumplen con los valores establecidos por la compañía operadora de los campos.

En la tabla 3 se detallan las variables y los valores de cumplimiento para el mes de marzo de 2024, datos que fueron obtenidos y compartidos por el departamento de calidad al departamento de operaciones en el campo 1.

En la tabla 4 se encontrarán 8 -ocho columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: BOPD (sigla de barriles de crudo por día)

Columna 3: BWPD (sigla de barriles de agua por día)

Columna 4: BFPD (sigla de barriles de fluido por día, que es la suma de BOPD+BWPD)

Columna 5: gpd (hace referencia el uso del clarificador AB en galones por día)

Columna 6: ppm (hace referencia el uso del clarificador AB en partes por millón)

Columna 7: O/W ppm (hace referencia al aceite presente en el agua, expresado en partes por millón)

Columna 8: TSS ppm (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua, expresado en partes por millón)

Tabla 3*Histórico de Datos de Producción Campo 1: Marzo 2024*

Fecha	BOPD	BWPD	BFPD	Clarificador AB		O/W (ppm)	TSS (ppm)
				gpd	ppm		
3/1/2024	24442.52	51329.292	75771.812	43.0	19.9	20.0	30.0
3/2/2024	24441.58	51327.318	75768.898	43.5	20.2	19.0	28.5
3/3/2024	24443.21	51330.741	75773.951	42.1	19.5	24.0	36.0
3/4/2024	24442.16	51328.536	75770.696	42.0	19.5	30.0	45.0
3/5/2024	24442.01	51328.221	75770.231	40.0	18.6	21.0	31.5
3/6/2024	24443.34	51331.014	75774.354	41.5	19.2	24.0	36.0
3/7/2024	24442.22	51328.662	75770.882	42.0	19.5	18.0	27.0
3/8/2024	24440.12	51324.252	75764.372	42.0	19.5	20.0	30.0
3/9/2024	24443.18	51330.678	75773.858	43.5	20.2	30.0	45.0
3/10/2024	24441.59	51327.339	75768.929	43.2	20.0	21.0	31.5
3/11/2024	24439.24	51322.404	75761.644	43.0	19.9	32.0	48.0
3/12/2024	24444.65	51333.765	75778.415	43.0	19.9	35.0	52.5
3/13/2024	24443.44	51331.224	75774.664	43.2	20.0	30.0	45.0
3/14/2024	24441.29	51326.709	75767.999	43.1	20.0	20.0	30.0
3/15/2024	24442.9	51330.09	75772.99	43.2	20.0	26.0	39.0
3/16/2024	24441.77	51327.717	75769.487	39.7	18.4	30.0	45.0
3/17/2024	24443.18	51330.678	75773.858	42.8	19.9	35.0	52.5
3/18/2024	24441.24	51326.604	75767.844	43.0	19.9	34.0	51.0
3/19/2024	24439.33	51322.593	75761.923	43.1	20.0	28.0	42.0
3/20/2024	24444.65	51333.765	75778.415	43.5	20.2	30.0	45.0
3/21/2024	24443.45	51331.245	75774.695	43.9	20.4	28.0	42.0
3/22/2024	24441.11	51326.331	75767.441	43.1	20.0	25.0	37.5
3/23/2024	24442.24	51328.704	75770.944	43.5	20.2	20.0	30.0
3/24/2024	24441.88	51327.948	75769.828	42.1	19.5	28.0	42.0
3/25/2024	24442.21	51328.641	75770.851	42.0	19.5	30.0	45.0
3/26/2024	24439.01	51321.921	75760.931	40.0	18.6	34.0	51.0

Fecha	BOPD	BWPD	BFPD	Clarificador AB		O/W (ppm)	TSS (ppm)
				gpd	ppm		
3/27/2024	24445.96	51336.516	75782.476	41.5	19.2	27.0	40.5
3/28/2024	24441.34	51326.814	75768.154	42.0	19.5	30.0	45.0
3/29/2024	24441.67	51327.507	75769.177	43.9	20.4	32.0	48.0
3/30/2024	24438.24	51320.304	75758.544	43.1	20.0	34.0	51.0
3/31/2024	24440.53	51325.113	75765.643	43.5	20.2	26.0	39.0
Total	757701.3	1591172.6	2348873.9	1319.0	19.7	-	-
Promedio	24442.0	51328.1	75770.1	42.5	19.7	27.1	40.7

Nota. Histórico de datos de producción campo1 marzo 2024

Analizando los datos mapeados en la tabla 3, del campo 1, se observa que no se cumple con los parámetros requeridos en TSS (Sólidos Totales Disueltos) y O/W (Aceite en agua) ya que superan los límites permitidos (Ver tabla 1), ante esta desviación, el departamento de calidad solicita al departamento de operaciones, definir acciones para corregir la desviación.

De igual manera, en la tabla 4 se detallan las variables y los valores de cumplimiento para el mes de marzo de 2024, datos que fueron obtenidos y compartidos por el departamento de calidad al departamento de operaciones en el campo 2.

En la tabla 4 se encontrarán 8 -ocho columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: BOPD (sigla de barriles de crudo por día)

Columna 3: BWPD (sigla de barriles de agua por día)

Columna 4: BFPD (sigla de barriles de fluido por día, que es la suma de BOPD+BWPD)

Columna 5: gpd (hace referencia el uso del clarificador YZ en galones por día)

Columna 6: ppm (hace referencia el uso del clarificador YZ en partes por millón)

Columna 7: O/W ppm (hace referencia al aceite presente en el agua, expresado en partes por millón)

Columna 8: TSS ppm (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua, expresado en partes por millón)

Tabla 4*Histórico de Datos de Producción Campo2: Marzo 2024*

Fecha	BOPD	BWPD	BFPD	Clarificador YZ		O/W	TSS
				gpd	ppm	(ppm)	(ppm)
3/1/2024	30505.35	121609.77	152115.12	60.0	11.7	24.0	37.5
3/2/2024	30499.54	121388.17	151887.71	60.0	11.8	22.8	35.6
3/3/2024	30504.45	121407.71	151912.16	61.0	12.0	28.8	45.0
3/4/2024	30504.12	121406.40	151910.52	60.5	11.9	36.0	56.3
3/5/2024	30503.23	121402.86	151906.09	60.5	11.9	25.2	39.4
3/6/2024	30509.34	121427.17	151936.51	59.5	11.7	28.8	45.0
3/7/2024	30488.26	121343.27	151831.53	60.1	11.8	21.6	33.8
3/8/2024	30510.23	121430.72	151940.95	62.0	12.2	24.0	37.5
3/9/2024	30504.21	121406.76	151910.97	59.6	11.7	36.0	56.3
3/10/2024	30504.56	121408.15	151912.71	60.3	11.8	25.2	39.4
3/11/2024	30506.21	121414.72	151920.93	60.2	11.8	38.4	60.0
3/12/2024	30504.31	121407.15	151911.46	59.5	11.7	42.0	65.6
3/13/2024	30521.45	121475.37	151996.82	60.6	11.9	36.0	56.3
3/14/2024	30518.45	121463.43	151981.88	61.0	12.0	24.0	37.5
3/15/2024	30524.56	121487.75	152012.31	60.8	11.9	31.2	48.8
3/16/2024	30530.21	121510.24	152040.45	59.5	11.7	36.0	56.3
3/17/2024	30518.24	121462.60	151980.84	58.9	11.5	42.0	65.6
3/18/2024	30522.33	121478.87	152001.20	59.3	11.6	40.8	63.8
3/19/2024	30524.56	121487.75	152012.31	59.4	11.6	33.6	52.5
3/20/2024	30519.23	121466.54	151985.77	59.8	11.7	36.0	56.3
3/21/2024	30521.12	121474.06	151995.18	58.9	11.5	33.6	52.5
3/22/2024	30534.15	121525.92	152060.07	60.5	11.9	30.0	46.9
3/23/2024	30530.24	121510.36	152040.60	59.5	11.7	24.0	37.5
3/24/2024	30528.44	121503.19	152031.63	60.1	11.8	33.6	52.5
3/25/2024	30529.31	121506.65	152035.96	62.0	12.1	36.0	56.3
3/26/2024	30530.44	121511.15	152041.59	59.6	11.7	40.8	63.8

Fecha	BOPD	BWPD	BFPD	Clarificador YZ		O/W (ppm)	TSS (ppm)
				gpd	ppm		
3/27/2024	30528.76	121504.46	152033.22	60.3	11.8	32.4	50.6
3/28/2024	30527.23	121498.38	152025.61	60.2	11.8	36.0	56.3
3/29/2024	30524.31	121486.75	152011.06	59.5	11.7	38.4	60.0
3/30/2024	30512.23	121438.68	151950.91	60.6	11.9	40.8	63.8
3/31/2024	30510.12	121430.28	151940.40	61.0	12.0	31.2	48.8
Total	945999.2	3765275.3	4711274.4	1864.7	11.8	-	-
Promedio	30516.1	121460.5	151976.6	60.2	11.8	32.6	50.9

Nota. Histórico de datos de producción campo2

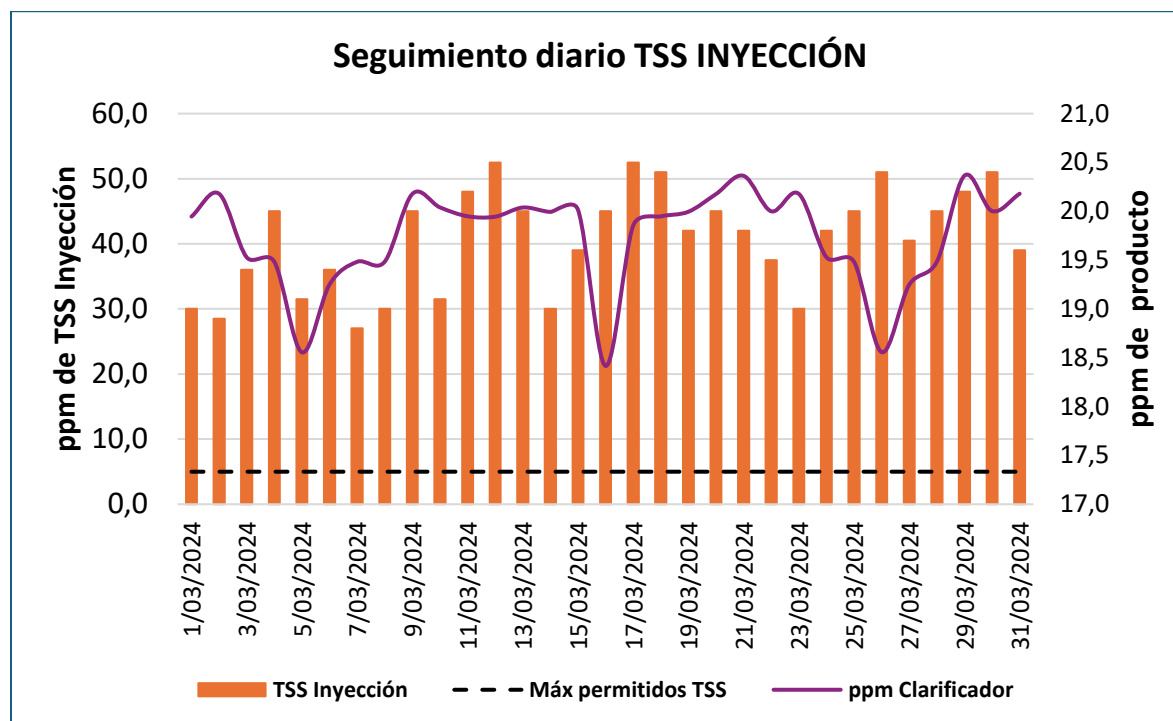
Analizando los datos mapeados en la tabla 4 del campo 2, se observa que no cumple con los parámetros requeridos en TSS (Sólidos Totales Disueltos) y O/W (Aceite en agua) ya que superan los límites permitidos (Ver tabla 2) ante esta desviación, el departamento de calidad solicita al departamento de operaciones, definir acciones para corregir la desviación.

Síntesis del informe de datos indirectos

Con la data recibida de los seguimientos diarios, de la calidad del agua producida, durante del mes de marzo 2024, se procede a realizar gráfica Excel para analizar su comportamiento en los campos 1 y 2, donde se interpolan el consumo de clarificador actual del campo vs. los parámetros de calidad de agua de producción TSS (Sólidos Totales Disueltos) y O/W (Aceite en agua), tal como se observa en la figura 3.

Figura 3

PPM del Clarificador AB vs TSS del Agua de Inyección para el Campo 1

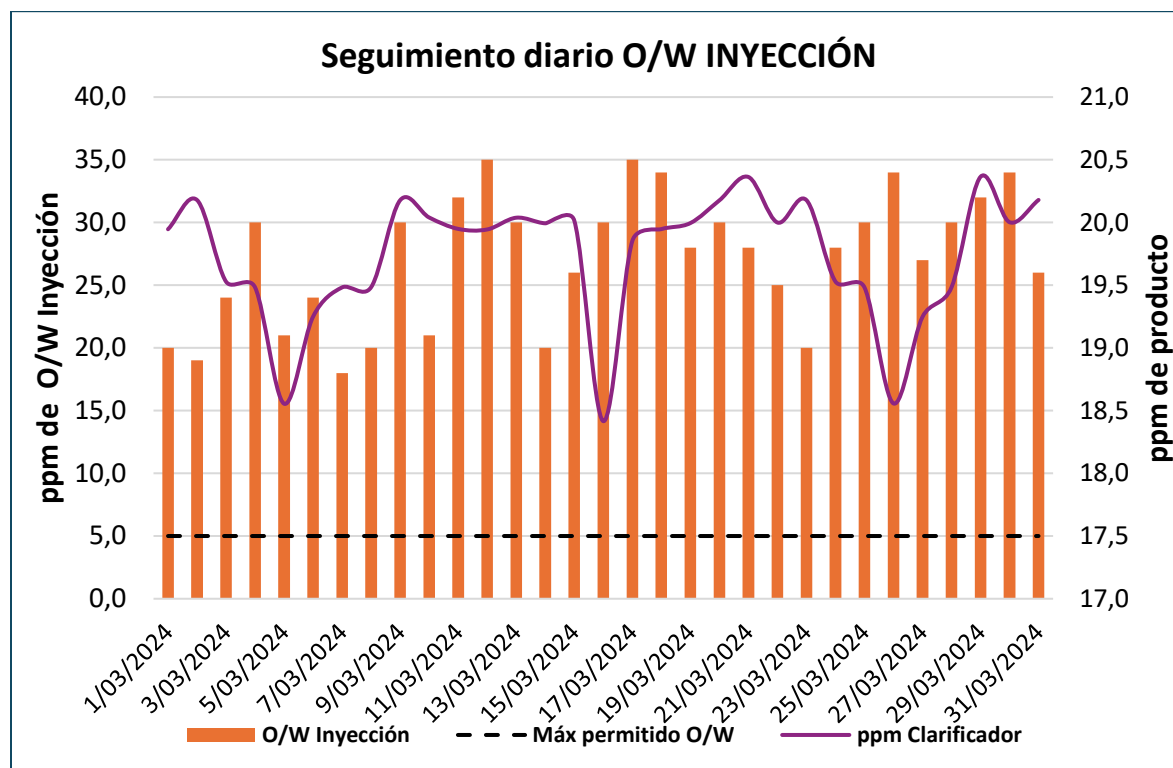


Nota. PPM del clarificador AB vs TSS del agua de inyección para el campo 1

En la figura 3, se infiere que durante el mes de marzo 2024 se aplicó en promedio 19.7 ppm del producto clarificador, obteniendo un TSS promedio de 27.1 ppm, valor muy por encima de los 5 ppm de TSS permitidos para el campo 1.

