

**EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA QUÍMICA PARA
LA REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN DE LA
ESTACIÓN SANTA LUCIA, DE LA EMPRESA PETRÓLEOS DEL NORTE S.A.**

ANDRÉS FELIPE CARO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2015

**EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA QUÍMICA PARA
LA REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN DE LA
ESTACIÓN SANTA LUCIA, DE LA EMPRESA PETRÓLEOS DEL NORTE S.A.**

ANDRÉS FELIPE CARO

**Trabajo de grado presentado como requisito para
optar al título de Especialista en Química Ambiental**

Director

MARÍA KOPYTKO

Ph.D Biotecnología Aplicada

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE QUÍMICA

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

Con especial cariño para mi familia,
por el apoyo moral y sentimental en los
momentos difíciles de la formación
profesional.

Andrés Felipe

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, a su cuerpo administrativo y docente especializado por brindarnos los conocimientos necesarios para el desarrollo intelectual y moral como parte fundamental de la formación académica.

A PETRONORTE, por la colaboración prestada para el cumplimiento de los fines propuestos.

A MARÍA KOPYTKO, director del trabajo de grado, por su dinamismo e interés en la formación de la nueva generación de profesionales.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS que nos brindaron asesorías académicas durante el transcurso de la formación profesional y la realización de este documento.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO DE REFERENCIA	19
1.1 MARCO TEÓRICO	19
1.1.1 Aguas de producción	19
1.1.2 Tratamiento químico para disminuir los niveles de Bario y Fenoles en aguas de producción.....	22
1.1.3 Tratamientos biológicos para aguas contaminadas por fenol	23
1.1.4 Biodegradación bajo condiciones aerobias.....	24
1.1.5 Biodegradación bajo condiciones anaerobias.....	24
1.1.6 Métodos físico – químicos.....	25
1.2 MARCO CONTEXTUAL.....	27
1.2.1 Campo Santa Lucia	27
1.2.2 Descripción del proceso operativo del Campo Santa Lucia	34
1.2.3 Descripción del sistema de tratamiento de agua residual industrial del Campo Santa Lucia	39
1.2.4 Separador API	40
1.2.5 Piscina facultativa	41
1.2.6 Piscina de oxigenación.	42
1.2.7 Casetas de Bombas y Sistemas de Recirculación.....	43
2. METODOLOGÍA.....	47
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES (BARIO Y FENOLES) EN AFLUENTES HÍDRICOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA EXPLORACIÓN-EXPLOTACIÓN PETROLERA	49
2.2 IDENTIFICACIÓN DE COMPAÑÍAS INTERESADAS EN LA PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES (BARIO Y FENOLES) EN AFLUENTES HÍDRICOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA, BATERÍA SANTA LUCÍA (PETRONORTE).....	49

2.2.1 Análisis preliminares de Bario.....	50
2.2.1.1 Procedimiento prueba de jarras para Bario.....	50
2.2.2 Análisis preliminares de Fenoles	51
2.3 DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO QUÍMICO PARA LA REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN EN LA ESTACIÓN SANTA LUCIA OPERADA POR LA COMPAÑÍA PETRÓLEOS DEL NORTE S.A.....	52
2.4 IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA EN CAMPO SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DE PROVEEDOR DE PRODUCTOS QUÍMICOS APLICADOS	54
2.4.1 Procedimiento de la Implementación de la prueba de campo para Bario ...	55
2.4.2 Procedimiento de la Implementación de la prueba de campo para Fenoles	57
2.4.3 Evaluación del tratamiento químico realizado para la remoción de fenoles y bario en el agua de producción de la ESTACIÓN SANTA LUCIA	58
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1 REPORTE DE BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	59
3.2 COMPAÑÍAS PRESENTADAS PARA LA EJECUCIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES EN AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN SANTA – LUCÍA (PETRONORTE) Y REPORTE DE SELECCIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS.....	60
3.2.1 Resultados de prueba de jarras para el producto químico LA3559C (precipitación de Bario)	62
3.2.1.1 Discusión de resultados de prueba de jarras para precipitación de Bario	63
3.2.2 Resultados de prueba de jarras para el producto químico LA3553C (oxidación de fenoles).....	63
4.2.2.1 Discusión de resultados de prueba de jarras para oxidación de fenoles ..	64

3.3 PROPUESTA DE DISEÑO QUÍMICO PARA LA REMOCIÓN DE BARIO Y OXIDACIÓN DE FENOLES DE AGUAS DE LA ESTACIÓN SANTA LUCÍA - PETRONORTE	65
3.4 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRUEBA DE CAMPO	67
3.4.1 Resultados de Remoción de Bario y Fenoles	67
3.4.2 Resultado de comportamiento de caudales	71
3.4.3 Reajustes para secuestrante de Bario	81
4. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes del sistema de tratamiento de agua residual industrial...	39
Figura 2. Diagrama de procesos de los objetivos específicos planteados para la investigación.	48
Figura 3. Diagrama de criterios básicos para el diseño químico de oxidación de Fenoles por precipitación en aguas de producción petrolera de la estación Santa Lucía – Petronorte	53
Figura 4. Diagrama de criterios básicos para el diseño químico de remoción de Bario por precipitación en aguas de producción petrolera de la estación Santa Lucía – Petronorte	54
Figura 5. Facilidades de inyección de secuestrante de Bario y puntos de aplicación a la entrada de la piscina facultativa y de oxidación	56
Figura 6. Diagrama de procesos para la remoción de Bario y Fenoles de la estación Santa Lucía – Petronorte.....	67
Figura 7. Gráfica de dosificación del producto LA3553C para oxidación de Fenoles	69
Figura 8. Dosificación del producto LA3559C para precipitación de Bario en periodo de tratamiento comprendido entre Octubre 12 de Oct. de 2014 a 11 de Nov. De 2014	70
Figura 9. Gráfico de Caudal drenaje del tratamiento térmico.....	72
Figura 10. Gráfico de caudal de drenaje del tratador térmico en caja de acopio ..	73
Figura 11. Gráfico de caudal de drenaje en tanques	74
Figura 12. Gráfico de afluente de agua tratada en piscina facultativa	75
Figura 13. Caudal de ingreso a la piscina facultativa.....	77

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Localización del campo y estación Santa Lucia y rutas de acceso.....	28
Imagen 2. Estación Santa Lucía	30
Imagen 3. Unidades del sistema.....	33
Imagen 4. Separador horizontal de prueba y separador genera.....	34
Imagen 5. Estructura del Tratador térmico.....	35
Imagen 6. Tanques de almacenamiento.....	36
Imagen 7. Scrubber	36
Imagen 8. Fotografía de Tea en Campo Santa Lucía	38
Imagen 9. Filtro de tamo de arroz.....	41
Imagen10. Piscina de oxidación	42
Imagen 11. Caseta de bombas – Estación Santa Lucia	43
Imagen 12. Caja de inspección previa al vertimiento – Estación Santa Lucia.	45
Imagen 13. Estructura de entrega al vertimiento, flotador – Estación Santa Lucia.	46
Imagen 14. Equipo de prueba de jarras.....	50
Imagen 15. Prueba de laboratorio para la determinación de la concentración de fenol disuelto en agua.....	52
Imagen 16. Resultados calidad de agua.....	63
Imagen 17. Cambio del flujo de agua	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Producción promedio día y ubicación de los pozos del campo Santa Lucía.....	28
Tabla 2. Sistemas de tratamiento en la Estación Santa Lucía.....	31
Tabla 3. Revisión bibliográfica de alternativas de remoción de Bario y Fenoles en aguas de producción petrolera.....	59
Tabla 4. Presentación de compañías para la remoción de Bario y Fenoles en la estación Santa Lucía operada por Petronorte.....	61
Tabla 5. Resultados concentraciones de Bario remanente para las dosificaciones evaluadas transcurridas 18 y 24 horas empleando el producto LA3559C.....	62
Tabla 6. Resultados de concentración remanente de Fenol para las dosificaciones evaluadas.....	64
Tabla 7. Datos de diseño del sistema de tratamiento.....	66
Tabla 8. Reporte de concentración de Bario y Fenoles en agua de las antes de iniciar el tratamiento, y en la piscina de vertimiento después de aplicado el tratamiento.....	68
Tabla 9. Registros de tiempos de STARI.....	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Primer reporte de resultados iniciales de la concentración de Bario y Fenoles en la entrada de la piscina facultativa.	90
Anexo B. Segundo reporte de resultados iniciales de la concentración de Bario y Fenoles en la entrada de la piscina de oxidación	91
Anexo C. Tercer reporte de resultados iniciales de la concentración de Bario y Fenoles en la entrada de la piscina de vertimiento luego de aplicado el tratamiento.....	92
Anexo D. Dosificación de oxidante de Fenoles.....	93
Anexo E. Dosificación utilizada en ppm y gpd de Secuestrante de Bario durante la prueba de campo.	94
Anexo F. Seguimiento Calidad de agua: Comportamiento de la Concentración de Bario en STARI.....	95
Anexo G. Seguimiento calidad de agua: Comportamiento de la concentración de fenol en STARI.....	96
Anexo H. Ficha de seguridad del compuesto LA3553C (para fenoles).....	97
Anexo I. Ficha de seguridad del compuesto LA3559C (para Bario)	102
Anexo J. Esquema de Tratamiento de Agua de Producción para vertimiento, Estación Santa Lucia.	105
Anexo K. Ampliación del reporte de Bibliografía consultada.....	106

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA QUÍMICA PARA LA REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN SANTA LUCIA, DE LA EMPRESA PETRÓLEOS DEL NORTE S.A.

AUTOR: ANDRES FELIPE CARO**

PALABRAS CLAVES: Aguas de producción, Concentración de Bario y Fenoles, Monitoreo caudales, Tratamiento químico.

DESCRIPCIÓN:

Las aguas de producción de la industria petrolera representan un peligro para la flora y fauna por sus altas cargas contaminantes de hidrocarburos, y contenidos de metales especialmente Bario. La estación Santa Lucia operada por Petróleos del Norte S.A. consiente de la problemática ambiental generada por las aguas de vertimiento, considera necesario complementar el tratamiento convencional de estas por un procedimiento adicional para la eliminación de fenoles y Bario. Bajo esta consideración la investigación se enfocó en el análisis de productos químicos para la remoción de Bario y Fenoles en aguas de producción del Campo Santa Lucía, mediante prueba de campo y análisis de laboratorio.