Figura 4

PPM del Clarificador AB vs O/W del Agua de Inyección para el Campo 1

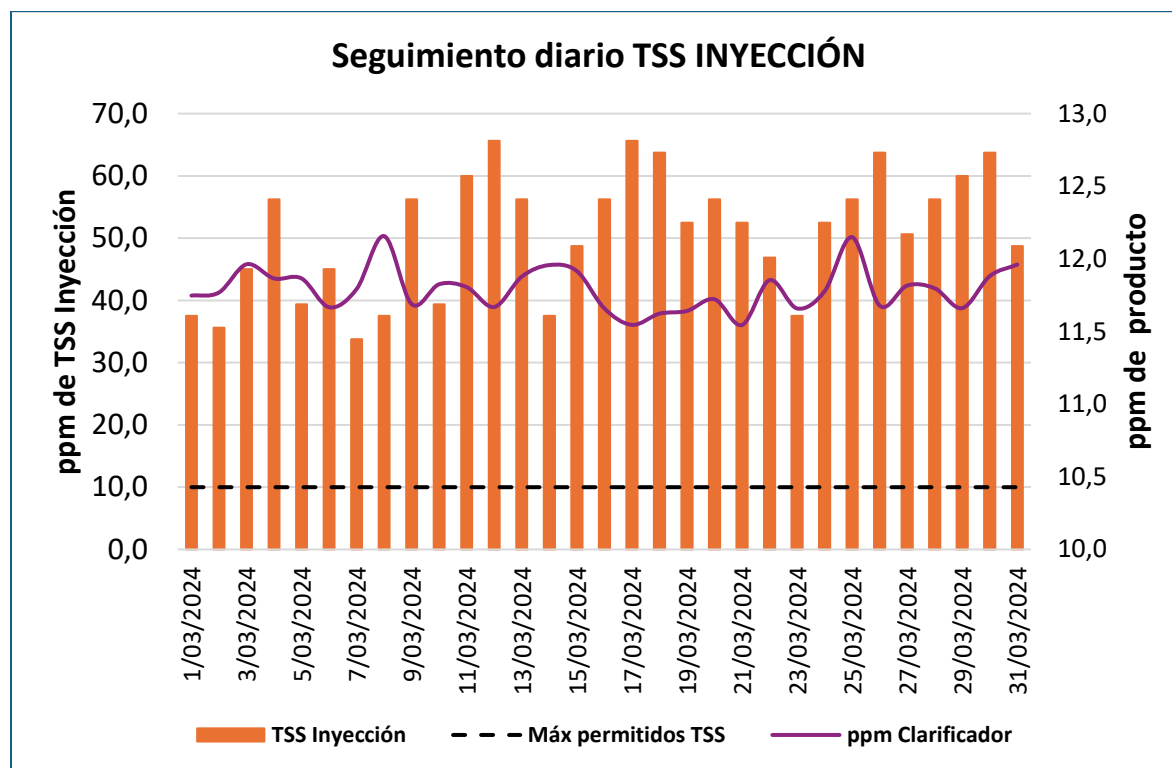


Nota. PPM del clarificador AB vs O/W del agua de inyección para el campo 1

En la figura 4, se infiere que durante el mes de marzo 2024 se aplicó en promedio 19.7 ppm del producto clarificador, obteniendo un O/W promedio de 40.7 ppm, valor muy por encima de los 5 ppm de O/W permitidos para el campo 1.

Figura 5

PPM del Clarificador YZ vs TSS del Agua de Inyección para el Campo 2

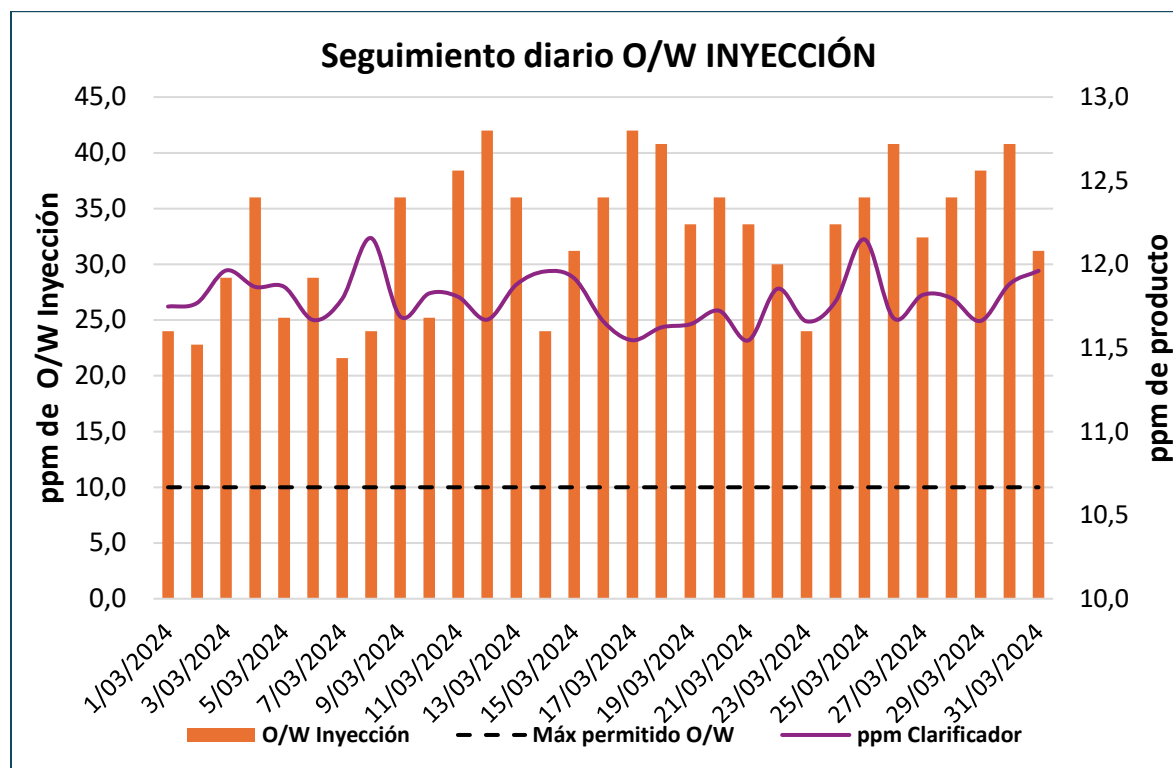


Nota. PPM del clarificador AB vs TSS del agua de inyección para el campo2

En la figura 5, se infiere que durante el mes de marzo 2024 se aplicó en promedio 11.8 ppm del producto clarificador YZ, obteniendo un TSS promedio de 32.6 ppm, valor muy por encima de los 10 ppm de TSS permitidos para el campo 2.

Figura 6

PPM del Clarificador YZ vs O/W del Agua de Inyección para el Campo 2



Nota. PPM del clarificador AB vs O/W del agua de inyección para el campo2

En la figura 6, se infiere que durante el mes de marzo 2024 se aplicó en promedio 11.8 ppm del producto clarificador YZ, obteniendo un O/W promedio de 50.9 ppm, valor muy por encima de los 10 ppm de O/W permitidos para el campo 2.

Diagnóstico Directo

Diagnóstico de la información directa en campo por los profesionales externos de aseguramiento.

En razón a la desviación en los datos obtenidos de forma indirecta de parámetros de calidad TSS y O/W en el agua de inyección, se recomienda realizar una nueva toma de datos de forma directa en campo de TSS y O/W, por parte de profesionales externos de aseguramiento, para luego

cotejar estas dos tomas y determinar en que radica la desviación. Para lo cual se estima una línea de tiempo.

Teniendo como base la norma ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) (Designation: PS 74 – 98), la cual estipula los valores de cantidad de aceite en agua en ppm que contiene el agua muestra específica.

El método permite la determinación de aceite (hidrocarburos) presentes en el agua empleando un proceso de extracción seguida de una determinación espectroscópica.

De igual manera establece los pasos a seguir para determinar el TSS (Sólidos totales suspendidos) en agua por el método de turbidez, utilizando para ello equipos como espectrofotómetro.

Línea de tiempo para la toma de datos en campo con los profesionales externos de aseguramiento.

El jueves 04 de abril de 2024, los profesionales externos de aseguramiento, realizaron de manera directa y simultánea la toma de muestras del estado de la producción en los campos 1 y 2, datos que son tabulados y compartidos para su posterior tratamiento

Tratamiento de los Datos y Registros Directo

A continuación, se comparten los datos de la visita a campo para el diagnóstico directo:

Campo 1. A continuación, en la tabla 5 se detallan las variables y los valores de producción obtenidos en la visita del 4 de abril de 2024 por profesionales externos de aseguramiento del campo 1.

En la tabla 5 se encontrarán 7 -siete columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: Bloque (Ubicación del campo en Casanare)

Columna 3: BFPD (sigla de barriles de fluido por día, que es la suma de BOPD+BWPD)

Columna 4: BOPD (sigla de barriles de crudo por día)

Columna 5: BWPD (sigla de barriles de agua por día)

Columna 6: BSW (corte de agua del campo determinado por la formula (BWPD/BFPD *100))

Columna 7: MMSCF (producción de gas en millones de pies cúbicos por día)

Tabla 5

Datos de Producción Campo1: 04 Abril 2024

Producción Campo 1						
Fecha	BLOQUE	BFPD	BOPD	BWPD	BSW	MMSCF
4/4/2024	1	79,617.79	24,442.52	55,175.27	69%	0

Nota. Datos de producción campo1: 04 abril 2024

A continuación, en la tabla 6 se detallan las variables y los valores de calidad de agua en las diferentes etapas de separación de agua obtenidos en la visita del 4 de abril de 2024 por profesionales externos de aseguramiento del campo 1. Para la medición y cuantificación de O/W y TSS se toma como base la norma ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) (Designation: PS 74 – 98).

En la tabla 6 se encontrarán 9 -nueve columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: TSS ppm TKM-101 (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la salida del tanque TKM-101, expresado en partes por millón)

Columna 3: O/W ppm TKM-101(hace referencia al aceite en agua presente en el agua, expresado en partes por millón)

Columna 4: TSS ppm TKM (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la salida del tanque TKM-101, expresado en partes por millón)

Columna 5: O/W ppm TKM (hace referencia al aceite en agua presente en el agua de la salida del tanque TKM, expresado en partes por millón)

Columna 6: TSS ppm IN FIL (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la entrada de los filtros, expresado en partes por millón)

Columna 7: O/W ppm IN FIL (hace referencia al aceite en agua presente en el agua de la entrada de los filtros, expresado en partes por millón)

Columna 8: TSS ppm OUT FIL (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la salida de los filtros, expresado en partes por millón)

Columna 9: O/W ppm OUT FIL (hace referencia al aceite en agua presente en el agua de la salida de los filtros, expresado en partes por millón)

Tabla 6

Datos Calidad del Agua Campo 1: 04 Abril 2024

Calidad de Agua Campo 1								
Fecha	OUT TKM-101		OUT TKM		IN FIL		OUT FIL	
	TSS	O/W	TSS	O/W	TSS	O/W	TSS	O/W
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
4/4/20 24	125	243	57	223	74	120	12	60

Nota. Datos calidad del agua campo 1: 04 abril 2024

A continuación, en la tabla 7 se detallan las variables y los valores de producción de agua y el consumo de clarificador en galones y ppm obtenidos en la visita del 4 de abril de 2024 por profesionales externos de aseguramiento del campo 1.

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: BWPD (sigla de barriles de agua por día)

Columna 3: gpd (hace referencia el uso del clarificador AB en galones por día)

Columna 4: ppm (hace referencia el uso del clarificador AB en partes por millón)

Tabla 7

Datos de consumo del Clarificador AB Campo1: 04 Abril 2024

Consumo de Clarificador AB			
Fecha	BWPD	(gpd)	(ppm)
4/4/2024	55,175.27	46.3	20.00

Nota. Datos de consumo del clarificador AB campo1: 04 abril 2024

Campo 2. A continuación, en la tabla 8 se detallan las variables y los valores de producción obtenidos en la visita del 4 de abril de 2024 por profesionales externos de aseguramiento del campo 2.

En la tabla 8 se encontrarán 7 -siete columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: Bloque (Ubicación del campo en Casanare)

Columna 3: BFPD (sigla de barriles de fluido por día, que es la suma de BOPD+BWPD)

Columna 4: BOPD (sigla de barriles de crudo por día)

Columna 5: BWPD (sigla de barriles de agua por día)

Columna 6: BSW (corte de agua del campo determinado por la formula (BWPD/BFPD *100))

Columna 7: MMSCF (producción de gas en millones de pies cúbicos por día)

Tabla 8

Datos de Producción Campo2: 04 Abril 2024

Producción Campo 2						
Fecha	BLOQUE	BFPD	BOPD	BWPD	BSW	MMSCF
4/4/2024	2	154,173.80	30,505.35	121,609.77	79%	0

Nota. Datos de producción campo2: 04 abril 2024

A continuación, en la tabla 9 se detallan las variables y los valores de calidad de agua en las diferentes etapas de separación de agua obtenidos en la visita del 4 de abril de 2024 por profesionales externos de aseguramiento del campo2. Para la medición y cuantificación de O/W y TSS se toma como base la norma ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) (Designation: PS 74 – 98).