A pesar que se registraron incrementos de Bario desde 52 ppm hasta 109 ppm medidos a la entrada de la piscina facultativa, se garantizó la continuidad de los buenos resultados utilizando la misma dosificación de producto químico, apreciando el grado de estabilidad del sistema con esta alternativa química.

La concentración de fenoles a la salida del sistema de tratamiento, fue inferior al nivel mínimo de detección (0.01 mg/L) muy cercano al 100%, dando cumplimiento del Decreto 1594/84, con concentraciones de fenoles por debajo del 0.2 mg/L.

El monitoreo permanente del caudal permitió tener un mejor control del reactor facilitando la obtención de las cargas y por tanto mejorando las eficiencias de remoción de Bario y Fenoles. Para el sistema de tratamiento en estudio, se encontró una eficiencia de remoción para el Fenol del 89%, y para bario del 92%, respectivamente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Director Ph.D Maria Kopytko.

ABSTRACT

TITLE: EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA QUÍMICA PARA LA REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN SANTA LUCIA, DE LA EMPRESA PETRÓLEOS DEL NORTE S.A.*

AUTHOR: ANDRES FELIPE CARO**

KEY WORDS: Water production, Barium and Phenols concentration, flow monitoring, chemical treatment.

DESCRIPCIÓN:

The produced water from the oil industry represent a hazard to wildlife by high pollutant loads of hydrocarbons and metals contents especially Barium.

The Santa Lucia station operated by Petroleos del Norte SA aware of the environmental problems caused by water pouring considers necessary to complement conventional treatment of these for an additional procedure for removing phenols and Barium.

Under this consideration the research focused on the analysis of chemicals for removal of phenols in waters Barium and production of Campo Santa Lucia, through field testing and laboratory analysis.

Although barium increases were recorded from 52 ppm to 109 ppm measured at the entrance of voluntary pool, the continuity of good results using the same dosage of chemical is guaranteed, appreciating the degree of stability of the system with this alternative chemical.

Phenol concentration at the outlet of the treatment system was less than very close to 100% minimum detection level (0.01 mg / L), in fulfillment of Decree 1594/84, with phenol concentrations below 0.2 mg / L

Ongoing monitoring of flow allowed better control of the reactor facilitates additional charges and thus improving removal efficiencies Barium and Phenols. For the system of study treatment, removal efficiency for Phenol 89%, and 92% barium respectively found.

* Work degree

** Faculty of Sciences. School of Chemistry . Ph.D Director Maria Kopytko .

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza y de los recursos más importantes para la vida en el planeta, razón por la cual las compañías operadoras petroleras deben realizar esfuerzos para minimizar los efectos de su contaminación.

La producción de los hidrocarburos, implica no solo la extracción hasta la superficie de este recurso, sino, que involucra también la adecuada recolección, tratamiento distribución de estos fluidos (petróleo y gas), y el manejo, tratamiento y disposición del agua asociada a la extracción de los hidrocarburos. Cada día deben manipularse cantidades importantes de agua conteniendo grandes cantidades de sales disueltas, sólidos en suspensión, metales pesados e hidrocarburos dispersos y disueltos, que puede dispersarse muy rápidamente.

Los esquemas actuales de operación para la exploración y explotación de petróleo por parte de la empresa Petróleos del Norte S.A., propician desmejoras en la calidad del agua e inestabilidad química de la misma por contaminación con Bario y Fenoles, incrementando la frecuencia de empleo de equipos especiales para su limpieza y remoción. Igualmente, la disposición de este efluente en lagunas o fosas crea una serie de repercusiones ambientales inherentes a nivel de superficie. Si bien el campo cuenta con sistema de tratamiento convencional de aguas residuales industriales, se generan problemas a nivel de superficie lo que conlleva a incrementar valores de componentes intrínsecos en al agua de producción.

Si bien los fenoles son materias primas de gran importancia en diversas industrias, estos compuestos son también el producto de la degradación oxidativa de hidrocarburos de alto peso molecular y por ende constituyen una fuente de

contaminación importante. Aunque existe una variedad de métodos para el procesamiento y ya sean biológicos, físicos o químicos, el compromiso con el medio ambiente por parte de la compañía, lleva a buscar en el mercado opciones químicas para la remoción de Bario y Fenoles como alternativa efectiva en la remoción éstos componentes del agua de producción de la Estación Santa Lucia.

Teniendo en cuenta que las eficiencias de tratamiento biológico para la eliminación de fenoles no presenta las remociones satisfactorias se elaboró una propuesta para el ajuste de la concentración de éstos componentes como objetivo controlar con el objeto de controlar los parámetros de interés bario y fenoles, el mismo no está presentando las eficiencias requeridas, por lo que se propuso evaluar y seleccionar un tratamiento químico para la remoción de Bario y Fenoles del agua de producción en la Estación Santa Lucia operada por la compañía Petróleos del Norte S.A., analizando a nivel de laboratorio el comportamiento de los productos en agua de interés, implementando pruebas en campo, siguiendo las instrucciones de proveedor de productos químicos aplicados, para finalmente el tratamiento químico realizado para la remoción de Fenoles y Bario en el agua de producción de la estación Santa Lucia.

Teniendo en cuenta que con la revolución industrial se inicia un cambio sustancial en el tratamiento del ambiente, caracterizado, por un lado, por el aumento en la explotación de los recursos no renovables, y por el otro, por la producción de residuos contaminantes de distinta naturaleza, la preocupación por el ambiente asociada a la supervivencia humana cobra especial importancia, obligando a las empresas en general y las del sector petrolero en particular a optimizar las líneas de producción utilizando tecnologías limpias y de última generación.

En las empresas petroleras la optimización de las líneas de producción se aplica en los procesos de exploración, perforación, extracción, refinación, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización, con consecuencias

directas sobre el ambiente, inherentes a su naturaleza, entre las que destacan las emisiones atmosféricas, los efluentes líquidos y los desechos sólidos y peligrosos.

Al formar parte de los contaminantes que se generan en las aguas de producción el Bario y Fenoles por su difícil biodegradación, son considerados tóxicos y como uno de los mayores contaminantes peligrosos para los organismos pues aún en concentraciones bajas pueden causar daño a la salud humana, además de ser una amenaza tanto para la vida acuática como para la terrestre, pues su presencia en diversos ambientes impide un desarrollo adecuado de organismos que viven en estos medios, causando alteraciones en el ecosistema.

Petróleos del Norte S.A. consciente de los riesgos de contaminación ambiental que por efectos de la exploración – producción de crudo se generan especialmente sobre las fuentes hídricas, se ha empeñado en optimizar los procesos en cuanto al manejo de aguas de producción dado que, tanto el crudo como el agua producida por los pozos petrolíferos contienen en su composición contaminantes y residuos indeseables (Bario y Fenoles) que genera problemas en los diversos procesos que se llevan a cabo de industria petrolera.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 MARCO TEÓRICO

La problemática ambiental está recibiendo una creciente atención en todo el mundo, concentrando mayor atención sobre las actividades individuales dentro de las compañías exploradoras y productoras tanto privadas como públicas. Constantemente se solicita a las compañías que demuestren su compromiso con la protección del ambiente por medio de la adopción de políticas corporativas ambientales y a través de su actual desempeño en el campo, solicitud que se hace extensiva a las empresas petroleras.

El agua y el petróleo espontáneamente no se mezclan, y el agente que los une es un emulsionante. Los emulsionantes más comunes en las mezclas de agua y petróleo son asfalto, sustancias resinosas, ácidos orgánicos solubles en aceite, entre otras.

Estas sustancias suelen encontrarse como una capa media entre las gotas de agua en petróleo, y por lo general las produce el yacimiento petrolífero bien sea por la naturaleza misma del pozo o por el proceso de extracción.

1.1.1 Aguas de producción. La problemática generada por el agua aún con un pequeño porcentaje de petróleo y concentraciones significativas de sales minerales, Bario y Fenoles, perjudiciales al medio ambiente, implican que no pueden ser vertidas sin cumplir con los estándares exigidos por el Ministerio de Ambiente, además de resultar perjudicial su empleo en equipos y plantas no diseñados para el manejo de un fluido.

Las aguas de producción se componen de Aguas de formación (proviene de las formaciones geológicas y que se obtienen normalmente durante la extracción del

Petróleo) y aguas que se contaminan al inyectarlas a un yacimiento petrolero (actividad que utiliza una gran cantidad de agua superficial).

Estas aguas son altamente contaminantes, por lo que representan un alto riesgo para la fauna, flora, suelos, fuentes de agua y el ser humano. Por ello existen restricciones para su manipulación y/o deposición.

A lo anterior se debe agregar que las aguas de producción son un contaminador 'ideal', pues esencialmente tienen la misma gravedad específica del acuífero y son fácilmente mezclables con el agua fresca.

El tratamiento de aguas residuales, es decir el agua de formación obtenida del proceso de exploración-explotación, es un asunto relevante pues proporciona aplicación general en diferentes campos: potabilidad del agua, consumo doméstico, entre otros. Del mismo modo este procedimiento presenta ventajas al ser usado como fuente de inyección en algunos pozos con el fin de aumentar la productividad del campo, donde también se requieren parámetros mínimos para ser suministrada a éstos. (Rittmann , 2001)

La preocupación por el tratamiento de aguas residuales industriales ha crecido notablemente en los últimos años, especialmente en lo relacionado con presencia de Fenol y Bario en niveles superiores a los mínimos permisibles por la autoridad ambiental (decreto 1594 de 1984 (Fenol 0.2 y Bario 5.0 mg/L), para la evaluación de las propuestas de nuevos procesos de tratamiento. (Norma GTC 2, p. 64)

En muchas ocasiones se ha comprobado que la causa principal de los altos costos de tratamiento de aguas en campos petroleros se debe a la mala selección de los equipos y procedimientos de tratamiento, debido a que no se ha dado una atención apropiada a los cambios que se puedan presentar en la mezcla que se está tratando.

Dado que las aguas de producción petrolera son inyectadas a los pozos se alteran significativamente los parámetros con las aguas de formación y los diversos productos químicos que son utilizados para la extracción, existen diferentes métodos, que facilitan la separación del agua producida del petróleo, entre ellos el método mecánico, el térmico y el químico.