En la tabla 9 se encontrarán 13 -trece columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: TSS ppm Sep Gen (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la salida del separador general, expresado en partes por millón)

Columna 3: O/W ppm Sep Gen (hace referencia al aceite en agua presente en el agua de la salida del separador general, expresado en partes por millón)

Columna 4: TSS ppm Sep Pru (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la salida del separador de prueba, expresado en partes por millón)

Columna 5: O/W ppm Sep Pru (hace referencia al aceite presente en el agua de la salida del separador de prueba, expresado en partes por millón)

Columna 6: TSS ppm IN SK (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua en la entrada del Skin Tank, expresado en partes por millón)

Columna 7: O/W ppm IN SK (hace referencia al aceite presente en el agua en la entrada del Skin Tank, expresado en partes por millón)

Columna 8: TSS ppm OUT SK (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua en la salida del Skin Tank, expresado en partes por millón)

Columna 9: O/W ppm OUT SK (hace referencia al aceite presente en el agua en la salida del Skin Tank, expresado en partes por millón)

Columna 10: TSS ppm IN FIL (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la entrada de los filtros, expresado en partes por millón)

Columna 11: O/W ppm IN FIL (hace referencia al aceite en agua presente en el agua de la entrada de los filtros, expresado en partes por millón)

Columna 12: TSS ppm OUT FIL (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua de la salida de los filtros, expresado en partes por millón)

Columna 13: O/W ppm OUT FIL (hace referencia al aceite en agua presente en el agua de la salida de los filtros, expresado en partes por millón)

Tabla 9

Datos Calidad del Agua Campo2: 04 Abril 2024

Calidad de Agua Campo 2													
Fecha	OUT SEP Gen		OUT SEP Pru		IN SK		OUT SK		IN FIL		OUT FIL		
	TSS	O/W	TSS	O/W	TSS	O/W	TSS	O/W	TSS	O/W	TSS	O/W	
4/4/2024	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
	129	202	113	194	100	150	92	102	80	92	62	70	

Nota. Datos calidad del agua campo2: 04 abril 2024

A continuación, en la tabla 10 se detallan las variables y los valores de producción de agua y el consumo de clarificador en galones y ppm obtenidos en la visita del 4 de abril de 2024 por profesionales externos de aseguramiento del campo2.

Columna 1: Fecha (hace referencia al día de la toma de datos)

Columna 2: BWPD (sigla de barriles de agua por día)

Columna 3: gpd (hace referencia el uso del clarificador YZ en galones por día)

Columna 4: ppm (hace referencia el uso del clarificador YZ en partes por millón)

Tabla 10

Datos de Consumo del Clarificador YZ Campo2: 04 Abril 2024

Consumo de Clarificador YZ			
Fecha	BWPD	(gpd)	(ppm)
4/4/2024	121,609.77	60	11.75

Nota. Datos de consumo del clarificador YZ campo2: 04 abril 2024

Después de realizar la caracterización de la calidad del agua de producción en campo (directa) y análisis de la información recibida por parte del cliente (indirecta) sobre la calidad del agua de producción de los campos 1 y 2 se valida que el tratamiento químico aplicado para la clarificación de agua producida de los campos 1 y 2 presenta un déficit en su eficiencia y mantiene los valores de la calidad de agua muy por encima de lo requerido por el cliente en sus KIPs de TSS (Sólidos Suspendidos Totales) y O/W (Aceite en Agua).

Análisis de los resultados directos.

Basados en los resultados obtenidos en los diferentes procesos de los campos 1 y 2, se utiliza la herramienta matriz DOFA de la gerencia de proyectos con el fin de analizar cuáles son

las desviaciones presentadas con el no cumplimiento con los parámetros de la calidad de agua de inyección establecidos por la operadora (ver tabla 1 y 2).

Figura 7

Matriz DOFA

MATRIZ DOFA	
<p style="text-align: center;"><u>OPORTUNIDADES</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mejora calidad de agua con otras aplicaciones químicas 2. Aumento de recobro de crudo 3. Garantizar la confiabilidad de los procesos 4. Actualización de equipos de separación 	<p style="text-align: center;"><u>FORTALEZA</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se tiene monitoreo y control de las variables 2. Se cuenta con profesionales competentes 3. Se cuenta con equipos para la medición y cuantificación de las variables 4. Se aplican herramientas de gerencia de proyectos para el análisis de datos
<p style="text-align: center;"><u>AMENAZAS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Agua de inyección fuera de los parámetros de calidad 2. Sanciones por la ANLA por no cumplimiento de los parámetros de calidad de agua 3. Cierre del campo por incumplimiento 	<p style="text-align: center;"><u>DEBILIDADES</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Baja eficiencia en el producto químico aplicado para la clarificación de agua 2. Demora en la toma de decisiones en mejora de calidad de agua 3. Equipos con tecnología poco eficiente

Nota. Matriz DOFA

A través de la Matriz DOFA podemos determinar que esta información servirá como base para establecer acciones correctivas específicas del proceso de clarificación de agua de los campos 1 y 2.

Síntesis del Informe de Datos Directo

Dentro del proceso de clarificación del agua producida se tienen en cuenta la toma de datos para identificar el estado actual del campo vs los parámetros (KIPs) que se deben cumplir, con base a esta diferencia se definen acciones para mitigar las desviaciones presentadas, dichas

acciones comprenden la mejora del proceso, actualización y/o reemplazo de los equipos existentes, adquisición de productos químicos eficientes.

Evaluación de variables críticas del proceso de clarificación del agua utilizando una matriz de criticidad

Una vez analizada la información obtenida de forma directa (obtenida en campo), se propone realizar una matriz de criticidad con el fin de identificar los factores que ponen en riesgo la ejecución del proyecto, donde se tienen en cuenta factores internos o externos que ocasionan eventos (causas), los eventos que puedan desviar el proyecto de su promesa de valor, hitos, tiempos, costos, alcances, los efectos que se generan por la materialización del evento o del riesgo (consecuencia).

De igual manera son tenidos en cuenta los niveles de riesgo sin aplicar los controles, los controles/acciones de tratamiento adicionales que mitigan las causas, los niveles de riesgo después de los controles, los índices de manejabilidad (bajo, medio o alto), detalles de las actividades específicas a realizar para eliminar o reducir las causas de un riesgo o disminuir el impacto, el tiempo el cual se ejecutará la acción y al final el responsable o encargado de gestionar la acción de tratamiento (ver anexo1).

Síntesis del Diagnóstico General a Partir de la Matriz de Criticidad

A continuación, se comparte un resumen de los aspectos importantes obtenidos en la matriz de criticidad del para el proceso del sistema de clarificación de agua en las facilidades de producción de crudo:

Causas. Factor interno o externo que ocasiona un evento de riesgo.

Error humano, comportamientos inadecuados con baja percepción del riesgo, imposibilidad de realizar algún procedimiento por fallas en la comunicación y en la entrega de

los turnos, presencia de personal nuevo en la instalación, falta de competencia del personal, producto químico no conforme, fallas en los equipos de dosificación de química, falta de planeación en el trasiego de productos químicos.

Riesgo. Evento que pueda desviar el proyecto en su promesa de valor, hitos, tiempo, costos, alcance.

Incidentes e interrupción operacional o demoras en la ejecución de la actividad.

Consecuencia. Efectos que se generaron por la materialización del evento o riesgo.

Interrupción de la operación, afectación a la integridad de personas, retrasos en tiempos y sobrecostos asociados a la operación actual, pérdida de integridad en tuberías, afectación al medio ambiente, a terceros y sus instalaciones.

Controles/Acciones de Tratamiento Adicionales que Mitigan Causas. Monitoreo del personal antes de ingresar a campo, definición de roles y responsabilidades, suficiencia de canales y radios de comunicación, procedimiento de triple confirmación, reuniones pre-operativas, tener los paquetes de trabajo en sitio y actualizados, certificación del personal en entrenamiento - norma control de trabajo, plan de inducción al personal nuevo, acompañamiento por parte de líder de proyecto al personal nuevo, revisión de hojas de vida por parte del personal de la operación, aseguramiento con contratista del perfil de trabajadores, revisión de certificaciones de equipos y de personas previa al trabajo, detección temprana de condiciones subestándar de equipos y herramientas, supervisión en sitio.

Tratamiento

Valoración del diagnóstico integral del proceso de agua clarificada, mediante el DOFA extendida. Para la creación de la matriz DOFA Extendida se analiza las características del agua producida. Partiendo del diagnóstico general, y teniendo en cuenta la información obtenida de manera directa e indirecta, esta tarea explora las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas relacionadas con la clarificación del agua, utilizando la matriz DOFA extendida. Ver

Figura 8

Matriz DOFA Extendida

		D) Debilidades: se refiere a los aspectos internos que de alguna u otra manera no permitan el crecimiento empresarial o que frenan el cumplimiento de los objetivos planteados	F) Fortalezas: son las características internas del negocio que permitan impulsar al mismo y poder cumplir las metas planteadas
		DEBILIDADES (D) 1. Baja eficiencia en los procesos actuales para la clarificación del agua producida. 2. Equipos desactualizados 3. Bajo desempeño del producto químico empleado en el clarificador 4. Mala ejecución de los planes y programas asociados a la clarificación del agua.	FORTALEZAS (F) 1. Interés por parte de la operadora en nuevos proyectos para mejoramiento del agua producida. 2. Disponibilidad de presupuesto para financiar los proyectos. 3. Monitoreo constante de la calidad del agua, en los puntos de control de clarificación del agua. 4. Planea, programas y proyectos enfocados a la calidad del agua 5. Interés de la gerencia en participar con la mejora continua.
(O) oportunidades: se refiere a los acontecimientos o características externas al negocio que puedan ser utilizadas a favor del empresario para garantizar el crecimiento de su empresa	OPORTUNIDADES (O) 1. Reducción de costos de producción. 2. Suplir la demanda del mercado. 4. Incremento en la producción de crudo.	ESTRATEGIAS (FO) 1. Adaptar nuevas tecnologías en la clarificación del agua producida 2. Actualización de equipos de separación. 3. Aplicación de productos químicos de mejor desempeño en clarificación del agua.	ESTRATEGIAS (DO) 1. Actualización de las tecnologías utilizadas actualmente. 2. Optimización de los planes y programas asociados a la clarificación del agua. 3. Implementar productos químicos con mejor desempeño.
(A) Amenazas: son los acontecimientos externos del negocio en la mayoría de las veces incontrolables por el dueño y personal de la empresa analizada.	AMENAZAS (A) 1. Incremento en la pérdida de producción. 2. Aumento de los costos asociados a la clarificación del agua. 3. Daño en equipos de separación estáticos y rotativos. 4. Paradas no programadas del campo, debido al taponamiento de los pozos	ESTRATEGIAS (FA) 1. Mejorar la calidad del agua producida. 2. Implementar nuevas tecnologías. 3. Realizar cambios en proceso de clarificación. 4. Implementar las recomendaciones de la mejora continua.	ESTRATEGIAS (DA) 1. Establecer planes de mejoramiento de la calidad del agua producida. 2. Crear un sistema de alertas para indicadores de la calidad del agua producida 3. Fortalecer las competencias de los profesionales en tratamiento químico.

Nota. Matriz DOFA extendida

A partir de los resultados de la matriz DOFA extendida, con el fin de generar alternativas de solución se propone implementar la herramienta juicio de expertos de la gerencia de proyectos para obtener el concepto, percepción y análisis de la situación en campo de diferentes actores que tienen participación de forma directa en la operación y tratamiento de los fluidos tratados en campo como la deshidratación de crudo y clarificación del agua de producción.

Desarrollo del Juicio de expertos, a partir de los resultados de la DOFA extendida, con el fin de generar alternativas de solución.

Partiendo de la matriz DOFA extendida, se aplica la herramienta Juicio de Expertos de la gerencia de proyectos, se acaba la validación de la herramienta y la realización de consulta para recopilar información cualitativa relevante, con el objetivo de refinar las alternativas de solución.

Para este punto se realiza la clasificación de los perfiles a considerar para la aplicación de las encuestas.

A continuación, se comparten los perfiles de los expertos a consultar debido al grado de participación y responsabilidad en campo:

Tabla 11*Perfiles para el Juicio de Expertos*

No	Cargo	Perfil	Competencias	Roles y responsabilidades
1	Superintendente de producción	Ingeniero de petróleo	Experiencia mayor a 10 años como supervisor producción de crudo y manejo de agua producida	Planificar, dirigir y coordinar, a menudo a través de personal subordinado, las actividades diarias relacionadas la producción de crudo.
2	Supervisor de producción Senior	Ingeniero de petróleo	Experiencia mayor a 5 años como supervisor producción de crudo y manejo de agua producida	Supervisar las actividades diarias relacionadas la producción de crudo.
3	Supervisor de producción Junior	Ingeniero de petróleo	Experiencia mayor a 2 años como supervisor producción de crudo y manejo de agua producida	Asistir al supervisor de crudo en las actividades diarias relacionadas la producción de crudo.
4	Supervisor de Tratamiento químico	Ingeniero químico / Químico	Experiencia mayor a 10 años en tratamiento de crudo y agua de producida	Responsable del tratamiento químico y la calidad de los fluidos crudo y agua producida.
5	Ingeniero de tratamiento químico Senior	Ingeniero químico / Químico	Experiencia mayor a 5 años en tratamiento de crudo y agua de producida	Responsable de la aplicación de los productos químicos para los fluidos de producción. Asistir al ingeniero de
6	Ingeniero de tratamiento químico Junior	Ingeniero químico / Químico	Experiencia mayor a 2 años en tratamiento de crudo y agua de producida	tratamiento químico senior en las aplicación de los productos químicos para los fluidos de producción.
7	Técnico de tratamiento químico	Tecnólogo / Técnico en procesos químicos	Experiencia mayor a 2 años en tratamiento de crudo y agua de producida	Responsable de mantener la química y los equipos de dosificación de los diferentes productos para garantizar la calidad de los fluidos de producción.

No	Cargo	Perfil	Competencias	Roles y responsabilidades
8	Analista de laboratorio	Tecnólogo / Técnico en procesos químicos	Experiencia mayor a 1 años en análisis de laboratorio de calidad de crudo y agua producida	Responsable de analizar las muestras de crudo y agua y reportar la calidad de los fluidos a todo el personal de tratamiento químico y producción.