Con respecto al método mecánico en la industria petrolera, se ha aumentado cada día más el uso de dispositivos basados en agentes mecánicos para ayudar a deshidratar el crudo con los desemulsificantes químicos, procedimiento que se puede realizar mediante aplicación de tratamientos térmicos calor (aumenta el movimiento que poseen las partículas pequeñas en suspensión de la fase dispersa, produciendo un mayor choque entre ellas. (Saravanan, 2008 a)

El térmico, consiste en el calentamiento del crudo, mediante equipos de intercambio de calor, tales como calentadores de crudo y hornos. El calentador se utiliza para suministrar calor para facilitar su separación. (Saravanan, 2008 b)

El método químico, genera una reacción en la que pierde la capacidad de mantener las gotas de agua envueltas en petróleo. Luego, las partículas chocan y se juntan, formándose gotas grandes que no pueden quedarse suspendidas en el petróleo y caen, debido a la diferencia de densidad entre el petróleo.

En el agua, proceso que se desarrolla en dos etapas, la primera de agitación, la cual es necesaria para mezclar bien el petróleo con el producto químico, el cual anteriormente se ha probado siendo este efectivo para reaccionar con las sustancias y la etapa de reposo el cual permite que las gotas bajen y se acumulen en el fondo (tanques de almacenamiento, que se desaguan antes de despachar el petróleo). (Daintilh, J., 1987)

Delgado, León y Suárez (1993) plantea el uso de métodos específicos químicos y biológicos para reducir la presencia de Bario y Fenoles cuando las

concentraciones son relativamente bajas – valores por debajo de 0.0005 y 0.5 mg/L, respectivamente), recomendando procesos de biodegradación aerobia y anaerobia. (Jaimes; Pico, 2009)

Folsom y colaboradores (2009), propone la degradación de Fenoles con bacterias (*Pseudomonas cepacia*).

Field (2009), ha desarrollado investigaciones sobre degradación de fenol en fuentes de agua de producción petrolera en condiciones anaerobias con cultivos puros y mixtos, siendo esto importante en la selección del medio aerobio o anaerobio.

Ecopetrol y el Instituto Colombiano del Petróleo también se han preocupado por el tema, desarrollando varias alternativas de tratamiento químico, entre las que se destacan la oxidación química y los procesos combinados con tecnologías biológicas, implementados generalmente en condiciones aerobias. (Restrepo, 2007).

1.1.2 Tratamiento químico para disminuir los niveles de Bario y Fenoles en aguas de producción. En operaciones de producción de pozos petroleros, con frecuencia es necesario utilizar equipos tratadores de agua, donde se relaciona el agua producida con el crudo, el agua de lluvia y el agua de lavado. El agua se debe manejar eficientemente para garantizar que no se viole los criterios sobre control ambiental.

El agua producida requiere con frecuencia un tratamiento primario antes de su disposición o vertimiento. Entre los posibles tipos de tratamiento el sobresale el método químico.

El fenol y Bario se han constituido como compuestos modelo para la evaluación de las propuestas de nuevos procesos de tratamiento. Si bien los fenoles son materias primas de gran importancia en diversas industrias, estos compuestos son también el producto de la degradación oxidativa de hidrocarburos de alto peso molecular y por ende constituyen una fuente de contaminación importante.

En la estación Santa Lucia actualmente se cuenta con un tratamiento biológico mediante adición de bacterias y aireación, que tiene como objetivo controlar los fenoles, sin embargo el mismo no está presentando las eficiencias requeridas.

Por otra parte el agua de vertimiento de la estación Santa Lucia, presenta una cantidad de Bario disuelto superior al valor permisible por el ente ambiental de 5ppm, por tal razón nace la necesidad de emplear tratamientos adicionales para mitigar los impactos ambientales ocasionados por los vertimientos de este tipo de industrias.

1.1.3 Tratamientos biológicos para aguas contaminadas por fenol. El fenol presente en el medio ambiente puede ser eliminado por las bacterias rápidamente. Generalmente es eliminado en aire (1 – 2 días), agua (9 días) y suelo (2 – 5 días) de forma lenta (Busca et al., 2008).

Existen varias cepas microbianas capaces de degradar fenol, pues tienen capacidad metabólica de usar este compuesto como sustrato para su crecimiento, entre ellas se puede nombrar a *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Acinetobacter*, *Trichosporon cutaneum*, *Candida tropicalis*, *Cryptococcus elinivooi*, *Bacillus brevis*, *Serratia marcescens*, *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus erythropolis*, entre otras (Hidalgo et al., 2002; Arutchelvan et al., 2006; Agarry & Solomon, 2008; Busca et al., 2008; Cordova et al., 2009).

1.1.4 Biodegradación bajo condiciones aerobias. La biodegradación bajo condiciones aerobias puede darse principalmente por dos vías metabólicas. En la vía metabólica meta-rompimiento de degradación de fenol inicia con oxidación, en la que el anillo aromático es inicialmente monohidroxilado por una fenolmonoxigenasahidroxilasa en una posición orto, para la preexistencia del grupo hidroxilo y de esta manera formar catecol.

Este es el principal intermediario que resulta del metabolismo del fenol por diferentes cepas de microorganismos (Agarry & Solomon, 2008).

Dependiendo del tipo de cepa, el catecol sufre después un fraccionamiento del anillo, el cual puede suceder en la posición orto o meta, y de esta manera iniciar la vía metabólica orto, que termina en la formación de succinil Co-A y acetyl Co-A, o en la posición meta que termina en la formación de piruvato y acetaldehído, respectivamente. (Tziotziotset al., 2005; Agarry & Solomon, 2008).

1.1.5 Biodegradación bajo condiciones anaerobias. La eliminación de fenol se puede hacer anaeróbicamente. En muchos casos este tipo de biorremediación es la preferida, debido al ahorro de energía usada en la aireación con producción de menores cantidades de lodos (Fang et al., 2006).

Para la eliminación de productos químicos orgánicos tóxicos como es el caso del fenol, se puede usar reactores en etapas o series.

La primera etapa puede consistir en un reactor de tanque de agitación continua con sedimentador y reciclado y la segunda en una forma de reactor de flujo pistón sin reciclado, es decir que se puede aplicar en un inicio un biorreactor aerobio, seguido de uno en condiciones anaerobias. Este tipo de sistema de biorreactores podrían eliminar una concentración de fenol de 4000 mg.L-1 hasta 0.02 mg.L-1 (Rittmann & McCarty, 2001).

Existen varias vías metabólicas de degradación de fenol bajo condiciones anaerobias, en este caso el anillo aromático no es oxidado, pero sí reducido (Rigo & Alegre, 2004).

En condiciones mesófilas se han sugerido las siguientes vías, el fenol es convertido primero a través de carboxilación para producir benzoato; después, es desaromatizado para formar ciclohexanocarboxilato, el cual es fraccionado para formar heptanoato y este es posteriormente degradado a través de β -oxidación para formar valerato, propionato y acetato, o directamente formar propionato y butirato, los cuales más tarde pueden ser degradados en acetato.

Estas vías metabólicas se basan en la presencia de enzimas que realizan reacciones de carboxilación, descarboxilación y dehidroxilación durante la degradación anaerobia (Fang et al., 2006).

1.1.6 Métodos físico – químicos. La revisión realizada por Busca, Berardinelli, Resini & Arrighi (2008) muestra la mayoría de tratamientos que se pueden emplear para separar y/o destruir el fenol presente en soluciones acuosas.

Se puede emplear otros procesos como la extracción de fenol del agua con la ayuda de algunos solventes orgánicos como hidrocarburos, compuestos oxigenados, n-hexano, ciclohexanol, benceno, tolueno, entre otros. Dependiendo del proceso, el fenol puede ser removido en concentraciones de 20 – 500 mg.L-1

La adsorción es ampliamente usada en la purificación de pequeños ríos contaminados y aguas residuales. Algunos adsorbentes usados son el carbón activado o resinas poliméricas.

También se pueden emplear membranas de polipropileno y solventes orgánicos tales como metil-terbutil-éter (MTBE), cumeno y una mezcla de hidrocarburos, con

una sobre presión de 31 – 38 kPa, para la extracción de fenol. (Rittmann & McCarty, 2001).

La oxidación electroquímica es un proceso indirecto de electrooxidación incluyendo “electrofenton”. Mohan et al. (2007) dice también que esta técnica puede oxidar efectivamente muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos en concentraciones altas de cloro. Es posible la formación de compuestos intermediarios orgánicos clorinados.

Tanto la electrooxidación mediada como el electrofenton usualmente necesitan operar en medio ácido para evitar la precipitación de los hidróxidos metálicos. Este método se ve limitado por la adición de metales pesados que pueden formar contaminantes secundarios.

Existen otros métodos de destrucción de fenol que no son oxidativos, como por ejemplo la gasificación de fenol en agua superficial. Este método consiste en la conversión de material orgánico en productos gaseosos como el hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), vía reacciones en agua y con agua, a temperatura y presión que exceda el punto crítico termodinámico. (Margesin et al., 2004; Marrot et al., 2006).

La aplicación de descargas eléctricas para degradación de fenol también es empleada. Existen varios procesos diferentes, tales como descargas electrohidráulicas (siglas en inglés, EHD), descargas corona pulsadas (siglas en inglés, PCD) y electrólisis. Las PCD han recibido mayores investigaciones debido a que se puede inyectar directamente energía eléctrica en una solución acuosa por canales de plasma. (Ayala, 2010)

La sonicación y cavitación hidrodinámica son sistemas que proveen energía para destruir fenol en soluciones acuosas; sin embargo, son pobremente eficientes si

son empleadas solas, sin la co-presencia de oxidantes químicos. Cuando son combinadas con otros procesos de oxidación pueden mejorar la destrucción de fenol. (Margesin et al., 2004; Marrot et al., 2006).