Nota. Perfiles para el juicio de expertos

Una vez definidos los perfiles de los expertos, a continuación, se relacionan las preguntas formuladas para realizar el juicio de los expertos:

Tabla 12

Preguntas para el Juicio de Expertos

Item	Pregunta	TD	D	N	S	TS
1	Se emplean mecanismos como la sedimentación, filtración, flotación y centrifugación para separar los sólidos suspendidos, grasas y aceites presentes en el agua producida en los campos					
2	Se utilizan productos químicos para alterar las propiedades de los contaminantes y facilitar su eliminación.					
3	El tratamiento químico es una de las soluciones más efectivas y sostenibles para el problema de clarificación de agua producida					
4	Estos procesos transforman los contaminantes disueltos en formas que pueden ser fácilmente separadas del agua					
5	Los procesos físicos y químicos para eliminar o reducir los contaminantes presentes están siendo eficientes					
6	La calidad de agua producida en el proceso de separación de grasas y sólidos suspendidos se encuentra dentro de los indicadores planteados					

Item	Pregunta	TD	D	N	S	TS
7	El tratamiento químico para clarificación de agua producida usado actualmente en los campos 1 y 2 son los adecuados					
8	Se obtiene una buena separación de las O/W y TSS con los tratamientos de clarificación de agua usados actualmente en los campos 1 y 2					
9	Se logra el aprovechamiento de las grasas disueltas en el agua de producción para incrementar la producción de los campos 1 y 2					
10	El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para vertimiento					
11	El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para reinyección					
12	La calidad de agua producida no afecta la integridad de los pozos inyectoros de los campos 1 y 2					
13	Haría algo diferente para mejorar la calidad del tratamiento de clarificación de agua de los campos 1 y 2					
14	Considera necesario mejorar el tratamiento de clarificación de agua actual en los campos 1 y 2					

Nota. Preguntas para el juicio de expertos

Se comparte el significado de las siglas utilizadas en las preguntas a los expertos

Sigla	Significado
TD	Totalmente de acuerdo
D	De acuerdo
N	Ni de acuerdo ni desacuerdo
S	En desacuerdo
TS	Totalmente en desacuerdo

Nota. Significado siglas para respuesta a preguntas del juicio de expertos

A continuación, se comparten los resultados de las respuestas o juicio de expertos:

Tabla 13

Respuesta a las Preguntas para El juicio de Expertos

Item	Pregunta	TD	D	N	S	TS
1	Se emplean mecanismos como la sedimentación, filtración, flotación y centrifugación para separar los sólidos suspendidos, grasas y aceites presentes en el agua producida en los campos	8	-	-	-	-
2	Se utilizan productos químicos para alterar las propiedades de los contaminantes y facilitar su eliminación.	8	-	-	-	-
3	El tratamiento químico es una de las soluciones más efectivas y sostenibles para el problema de clarificación de agua producida	6	-	2	-	-
4	Estos procesos transforman los contaminantes disueltos en formas que pueden ser fácilmente separadas del agua	-	-	-	-	8
5	Los procesos físicos y químicos para eliminar o reducir los contaminantes presentes están siendo eficientes	-	-	-	-	8
6	La calidad de agua producida en el proceso de separación de grasas y sólidos suspendidos se encuentra dentro de los indicadores planteados	-	-	-	-	8
7	El tratamiento químico para clarificación de agua producida usado actualmente en los campos 1 y 2 son los adecuados	-	-	-	-	8
8	Se obtiene una buena separación de las O/W y TSS con los tratamientos de clarificación de agua usados actualmente en los campos 1 y 2	-	-	-	-	8
9	Se logra el aprovechamiento de las grasas disueltas en el agua de producción para incrementar la producción de los campos 1 y 2	-	-	-	-	8
10	El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para vertimiento	-	-	-	-	8
11	El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para reinyección	-	-	-	-	8

Item	Pregunta	TD	D	N	S	TS
12	La calidad de agua producida no afecta la integridad de los pozos inyectores de los campos 1 y 2	-	-	-	-	8
13	Haría algo diferente para mejorar la calidad del tratamiento de clarificación de agua de los campos 1 y 2	8	-	-	-	-
14	Considera necesario mejorar el tratamiento de clarificación de agua actual en los campos 1 y 2	8	-	-	-	-

Nota. Respuesta a las preguntas para el juicio de expertos

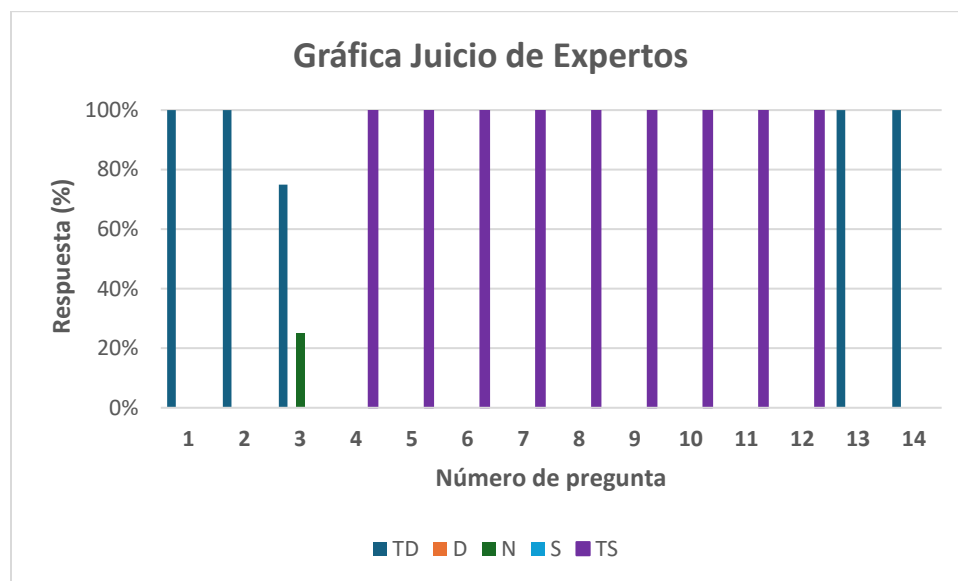
Se comparte el significado de las siglas utilizadas en las preguntas a los expertos

Sigla	Significado
TD	Totalmente de acuerdo
D	De acuerdo
N	Ni de acuerdo ni desacuerdo
S	En desacuerdo
TS	Totalmente en desacuerdo

Nota. Significado siglas para respuesta a preguntas del juicio de expertos

Una vez obtenidas las respuestas de las preguntas a los expertos, se procede con la graficar dichas respuestas para poder analizar mejor los datos resultantes.

A continuación, se comparte la gráfica obtenida de las respuestas del juicio de expertos:

Figura 9*Gráfica Respuestas Juicio de Expertos**Nota.* Gráfica respuestas juicio de expertos

Sigla	Significado
TD	Totalmente de acuerdo
D	De acuerdo
N	Ni de acuerdo ni desacuerdo
S	En desacuerdo
TS	Totalmente en desacuerdo

Nota. Significado siglas para respuesta a preguntas del juicio de expertos

En síntesis, se puede evidenciar que los resultados de la entrevista muestran claramente que hay consenso entre los expertos sobre la necesidad de mejorar el tratamiento de clarificación de agua en los campos 1 y 2.

Todos los encuestados están de acuerdo en que se deben emplear mecanismos y productos químicos para separar sólidos y contaminantes del agua producida, pero también coinciden en que los procesos actuales no son eficientes ni cumplen con los estándares de calidad requeridos para el vertimiento o reinyección.

Además, todos los expertos están de acuerdo en que se debe hacer algo diferente para mejorar la calidad del tratamiento y consideran necesario implementar mejoras en el proceso actual. Estos hallazgos son fundamentales para orientar las acciones hacia el mejoramiento del tratamiento de agua en los campos 1 y 2.

Es crucial abordar esta situación para optimizar la eficiencia y reducir los riesgos asociados, implementando soluciones eficaces en la clarificación del agua producida para mejorar la rentabilidad y la seguridad de las operaciones en los campos 1 y 2.

Identificación de posibles soluciones alternativas a partir del DOFA extendido y juicio de expertos

A partir de la matriz DOFA extendida y el juicio de expertos surgen recomendaciones y soluciones químicas tales como la aplicación de coagulantes, floculantes, demulsificantes, acondicionadores de pH y de las soluciones mecánicas y proceso unitario a implementar tales como sedimentadores, flotadores, filtros, centrifugas, hidrociclones y tratamiento de membranas que coadyuvan en la mejora de la clarificación del agua en campos petroleros para remover sólidos suspendidos, aceites. A continuación, se citan alternativas recomendaciones químicas y mecánicas resultantes de las herramientas de gerencia de proyectos empleadas en la fase tratamiento.

Alternativas Químicas

Consiste en la aplicación productos químicos demulsificantes y clarificadores que generan una desestabilización de cargas coloidales que favorecen el proceso de clarificación del agua producida en los campos petroleros, siendo los más usados los siguientes:

Coagulantes

Son sustancias químicas que neutralizan las cargas eléctricas de las partículas suspendidas, facilitando su aglomeración.

Tipos. Sulfato de aluminio, cloruro férrico, alumbre y polielectrolitos.

Aplicación. Se añaden al agua para formar flóculos que pueden ser removidos por sedimentación o flotación.

Floculantes

Ayudan a aglomerar las partículas coaguladas en flóculos más grandes y fáciles de remover.

Tipos. Polímeros orgánicos como poliacrilamidas y polielectrolitos.

Aplicación. Se utilizan junto con coagulantes para mejorar la eficiencia de la clarificación.

Desemulsificantes

Rompen emulsiones agua-aceite, facilitando la separación del petróleo del agua.

Tipos. Polímeros no iónicos y tensioactivos.

Aplicación. Se añaden directamente al agua para desestabilizar emulsiones.

Acondicionadores de pH

Ajustan el pH del agua para optimizar los procesos de clarificación y prevenir la corrosión.

Tipos. Ácidos (como el ácido clorhídrico) y bases (como el hidróxido de sodio).

Aplicación. Se añaden al agua según sea necesario para alcanzar el pH deseado.

Alternativas Mecánicas

En los procesos mecánicos en la clarificación del agua se utilizan equipos especiales diseñados y construidos especialmente para lograr la correcta separación de fases líquida y sólidas, siendo los más usados y efectivos los siguientes:

Equipos sedimentadores: Son tanques diseñados especialmente para lograr una mayor separación de partículas suspendidas en el agua producida, durante un tiempo de residencia predeterminado y de acuerdo al proceso, dentro de los cuales se encuentran los sedimentadores de flujo horizontal y de placas inclinadas.

Celdas de Flotación

Son equipos especiales que sirven para la separación de sólidos suspendido-totales + grasas y aceites presentes de los efluentes del petróleo, mediante un sistema microburbujas, las cuales producen partículas de mayor tamaño, que por flotabilidad son enviadas a la superficie para su remoción. Estos equipos normalmente se conocen como DAF (Disolved Air Flotation - Flotación por aire disuelto).

Equipos Filtrantes

Son equipos especiales diseñados para la remoción de partículas mediante elementos filtrantes, dentro los elementos filtrantes se tienen arena, cascara de nuez, cartucho y de membrana.

Equipos de Separación Centrífuga

Equipos que aprovechan la fuerza centrífuga para separar partículas sólidas como, arena, arcilla, sólidos gruesos y sólidos finos suspendidos en el agua producida para ser retirados posteriormente.

Equipo de Separación Hidrociclónica

La mezcla agua + crudo + partículas ingresa al interior del equipo por la parte superior y basado en su diseño cónico, se crea un patrón de flujo giratorio tipo vórtice descendente para lograr una separación eficientemente las partículas sólidas.

Síntesis de las Alternativas de Soluciones

Las alternativas químicas y mecánicas identificadas mediante la aplicación de las herramientas de la gerencia de proyectos matriz DOFA extendida y juicio de expertos, permiten mejorar el proceso de clarificación en el agua producida de los campos 1 y 2.

Evaluación de alternativas de solución identificadas. Mediante la aplicación de las herramientas de gerencia de proyectos matriz DOFA extendida y juicio de expertos permiten conocer y comprender las alternativas posibles para el mejoramiento de la clarificación del agua producida, siendo la alternativa química la más viable, en razón a que los campos petroleros 1 y 2 ya cuentan con las facilidades mecánicas para el proceso de clarificación. Valoración técnica de las alternativas de solución utilizando criterios de decisión

Valoración

Para la valoración técnica de las alternativas de solución se utilizamos la herramienta de la gerencia de proyectos matriz de decisión no ponderada, donde se analizan los factores importantes y relevantes para llevar a cabo la toma de decisiones de un proyecto.

Figura 10

Matriz de Decisión - No Ponderada

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	
CRITERIOS DESCRIPCIÓN	COSTO	CURVA DE APRENDIZAJE	CONFIABILIDAD	
Opción	Criterio 1 PUNTUACIONES	Criterio 2 PUNTUACIONES	Criterio 3 PUNTUACIONES	PUNTUACIÓN TOTAL
Alternativa Química	2	4	5	11
Alternativa Mecánica	5	5	5	15

Nota: Matriz de decisión - No ponderada

Análisis de Resultados

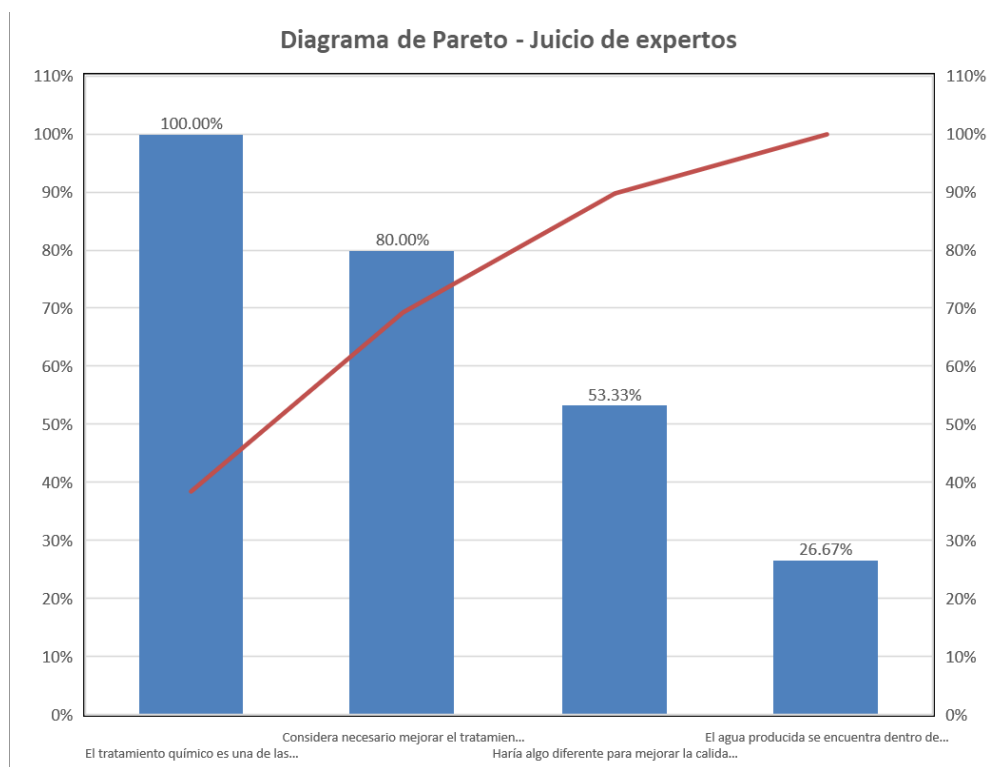
Determinación de las Alternativas de Solución

Mediante la herramienta diagrama de Pareto de la gerencia de proyectos se analizan respuestas del juicio de los expertos, donde se identifica que las tareas con mayor impacto por parte de los expertos para mejorar la clarificación del agua en la producción de crudo son:

- ✓ El tratamiento químico es una de las soluciones más efectivas y sostenibles para el problema de clarificación de agua producida.
- ✓ El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para reinyección
- ✓ Haría algo diferente para mejorar la calidad del tratamiento de clarificación de agua de los campos 1 y 2.
- ✓ Considera necesario mejorar el tratamiento de clarificación de agua actual en los campos 1 y 2.

Figura 11

Diagrama de Pareto Juicio de Expertos



Nota. *Diagrama de pareto juicio de expertos*

Valoración de Alternativa Propuesta

Basado en los resultados de las herramientas en gerencia de proyectos juicio de expertos, matriz de criticidad, diagrama de Pareto y matriz de decisiones sobre la necesidad de mejorar el tratamiento de clarificación de agua en los campos 1 y 2.

Todas las herramientas apuntan en que se deben emplear productos químicos para separar sólidos y contaminantes del agua producida, pero también coinciden en que los procesos actuales no son eficientes ni cumplen con los estándares de calidad requeridos para el vertimiento o reinyección. Además, las herramientas de la gerencia de proyectos muestran coincidencia en que se debe hacer algo diferente para mejorar la calidad del tratamiento y consideran necesario implementar mejoras en el proceso actual. Estos hallazgos son fundamentales para orientar las acciones hacia el mejoramiento del tratamiento de agua en los campos 1 y 2.

Es importante abordar esta situación para optimizar la eficiencia y reducir los riesgos asociados, implementando nuevas soluciones químicas eficaces en la clarificación del agua producida para mejorar la rentabilidad y la seguridad de las operaciones en los campos 1 y 2.

Basado en las recomendaciones del juicio de expertos y matriz de decisiones se procede a realizar pruebas de piloto en laboratorio con el producto de campo vs nueva alternativa de mejora para la clarificación de agua con el agua producida de los campos 1 y 2, obteniendo los valores descritos en las tablas 14 y tabla 15 respectivamente.

Campo 1

En la tabla 14 se detallan los resultados obtenidos en el laboratorio con el producto químico actual y la nueva propuesta para la clarificación de agua realizada por profesionales externos de aseguramiento del campo 1.

En la tabla 14 se encontrarán 6 -seis columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Producto (hacer referencia a los nombres productos utilizados)

Columna 2: Dosis ppm (hace referencia el uso de los productos en partes por millón)

Columna 3: TSS ppm (hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua, expresado en partes por millón)

Columna 4: O/W ppm (hace referencia al aceite presente en el agua, expresado en partes por millón)

Columna 5: % Remoción TSS (hace referencia a la eficiencia del producto para los TSS con respecto al blanco)

Columna 6: % Remoción O/W (hace referencia a la eficiencia del producto para los O/W con respecto al blanco)

Tabla 14

Prueba Clarificación Campo 1

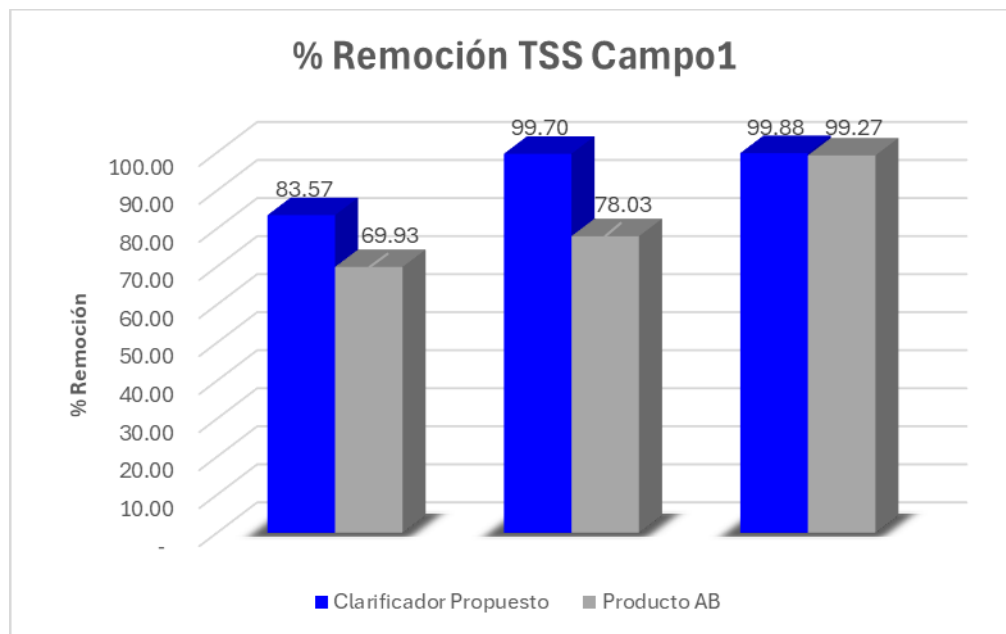
Prueba Clarificación Campo 1					
Producto	Dosis (ppm)	TSS(mg/L)	O/W(ppm)	% Remoción TSS	% Remoción O/W
Clarificador Propuesto	5	540	202	83.57	92.24
	8	10	12	99.70	99.54
	10	4	2	99.88	99.92
Producto AB	10	988	567	69.93	78.22
	15	722	366	78.03	85.94
	20	24	60	99.27	97.69
Blanco	0	3286	2603	-	-

Nota. Prueba Clarificación Campo 1

En tabla 14 y en la figura 11 a continuación, podemos evidenciar que el producto el producto clarificador propuesto presenta una alta eficiencia que permite que los TSS estén dentro de los parámetros exigidos por la operadora para el campo 1.

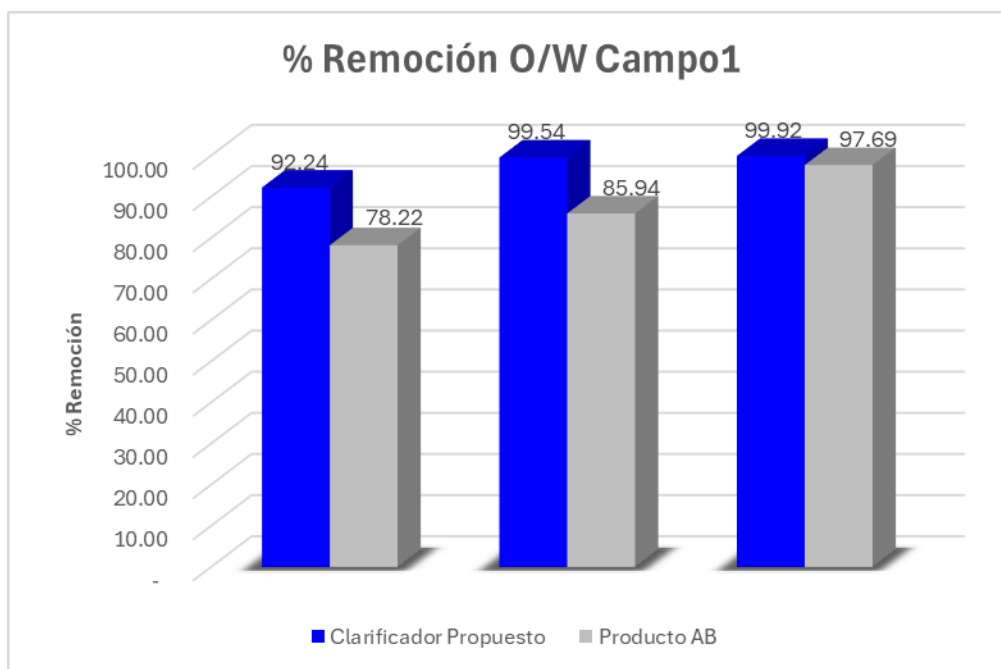
Figura 12

Remoción TSS Campo 1



Nota. Remoción TSS campo 1

En tabla 14 y en la figura 12 a continuación, podemos evidenciar que el producto clarificador propuesto presenta una alta eficiencia que permite que los O/W estén dentro de los parámetros exigidos por la operadora para el campo 1.

Figura 13*Remoción O/W Campo 1*

Nota. Remoción O/W campo 1

Campo 2

En la tabla 15 se detallan los resultados obtenidos en el laboratorio con el producto químico actual y la nueva propuesta para la clarificación de agua realizada por profesionales externos de aseguramiento del campo 2.

En la tabla 15 se encontrarán 6 -seis columnas que se interpretan de la siguiente manera:

Columna 1: Producto -hace referencia a los nombres productos utilizados.

Columna 2: Dosis ppm -hace referencia el uso de los productos en partes por millón.

Columna 3: TSS ppm -hace referencia a los sólidos totales suspendidos presentes en el agua, expresado en partes por millón.

Columna 4: O/W ppm -hace referencia al aceite presente en el agua, expresado en partes por millón.

Columna 5: % Remoción TSS -hace referencia a la eficiencia del producto para los TSS con respecto al blanco.

Columna 6: % Remoción O/W (hace referencia a la eficiencia del producto para los O/W con respecto al blanco)

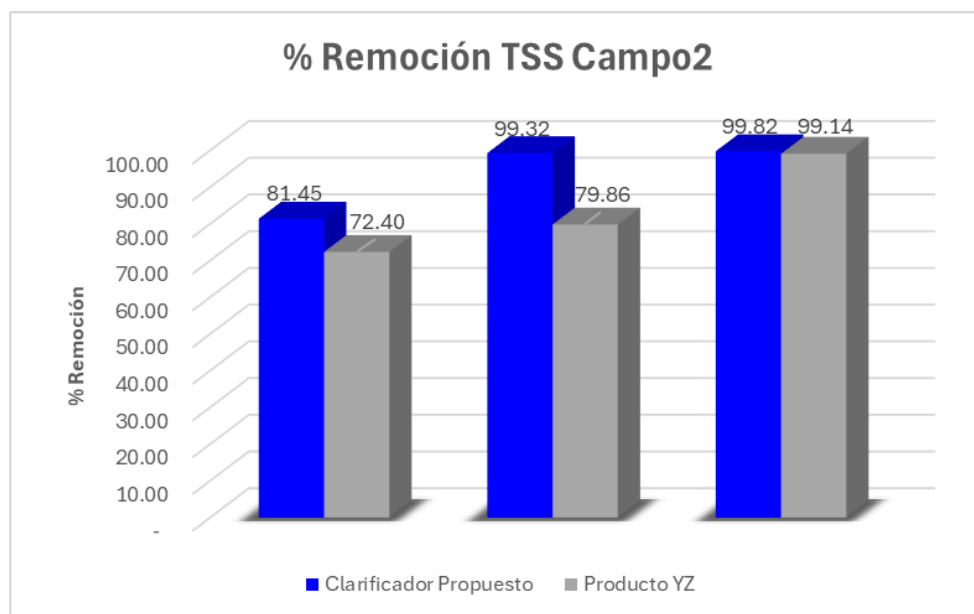
Tabla 15

Prueba Clarificación Campo 2

Prueba Clarificación Campo 2					
Producto	Dosis (ppm)	TSS(mg/L)	O/W(ppm)	% Remoción TSS	% Remoción O/W
Clarificador Propuesto	2	820	264	81.45	93.19
	4	30	14	99.32	99.64
	5	8	5	99.82	99.87
Producto YZ	8	1220	678	72.40	82.51
	10	890	452	79.86	88.34
	12	38	62	99.14	98.40
Blanco	0	4420	3876	-	-

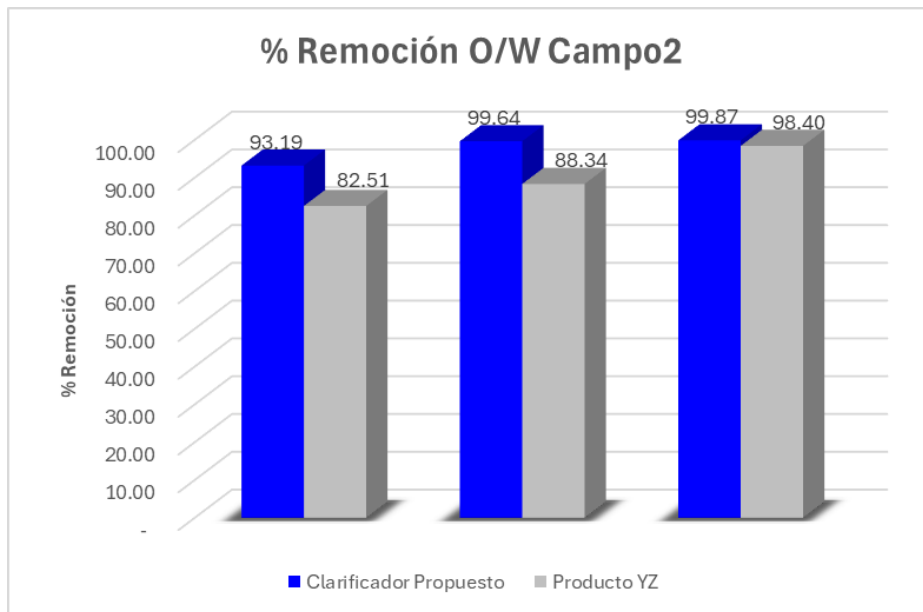
Nota. Prueba Clarificación Campo 2

En tabla 15 y en la figura 13 a continuación, podemos evidenciar que el producto el producto clarificador propuesto presenta una alta eficiencia que permite que los TSS estén dentro de los parámetros exigidos por la operadora para el campo2.

Figura 14*Remoción TSS Campo 2*

Nota. Remoción TSS Campo 2

En tabla 15 y en la figura 14 a continuación, podemos evidenciar que el producto clarificador propuesto presenta una alta eficiencia que permite que los TSS estén dentro de los parámetros exigidos por la operadora para el campo2.

Figura 15*Remoción O/W Campo 2**Nota. Remoción O/W Campo 2*

Conclusiones

Al identificar las características productivas durante el proceso de clarificación del agua en la producción de crudo, se obtuvo un diagnóstico detallado de la eficiencia operativa de los equipos mecánicos y la efectividad de los productos químicos utilizados. Esto proporciona una base sólida para mejorar la gestión del agua producida, asegurando una mayor calidad del agua tratada y cumpliendo con los estándares ambientales.

El análisis exhaustivo del diagnóstico productivo de la clarificación del agua, mediante el monitoreo y control continuo de los parámetros de calidad agua producida, ha permitido identificar áreas críticas de mejora.