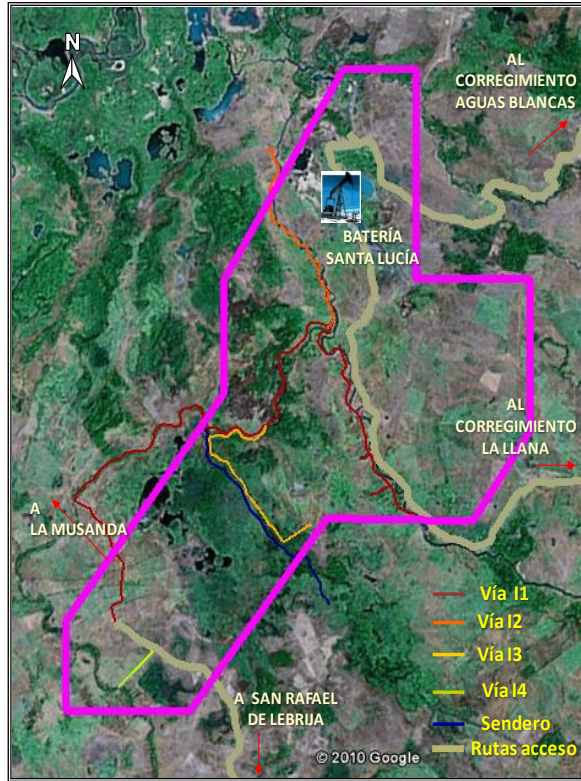
1.2 MARCO CONTEXTUAL

1.2.1 Campo Santa Lucía. El campo Santa Lucía, pertenece al Bloque A de la Asociación Tisquirama, y las facilidades actuales de producción se localizan en el departamento del Cesar en jurisdicción del municipio de San Alberto. En la figura 1 se presenta la ubicación del campo Santa Lucía y de manera específica la batería Santa Lucía.

La ruta de acceso hacia el campo se realiza desde el casco urbano del municipio de San Alberto tomando la Troncal de la Costa en dirección hacia el corregimiento de La Llana, de donde por vía destapada se accede a la batería Santa Lucía, pasando por el pozo Santa Lucía -1 en un recorrido de aproximadamente 25 Km desde el centro poblado de La Llana.

Actualmente el campo Santa Lucía se encuentra constituido por cinco pozos activos que operan mediante el sistema de levantamiento artificial, productores desde su etapa inicial hasta la fecha. STL-1, STL-2 (ubicado dentro de la Estación), STL-3, STL-4 y STL-5.

Imagen 1. Localización del campo y estación Santa Lucía y rutas de acceso



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

Las coordenadas y la producción de crudo agua y gas cada uno de los pozos se encuentra referenciado en la *tabla 1*.

Tabla 1. Producción promedio día y ubicación de los pozos del campo Santa Lucía.

Estado	Pozo	Crudo BPD	Agua L.D	Gas KPCD	Coordenadas	
					Norte	Este
Activo	STL-1	65,0	10716.6	50,3	1.351.387,94	1.046.739,43
	STL-2	113,9	11384.4	29,9	1.353.973,39	1.046.601,46
	STL-3	75,6	29303.7	30,0	1.355.623,48	1.046.762,28
	STL-4	89,7	1256.1	30,7	1.352.529.00	1.046.621,00
	STL-5	54,8	6725.7	25,2	1.352.529.00	1.046.621,00

Fuente: Petróleos del Norte S.A.

Los pozos tienen una producción diaria que oscila entre 54.8 y 113.9 barriles de petróleo y 1256.1 – 29303.7 litros de agua. Nótese que el Pozo STL-3 es el que produce mayor cantidad de agua (1:2,3), y el de menor proporción de agua es el pozo STL-4 (11:1).

Los pozos STL-1 y STL-3 se ubican en localizaciones con placas enmalladas de extensiones de 292 m² y 343 m², respectivamente; cada localización cuenta con su contrapozo, sistemas de producción, sistema de medición y seguridad (guarda correa, malla contrapozo y guarda pesas), en plataforma de concreto, cunetas para manejo de aguas lluvias y trampas de grasas.

Todos los pozos están conectados mediante líneas de flujo a la estación Santa Lucía. Estas líneas de flujo superficial son de 4 pulgadas superficiales apoyadas sobre marcos H, aunque en algunos tramos o cruces especiales la tubería se encuentra enterrada debidamente protegida contra la corrosión

La Estación Santa Lucía (*ver imagen 2*) se encuentra delimitada con malla para una mayor seguridad distribuidos en un área de aproximadamente de 2 Ha. Al interior de la estación se realiza la recolección, tratamiento, almacenamiento y despacho de crudo por carrotanques hasta la estación Ayacucho de Ecopetrol.

Imagen 2. Estación Santa Lucía



Fuente: Petróleos del Norte S.A. Facilidades de producción de la estación Santa Lucia.

En la tabla 2 se presenta un resumen los diferentes sistemas que conforman la Estación Santa Lucía.