La implementación de un nuevo producto de clarificación de agua ha demostrado ser crucial para optimizar el proceso de clarificación, mejorando la precisión y eficiencia operativa. Esta solución ha proporcionado bases sólidas para abordar de manera efectiva los desafíos identificados y mejorar la gestión del agua durante la producción de crudo.

Tras evaluar de manera integral las soluciones propuestas para la clarificación del agua en la producción de crudo, se ha logrado identificar el impacto positivo de las mejoras implementadas.

La solución propuesta tal como se ha evidenciado en el Figura 11, Figura 12, Figura 13 y Figura 14, para los campos 1 y 2 respectivamente, existe un incremento en la remoción O/W de un 15.56% y 11.45% frente al YZ. Así mismo, el TSS tiene un incremento de remoción 15.11% y 10.06% en cada uno de los dos campos, lo que ha demostrado ser una solución eficaz en la remoción de contaminantes, permitiendo así el cumplimiento de los KIPs establecidos por la operadora en los campos 1 y 2, así como de normativas ambientales, contribuyendo así a operaciones más sostenibles y rentables.

La evaluación continua de esta alternativa química de clarificación es crucial para mantener la eficacia a largo plazo y continuar mejorando el proceso de clarificación del agua en el sector petrolero.

Recomendaciones

Es importante fortalecer los planteamientos de la gestión de proyectos al diseñar estrategias y recursos necesarios. Para ello, se deben establecer procedimientos y medidas de seguridad, además de ejecutar auditorías internas a intervalos regulares para evaluar el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua en los campos 1 y 2. Estas auditorías permiten identificar áreas de mejora, asegurar que los estándares de calidad se mantengan y que las operaciones sean eficientes y seguras.

Para garantizar la confiabilidad del proceso se debe implementar un sistema de gestión para el monitoreo y control de las variables, permitiendo esto la toma de decisiones en caso de que surjan desviaciones y definir acciones para mitigarlas.

La divulgación de este proyecto es importante en la sensibilización de la industria Oil&Gas sobre la importancia de adoptar nuevas tecnologías químicas y mecánicas, para demostrar el compromiso del sector energético con la mejora continua y la provisión de soluciones efectivas.

Se recomienda mantener la sinergia de opiniones entre los expertos que respalda la importancia de abordar tanto la actualización de equipos como el uso de métodos químicos para lograr mejoras significativas en el proceso de clarificación. Esta coparticipación entre diferentes disciplinas de trabajo asegura y conlleva a obtener resultados impactantes y efectivos.

Bibliografía

- A. Zhyzhneuski, Effective Time Management and Its Importance for Construction Projects
http://www.academia.edu/2053443/Effective_Time_Management_and_its_importance_for_construction_projects._Time_Management_techniques_and_tools
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2015). Producción mensual de Petróleo.
<http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Sistema-Integrado-deOperaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx>
- Aguirre, P. (2003, 12 de marzo). Exploración del Petróleo en Colombia, una aproximación empírica.
https://economia.uniandes.edu.co/images/archivos/pdfs/Articulos_Revista_Desarrollo_y_Sociedad/Articulo51_1.pdf
- Arnold, K. (1986). Surface Production Operations, Volume 1, *Design of Oil-Handling Systems and Facilities*. Gulf Publishing Company.
https://www.academia.edu/31686267/Ken_Arnold_Surface_Production_Operations_Volume_1_3rdE
- Arps, J. (1994). Analysis of Decline Curves” paper JPT 175. Houston Meeting.
<https://acortar.link/2tPFCU>
- Bailey, W., Couét, B., Lamb, F., Rose P. (2016). Riesgos Medidos. Oilfield Review. Pág. 29.
file:///C:/Users/E1217211/Downloads/p20_35.pdf
- Beltran, J., Carmona, C., Carrasco, R. (2012). Guía para una Gestión Basada en Procesos”.
<http://www.centrosdeexcelencia.com/dotnetnuke/portals/0/guiageestionprocesos.pdf>
- C. Besner, B. Hobbs, "Project Management Practice, Generic or Contextual: A Reality Check",
 Project Management Journal 39(1), 16-33, 2008

C. Besner, B. Hobbs, "The perceived value and potential contribution of project management practices to project success", *Project Management Journal* , 37(3), 37-48, 2006.

Caba, N., Chamorro, O., Fontalvo, T. (2011). *Gestión de la Producción y Operaciones*.

<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102508/Gestiondelaproduccionyoperaciones.pdf>

Cabero Almenara, Julio y Llórente Cejudo, María del Carmen. (2013). La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información

(TIC). *Eduweb. Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación*,

vol. 7, núm. 2, pp.11-22. Recuperado

de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/eduweb/v7n2/art01.pdf>.

Cabrera, N. (2011). *Tendencia: Prolongar la vida de los campos maduros*.

<http://www.energiabolivia.com>.

Campos, G., & Martínez, N. E. L. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 7(13), pp. 45-60.

Carolina, Z. Ramos, J. (2010). Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental legal en Venezuela. Una visión crítica de su efectividad.

<https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730384008.pdf>

Carro, R., y Gonzalez, R, (2008). *Capacidad y Distribución física*, Administración de Operaciones, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires.

https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1620/1/15_capacidad_distribucion.pdf

Empresa Colombia de Petróleos, ECOPETROL S.A. (2012). *Plan de Desarrollo Campo Provincia*, Marzo de 2012, Gerencia Técnica y Desarrollo E&P Superintendencia de Yacimientos, Bogotá, Colombia.

<https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/31949?show=full>

Escamilla P. & Álvarez E. (2019): “Herramientas de control y evaluación de proyectos para la toma de decisiones en el proceso administrativo”.

<https://eumed.net/ce/2019/3/decisiones-proceso-administrativo.html>

Escobar Pérez, Jazmine y Cuervo Martínez, Ángela. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, vol. 6, núm. 1, pp. 27-36. Recuperado de

http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf.

Gil, E., Chamorro, A. (2009). Técnicas recomendadas para el aumento de la producción en campos maduros” <http://www.oilproduction.net>.

Guerrero, J. E. (2022). Estudio para la implementación de la estrategia de control operacional bajo la Norma NTC – ISO 50001 para el mejoramiento de la eficiencia energética en una planta de inyección de agua perteneciente al proceso de recobro secundario en el Magdalena Medio colombiano. <http://hdl.handle.net/20.500.12749/17465>

Heizer, J., y Render, B. (2001). Dirección de la Producción y de Operaciones. *Decisiones estratégicas*. Prentice Hall. 6ª edición. <https://apuntesutnpilar.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/03/direccic3b3n-de-la-produccic3b3n-y-de-operaciones-d-e-8va-ed-heizer-render-pearson.pdf>

J. H., Canós, P., Letelier, M. C. Penadés, Metodologías ágiles en el desarrollo de software Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2003, pp. 4-5.

J. J. M., Miranda, Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera-económica-social-ambiental MMEditores, 2005, pp. 3-27.

- J. Sanchez, "Modelos de gestión de proyectos: di rección de proyectos compatible", Dyna 87, 214-221, 2012.
- Jayakumar, R., Nwe, N., Tokura, S., y Tamura, H. (2007). Sulfated chitin and chitosan as novel biomaterials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 40(3), 175-181.
- Kalenatic, D., López C., González L. (2007), Modelo de medición, análisis, planeación y programación de las capacidades en un contexto de múltiples criterios de decisión. *Revista Ingeniería de la Universidad Distrital FJC. Vol 10 No 2. Bogotá-Colombia.*
<https://doi.org/10.14483/23448393.2718>
- L. Crawford, J. Pollack, "How generic are project management Knowledge and practice?", *Project Management Journal* 38(1), 37-48, 2007.
- López, J. (s.f.). Análisis de matriz DOFA: *Los orígenes del modelo de análisis DOFA.*
<https://acortar.link/zD4n1E>
- Lowe, B., Trotter, G. (2009). Nuevas tácticas para el manejo de la producción. *Oilfield Review. Schlumberger.* file:///C:/Users/E1217211/Downloads/p2_17.pdf.
- M. Broquetas. Using BIM as a Project Management Tool. Tesis de Maestría, University of Applied Sciences Stuttgart, 2010.
- M. Suarez, *Interaprendizaje de probabilidades y estadística inferencial con excel, winstats y graph*, Primera edición, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual, 2013, pp. 139-141.
- Mengual O, Meunier G, Cayré I, Puech K y Snabre P (1999). Turbiscan MA 2000: multiple light scattering measurement for concentrated emulsion and suspension instability analysis. *Talanta*, 50 (2),445-456.

- Moreno Linares, L. (2014). Mejora al proceso de recuperación de aceite y clarificación de agua mediante la evaluación de un tratamiento químico aplicado al efluente de una refinería. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/MX_bcd1234efd7209471c0a777dafd949cc
- Pan, L. G., Tomás, M. C., y Añón, M. C. (2002). Effect of sunflower lecithins on the stability of water-in-oil and oil-in-water emulsions. *Journal of surfactants and detergents*, 5(2), 135-143.
- Pareto, V. I. L. F. R. E. D. O. (1848). Diagrama de Pareto. <http://www.google.com/cu/url>.
- Pedrosa, Ignacio; Suárez-Álvarez, Javier; García-Cueto, Eduardo. (2013). Evidencias sobre la validez de contenido: avances teóricos y métodos para su estimación. *Acción Psicológica*, vol. 10, núm. 2, pp. 3-18. <http://dx.doi.org/10.5944/ap.10.2.11820>.
- Plata, C. A. (2017). La administración y el proceso administrativo. Universidad Jorge Tadeo Lozano, p. 121.
- PMI, Agile Certified Practitioner (PMI_ACP) Handbook, Pensilvania: Project Management Institute, 2015, pp. 33-35.
- PMI, Construction extension to a Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pensilvania: Project Management Institute, 2003, pp. 10-17.
- PMI, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos Quinta edición, Pensilvania: Project Management Institute, 2013, pp. 29-319.
- Raiger L. & López, N. (2009). Los biosurfactantes y la industria petrolera. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84389/CONICET_Digital_Nro.df478cf6-a8f2-4903-a4ec-2e412695346e_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Rivera Armijos, C. A. (2017). Directrices y acciones estratégicas para empresas de productos y servicios de facilidades de superficie petroleras considerando el cambio de la matriz

productiva y la crisis económica del sector.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17351>

Robles Garrote, Pilar y Rojas, Manuela del Carmen. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada*, núm. 18.

T. Blomquist, M. Hallgren, A. Nilsson, A. Soderholm, "Project-as-Practice: In Search of Project Management Research That Matters", *Project Management Journal* 41(1), 5-16, 2010.

Terrazas Pastor, R. (2011). Planificación y programación de operaciones. *Revista Perspectivas*, (28), pp.7-32.

Usman, A. (2004). Máximo aprovechamiento de los campos petroleros maduros.

<http://www.statoil.com>.

Apéndice

Apéndice A

Matriz de Criticidad

Ubicación (Municipio): Casanare CAPEX: Línea base Libro de Proyecto: Orlando Giraldo / Fernando Ballén Fecha Actualización: 12 Abril 2024																											
No.	MATRIZ DE CRITICIDAD PROYECTOS																										
	CAUSAS	RIESGO	CONSECUENCIAS	CALIFICACIÓN RIESGO INHERENTE					Valoración Riesgo Inherente	CONTROLES					CALIFICACIÓN RIESGO RESIDUAL	Valoración Riesgo Residual	MANEJABILIDAD	ACCIONES DE TRATAMIENTO	PERIODO DE EJECUCIÓN	PROPIETARIO DEL RIESGO							
	Factor interno o externo que ocasiona un evento de riesgo (Causa)	Evento que puede devenir el proyecto en su promesa de valor (Riesgo)	Efectos que generaron por la materialización del evento o riesgo (Consecuencia)	Familiaridad	Previsión	Bombazo	Mediabilidad	Reposición	DOH	Contabilidad del Negocio	Nivel de riesgo sin aplicar controles	Control/acciones adicionales que mitigan causas	Familiaridad	Previsión	Bombazo	Mediabilidad	Reposición	DOH	Contabilidad del Negocio	Nivel de riesgo luego de controles	Manejabilidad Bajo - Medio - Alto	Detallar la Actividad específica a realizar para eliminar o reducir las causas de un riesgo o disminuir el impacto	Tiempo en el cual se ejecutará la acción	Encargado de gestionar la acción de tratamiento			
1	A. Error humano, comportamientos inadecuados con baja participación del riesgo. B. Inoperabilidad de recibir algún procedimiento por fallas en la comunicación y en la entrega de los turnos, generados. C. Presencia de personal nuevo en la instalación. D. Falta de competencia del personal. E. Producto químico no conforma. F. Fallas en los equipos de identificación de químicos. G. Falta de identificación y frangido de productos químicos.	Incidentes operacionales.	Interrupción de la afectación a la integridad de personas, retrasos en tiempos y subsecuente inadecuación a la operación normal y segura (riesgo), afectación al medio ambiente y la seguridad y sus instalaciones.	C	3C	1C	1C	3C		3C	3C-Alto	A. Monitoreo antes de ingresar del personal. B. Definición de roles y responsabilidades. C. Suficiencia de turnos y roles. D. Procedimiento de capacitación. E. Reuniones de asesoría pre-operativa. F. Procesos de trabajo en "entramado" norma control de trabajo. G. Plan de inducción al personal. H. Acompañamiento por parte de líder de proyecto al personal nuevo. I. Evaluación que incluye de vista por parte del personal de la operación. J. Aseguramiento con contratos del perfil de trabajadores. K. Revisión de verificaciones equipos de personal previo al trabajo. L. Definición de responsabilidades.	C	3C	1C	1C	3C	2C	3C-Medio	MEDIO	Control y seguimiento de las actividades identificadas. Doble chequeo de las actividades planificadas.	1 mes 2 horas. Cambio de turno.	Planificación actividades de tratamiento químico				
2	A. Eventos interdisciplinarios. B. Inoperabilidad de elementos de stock requeridos para el tratamiento químico. C. Inoperabilidad de producción (productos químicos). D. Bloqueos por parte de personal. E. No renovación de certificaciones de personal que desarrolla actividades. F. Falta en la logística y transporte. G. Mal estado de la vía. (Desvío). H. Eventos sociales (Paros).	Interrupción operacional o de personas en la ejecución de la actividad (paros).	Afectación programada del sistema, afectación con acciones, cambio de alcance de los trabajos, obtención de recursos ante contingencias adversas. (Llaves)	D		2D		3D			3D-Medio	A. Revisión de procedimientos para toma de medidas como colocar carpas - evitar riesgos. B. Monitoreo y control con el área de abastecimiento. C. Seguimiento a los procesos en curso con el fin de lograr que las órdenes de compra se pongan en los tiempos requeridos para obtener los productos. D. Asignación de personal adicional que apoye las compras. E. Personal de back de tres personas para cada disciplina. Para el caso de las especialidades no hay control. F. Control del proceso de control social (se realiza y divulga a las comunidades afectadas que se va a realizar).	C	2C		2C				2C-Medio	MEDIO	Reuniones semanales para monitoreo de materiales y abastecimiento.	Semanal	Planificación actividades de tratamiento químico y abastecimiento.			
3	A. Indisciplina de los personal en la aplicación de bioseguridad (cumplimiento de bioseguridad). B. Contacto con personal que sea resultado de recursos que provienen de afuera (familia, transporte de los especialistas, alimentación durante el traslado, etc). C. No contar de manera oportuna con los recursos necesarios para la prevención en personal. D. Mala calidad o mal uso de los recursos para prevención por parte del personal. E. Falta de cultura y sensibilización.	Contagio del personal, enfermedades y/o comunidades.	Brotes de enfermedades.	C	2C						2C-Bajo	A y B. Protocolo de bioseguridad, de contacto y de respuesta de la empresa contratista. A. Supervisión en sitio de las operaciones. B. Detección de enfermedades. C. Detección de actos inseguros (control social). D. Refuerzo de recursos humanos al nivel de operación. E. Aseguramiento de los recursos. F. Supervisión de los actos de la operación y reporte al contratista. G. Aseguramiento con empresas contratistas.	A	2A							2A-Muy bajo	BAJO	B. Desarrollar conversaciones y relaciones durante la ejecución.	Diario	ES		
4	A. Mayor expectativa por parte de la comunidad y/o asociaciones particular en actividades de la operación. B. Mayor expectativa por parte de la comunidad de apoyo adicionales (agua, insumos, etc). C. Requerimiento por presencia de operarios. D. Paros de la comunidad al gobierno. E. Disputas territoriales entre las comunidades.	Bloqueos por parte de la comunidad.	Afectación de la reputación, demandas por parte de la comunidad que afectan en lo programado.	C		C					2C-Bajo	Todas. Controles asociados al proceso de Gestión Social. Revisar las metas de programación. Reforzar con la comunidad el compromiso permanente con entidades gubernamentales y sociales. Utilizar las asociaciones existentes en caso de afectación de vías. Buena relación con comunidades.	C		C							BAJO	Acercamiento permanente con las comunidades en el área de influencia directa.	Semanal	Gestión Social		
5	A. Falta en los registros de separación y de procesos críticos.	Afectación en la capacidad de entrega.	Incumplimiento con acciones, afectación a la reputación, multas por incumplimientos.	C		3C		3C			3C-Medio	A. Mantenimientos preventivos. B. Definición de personal a la atención en los equipos de separación y de procesos críticos. C. Reuniones semanales de validación de pendientes de los equipos de separación y de procesos críticos. D. Monitoreo de condiciones de operación. E. Estrategia de tratamiento químico. F. Controlabilidad de los equipos.	C	2C	2C						2C-Bajo	BAJO	Estrategia de comunicación durante la ejecución de las actividades de tratamiento químico.	Das meses	Producción y tratamiento químico		
6	A. Inoperabilidad de controles de la empresa a cargo del tratamiento químico. B. Inoperabilidad de elementos de stock requeridos para la aplicación de los productos químicos. C. Retrasos en el despacho de los productos químicos al campo.	Imposibilidad de atender los pedidos (Requisitos y demás inspecciones).	No se cuenta con personal para atender la operación. Afectación a la reputación por parte de la comunidad, Retrasos en la preparación por no contar con los equipos y paradas los operarios.	C		4C		2C			4C-Medio	A. Posibilidad de hacer de uso del contrato de tratamiento químico. B. Posibilidad de hacer de uso del contrato de tratamiento químico.	C	3C	1C							3C-Medio	BAJO	Identificación y reemplazo de los productos químicos	Das meses	Producción y tratamiento químico.	
7	A. Presencia de denuncia común en la zona. (Ejecución al margen de la ley). B. Nerviosismo. C. Extorsión.	Actos de terceros que afectan la seguridad de las personas.	Falsedad, Lesiones, muertes en la ejecución de las actividades.	C		4C					4C-Medio	A. Controles asociados al proceso de bioseguridad. B. Ayuda con fuerzas militares y policia.	C	2C									2C-Bajo	MEDIO	Reuniones con el departamento de policía y el comando de batallón Casanare, Senga con la red de cooperantes.	Semanal / 15 días	Prevención Inherente.

Apéndice B

Formato Preguntas Juicio de Expertos

Instrumento para la recolección de datos sobre el tratamiento de clarificación de agua de los campos 1 y 2

Instrucciones: Responder en cada uno de los siguientes ítem/preguntas con actitud según estás totalmente de acuerdo, de acuerdo, ni de acuerdo, ni desacuerdo, en desacuerdo o totalmente en desacuerdo. Marca el nivel deseado con una X.


Escala de valoración:

TD	Totalmente de acuerdo
D	De acuerdo
N	Ni de acuerdo, ni desacuerdo
S	En desacuerdo
TS	Totalmente en desacuerdo

Item / Pregunta	TD	D	N	S	TS
1 Se emplean mecanismos como la sedimentación, filtración, flotación y centrifugación para separar los sólidos suspendidos, grasas y aceites presentes en el agua					
2 Se utilizan productos químicos para alterar las propiedades de los contaminantes y facilitar su eliminación.					
3 Estos procesos transforman los contaminantes disueltos en formas que pueden ser fácilmente separadas del agua					
4 Los procesos físicos y químicos para eliminar o reducir los contaminantes presentes están siendo eficientes					
5 El tratamiento químico es una de las soluciones más efectivas y sostenibles para el problema de clarificación de agua producida					
6 La calidad de agua producida en el proceso de separación de grasas y sólidos suspendidos se encuentra dentro de los indicadores planteados					
7 El tratamiento químico para clarificación de agua producida usado actualmente en los campos 1 y 2 son los adecuados					
8 Se obtiene una buena separación de las O/W y TSS con los tratamientos de clarificación de agua usados actualmente en los campos 1 y 2					
9 Se logra el aprovechamiento de las grasas disueltas en el agua de producción para incrementar la producción de los campos 1 y 2					
10 El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para vertimiento					
11 El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para reinyección					
12 La calidad de agua producida no afecta la integridad de los pozos inyectores de los campos 1 y 2					
13 Haría algo diferente para mejorar la calidad del tratamiento de clarificación de agua de los campos 1 y 2					
14 Considera necesario mejorar el tratamiento de clarificación de agua actual en los campos 1 y 2					

Apéndice C

Formato Aprobación Preguntas Juicio Expertos

Guía de observación para la recolección de datos sobre el tratamiento de clarificación de agua producida de los campos 1 y 2							
Objetivo (de esta guía)	Mejorar el instrumento de medición con base a la experiencia de un experto						
Objetivos de la investigación	Distinguir los diferentes métodos (físicos - químicos) para el tratamiento de clarificación de agua producida en campos petroleros						
	Identificar la percepción de las personas respecto al tratamiento de clarificación de agua producida en campos petroleros						
	Conocer los beneficios y alteraciones con respecto al tratamiento químico para la clarificación de agua producida en campos petroleros						
Item/Pregunta	Calidad en la redacción	Sesgo (inducción a respuesta)	Coherencia interna	Redacción adecuada a la población de estudio	Respuesta puede estar orientada a la deseabilidad	Contribuye a los objetivos de la investigación	Contribuye a medir el constructo en estudio
Item/Pregunta No1	X			X		X	X
Item/Pregunta No2	X			X		X	X
Item/Pregunta No3	X			X		X	X
Item/Pregunta No4	X			X		X	X
Item/Pregunta No5	X			X		X	X
Item/Pregunta No6	X			X		X	X
Item/Pregunta No7	X			X		X	X
Item/Pregunta No8	X			X		X	X
Item/Pregunta No9	X			X		X	X
Item/Pregunta No10	X			X		X	X
Item/Pregunta No11	X			X		X	X
Item/Pregunta No12	X			X		X	X
Item/Pregunta No13	X			X		X	X
Item/Pregunta No14	X			X		X	X
Observaciones generales, considerar si debe eliminarse, modificarse (por favor especificar).	En general se observa una secuencia lógica de preguntas orientadas a la mejora del tratamiento químico en la clarificación de agua de producida en campos de producción de crudo.						
Consideraciones generales						SI	NO
Las intrucciones orientan claramente para responder el cuestionario						X	
La secuencia de los items es lógica						X	
La cantidad de items es adecuada						X	
El instrumento esta diseñado con estética, usabilidad y fácil lectura						X	
Consideraciones finales (por favor agregar observaciones que han sido consideradas de este formato)							
1 Considero prudente enviar encuesta a través de un forms para agilizar la respuesta de los expertos.							
2..							
Intrumento validado por:	Yosemith Pereira			Firma:			
Celular:	3125157404						
Correo electrónico:	Yosemithpereira@gmail.com						

Apéndice D

Respuestas Preguntas Juicio de los Expertos

ID	Fecha	Cargo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	4/16/2024	Superintendente de producción	TD	TD	TD	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
10	4/16/2024	Supervisor de producción Senior	TD	TD	TD	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
11	4/17/2024	Supervisor de producción Junior	TD	TD	TD	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
12	4/17/2024	Supervisor de Tratamiento químico	TD	TD	TD	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
13	4/17/2024	Ingeniero de tratamiento químico Senior	TD	TD	TD	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
14	4/17/2024	Ingeniero de tratamiento químico Junior	TD	TD	TD	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
15	4/17/2024	Técnico de tratamiento químico	TD	TD	N	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD
16	4/17/2024	Analista de laboratorio	TD	TD	N	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TD	TD

Apéndice E

Cantidad de Respuestas Juicio de Expertos

1. Fecha	
Más detalles	
8 Respuestas	Respuestas más recientes "2024-04-17" "2024-04-17" "2024-04-17"

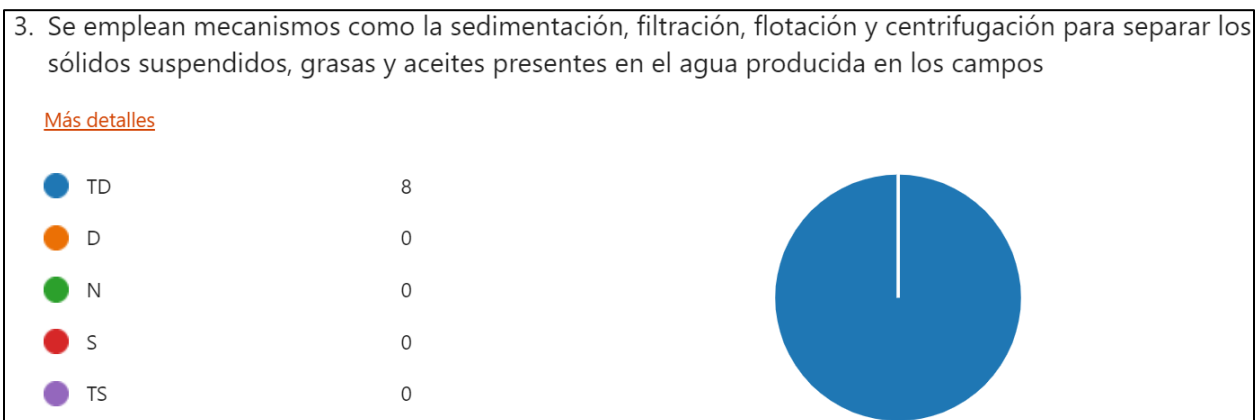
Apéndice F

Cargo de Juicio de Expertos

2. Cargo	
Más detalles	
8 Respuestas	Respuestas más recientes "Analista de laboratorio" "Técnico de tratamiento químico" "Ingeniero de tratamiento químico Junior"

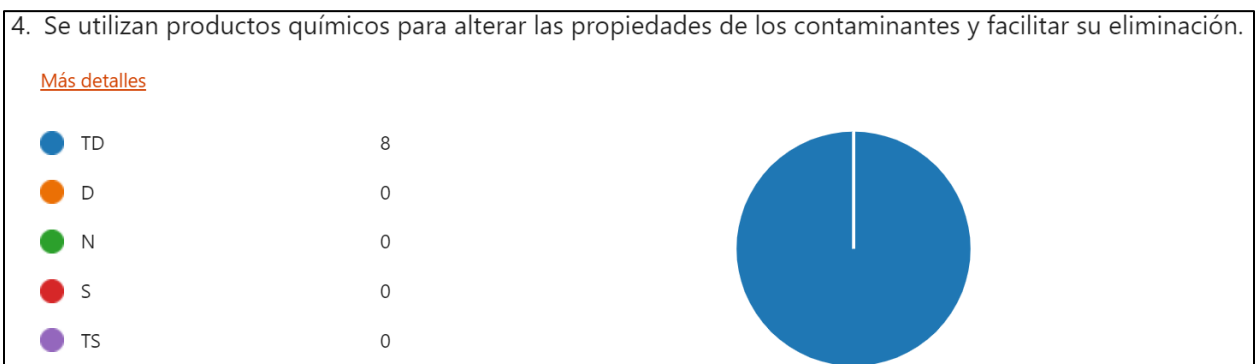
Apéndice G

Respuesta a la pregunta 1 Juicio de Expertos



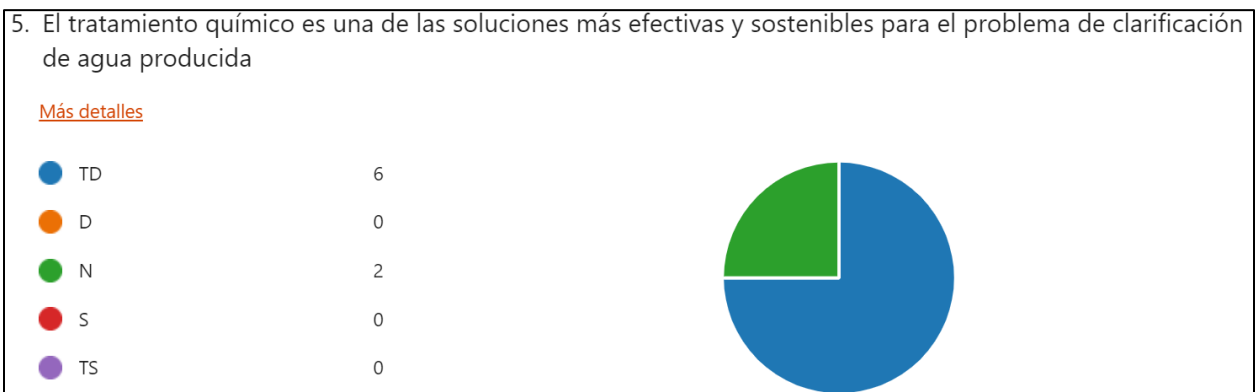
Apéndice H

Respuesta a la Pregunta 2 Juicio de Expertos



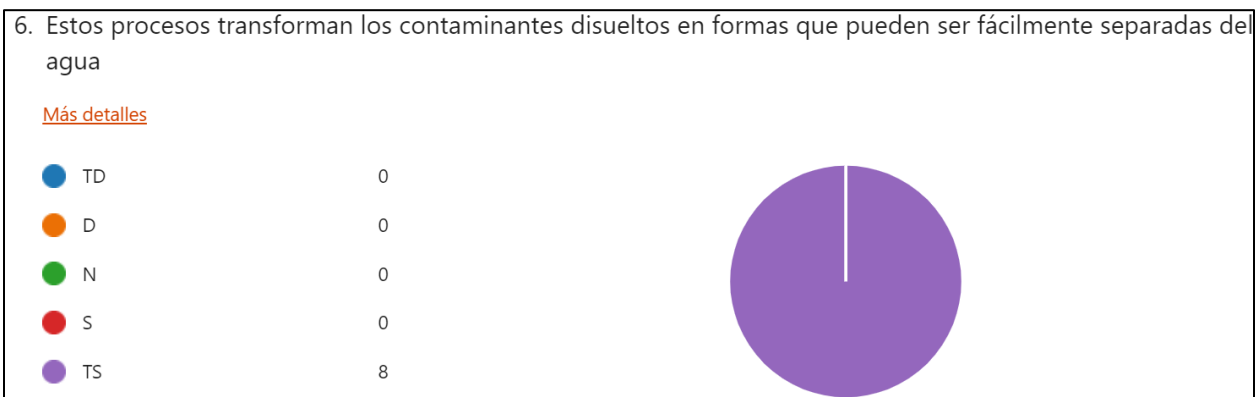
Apéndice I

Respuesta a la pregunta 3 Juicio de Expertos



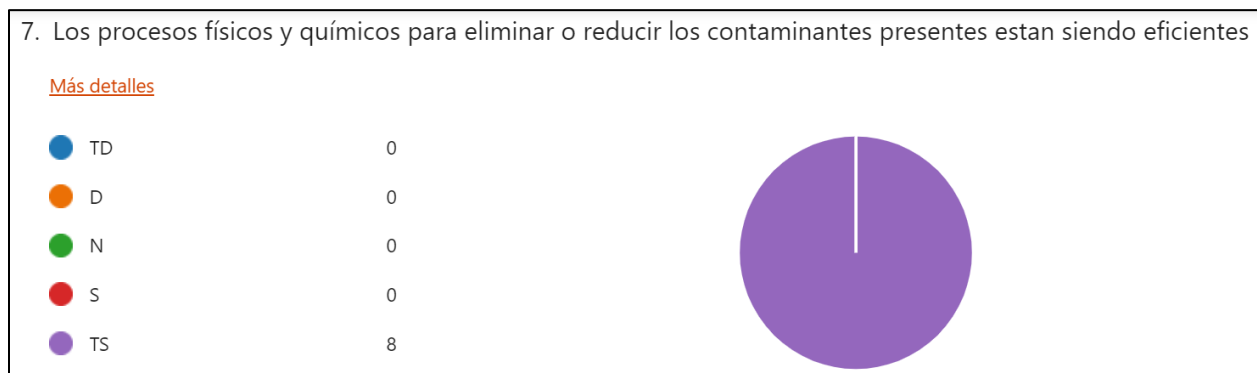
Apéndice J

Respuesta a la pregunta 4 Juicio de Expertos



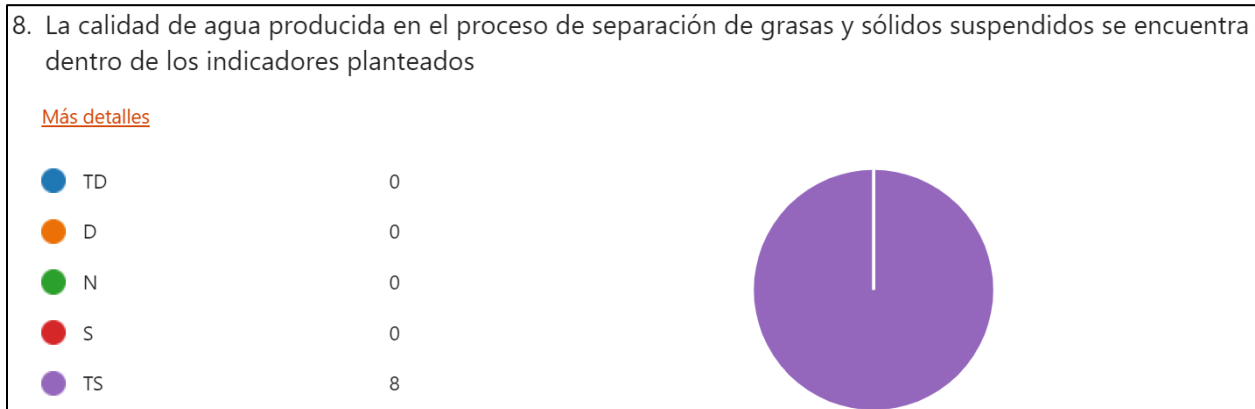
Apéndice K

Respuesta a la Pregunta 5 Juicio de Expertos



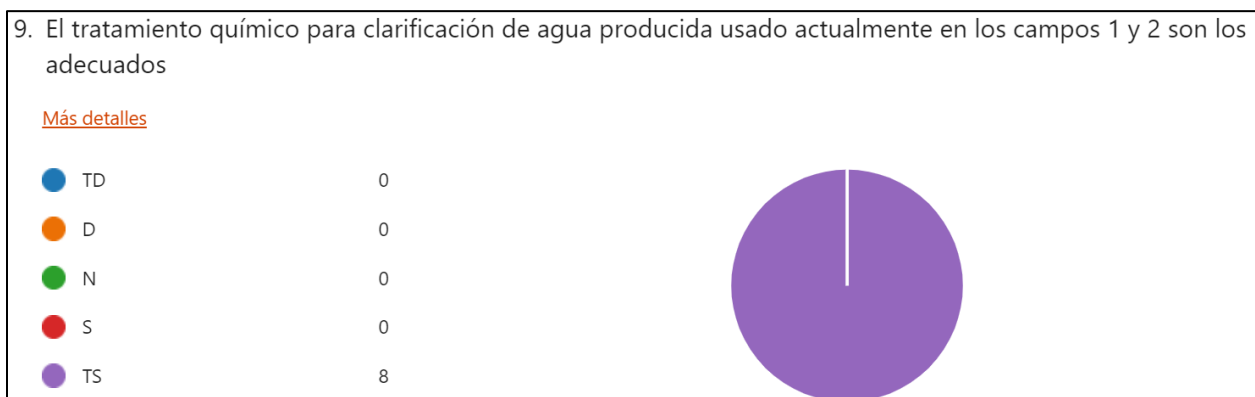
Apéndice L

Respuesta a la Pregunta 6 Juicio de Expertos



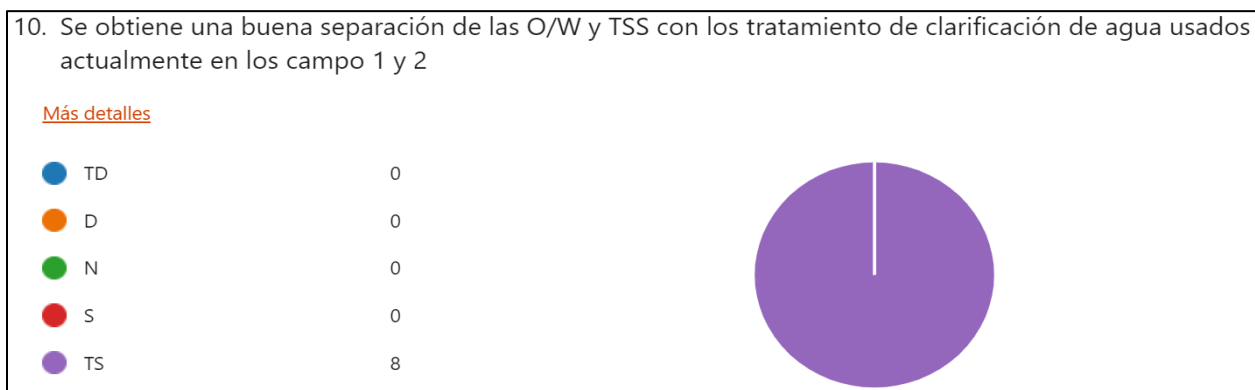
Apéndice M

Respuesta a la Pregunta 7 Juicio de Expertos



Apéndice N

Respuesta a la Pregunta 8 Juicio de Expertos



Apéndice O

Respuesta a la Pregunta 9 Juicio de Expertos

11. Se logra el aprovechamiento de las grasas disueltas en el agua de producción para incrementar la producción de los campos 1 y 2

[Más detalles](#)

● TD	0
● D	0
● N	0
● S	0
● TS	8



Apéndice P

Respuesta a la Pregunta 10 Juicio de Expertos

12. El agua producida se encuentra dentro de los parámetros de calidad para vertimiento

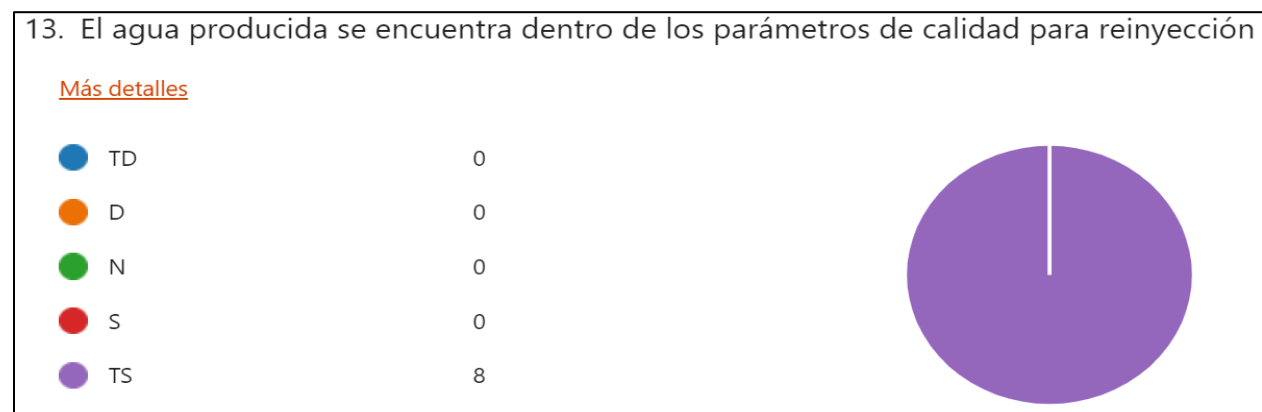
[Más detalles](#)

● TD	0
● D	0
● N	0
● S	0
● TS	8



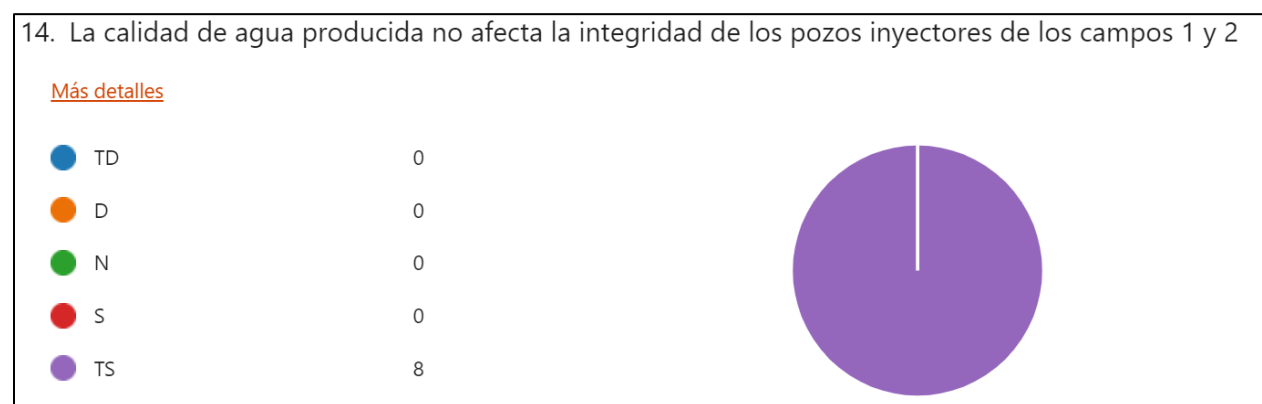
Apéndice Q

Respuesta a la Pregunta 11 Juicio de Expertos



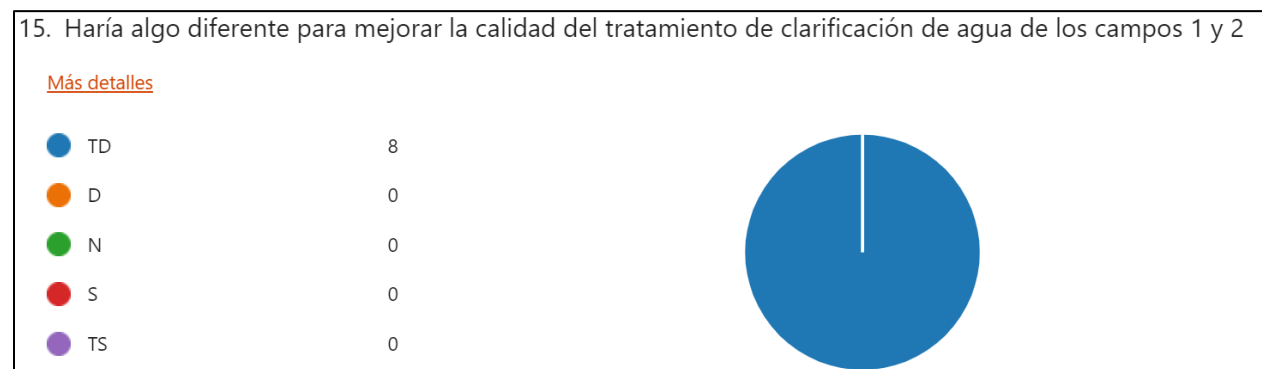
Apéndice R

Respuesta a la Pregunta 12 Juicio de Expertos



Apéndice S






Respuesta a la p Pregunta 13 Juicio de Expertos



Apéndice T*Respuesta a la Pregunta 14 Juicio de Expertos*

16. Considera necesario mejorar el tratamiento de clarificación de agua actual en los campos 1 y 2

[Más detalles](#)

	TD	8
	D	0
	N	0
	S	0
	TS	0