Tabla 2. Sistemas de tratamiento en la Estación Santa Lucía

SISTEMA	USO
Sistema de recibo	Recibe el hidrocarburo de los pozos STL-1, STL-2, STL-3, SLT-4 y SLT-5. Disminuye la presión de llegada, para proseguir al separador.
Sistema de separación	Se encuentra constituido por dos separadores trifásicos horizontales (general y de prueba), encargados de separar el gas, el agua y el aceite. El separador de prueba, se utiliza específicamente para medir el volumen de fluidos suministrados por el pozo pasado por prueba.
Deshidratación del crudo	La deshidratación del crudo se efectúa en el tratador térmico donde se separa la emulsión agua-aceite mediante calentamiento. El incremento de temperatura facilita el rompimiento de la emulsión - disminuir la viscosidad.
Sistema de depuración de gas	El gas que se produce en los separadores se dirige a un "Scrubber", equipo cuya función es extraer el contenido líquido existente en una corriente de gas, para luego ser recirculado al proceso. El exceso de gas es dirigido a la tea.
Sistema de almacenamiento	La Estación posee una capacidad de almacenamiento de 9.500 bls, distribuidos en tres tanques de 3.000 bls, y uno de 500 bls para el almacenamiento del fluido. Los tanques se encuentran al interior de un dique en concreto.
Sistema de cargue de crudo y despacho.	Se encuentra constituida por un sistema de bombas con capacidad 1161 GPM cada una encargadas de impulsar el crudo hacia el cargadero donde se realiza el llenado de los carro tanques que transportan el crudo hacia la Estación Ayacucho.
Sistema contra incendios	Se encuentra constituido por: <ul style="list-style-type: none"> • Una piscina contra incendios con un volumen aproximado 16.000 Bbls. • Una red de distribución de agua contra incendio con una bomba diesel que suministran un caudal de 1000 GPM y se mantiene presurizada la red mediante una bomba jockey de 150 GPM a 62 PSI. • Un sistema proporcionador y formador de espuma para inyección bajo superficie, que trabaja con una mezcla 3% de concentrado de espuma fluoroproteínica con el agua que pasa a través de un proporcionador en línea tipo venturi. • Hidrantes monitores de agua e hidrantes monitores de agua espuma • Gabinetes SCI-G.
Sistema de captación de agua	Se encuentra constituido por un pozo profundo de donde el agua es bombeada a un tanque de almacenamiento con capacidad para 500 Bbls y de ahí es conducido por la red distribución interna a todo los puntos donde se utiliza el agua (sanitarios, cocina y laboratorios y uso industrial para lavado de crudo).

Sistema de drenajes	Se encuentra constituido por canales perimetrales y cunetas ubicadas dentro del área, para el drenaje de las aguas aceitosas y aguas lluvias, para ser conducidas al STARI o al terreno exterior respectivamente.
Sistema de tratamiento de agua residual	Para el tratamiento de aguas aceitosas la Estación cuenta con un sistema constituido por un separador API, laguna facultativa y piscina de aireación forzada. Para el tratamiento de aguas negras existe un sistema integrado por un pozo séptico y campo de infiltración.
Área de taller, bodega, oficina y laboratorio	Zona en la cual se encuentra el almacenamiento de algunos de los equipos y repuestos necesarios para la realización de algunos trabajos, se cuenta además con oficina para el operador encargado de la estación y con laboratorio para mediciones y pruebas del crudo.

Fuente: Petróleos del Norte S.A.

La legislación ambiental colombiana ha obligado a las empresas petroleras a disponer de la manera más ecológica posibles las aguas asociadas con la producción, razón por la cual los sistemas de flotación están diseñados para aumentar la eficiencia en la remoción de hidrocarburos y sólidos suspendidos (Bario y Fenol), con buenos niveles de rendimiento, pero con altos costos de operación.

Para el tratamiento de aguas con contenido de fenol se utiliza la técnica de biorremediación, constituida por una mezcla de microorganismos degradadores (Fenobiol) de fenoles; la estimulación del proceso se realiza con nutrientes (nutrimon) y aireación constante. En la imagen 3 se ilustran las principales unidades del sistema:

Imagen 3. Unidades del sistema



Sistema de recibo – manifold



Unidades de tratamiento del crudo



Pozo de agua



Caseta operador



Hidrante contra incendios



Tanques de almacenamiento



Tanques de almacenamiento



Piscina del Sistema contraincendios

Fuente: Petróleos del Norte S.A. Componentes de la estación Santa Lucia.

1.2.2 Descripción del proceso operativo del Campo Santa Lucia. Petronorte ha realizado una gran inversión para optimizar el sistema de tratamiento de aguas de producción a efectos de minimizar los contenidos de Bario y Fenol. Para tal efecto, el área en la cual se lleva a cabo el proceso de separación de crudo, gas y agua se soporta sobre piso de concreto formando un espesor aproximado de 15 cms, de igual manera se encuentran placas fundidas en concreto que demarcan las vías de circulación del personal dentro de ella.

Dentro de la estación Santa Lucia existentes 2 separadores; uno destinado a realizar el proceso de separación física del crudo de un solo pozo (Separador de prueba) y el restante se encarga de realizar la misma fase pero de toda la producción del campo en general (Separador general).

El separador horizontal de prueba y general de tipo trifásico, es decir permite la separación de tres (3) fases: crudo, agua y gas, donde la fase liquida (crudo + agua) se precipita y se acumula en el fondo del separador hasta un nivel determinado, el cual es regulado por una válvula de control, y enviado hacia los tanques. (Ver imagen 4)

Imagen 4. Separador horizontal de prueba y separador genera



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

El proceso continuo a una vez separadas las 3 fases se denomina tratador térmico (ver imagen 5), unidad de separación secundaria de la producción del campo.

Imagen 5. Estructura del Tratador térmico



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

El aceite proveniente de los separadores de prueba y/o general, llega a esta unidad donde se agrega calor para ayudar a fraccionar más el agua del aceite. Como resultado del calor y la baja presión.

Luego de la zona de calentamiento, la mezcla pasa finalmente a una zona de coalescencia y asentamiento “tanques”, donde permanece un determinado tiempo casi en estado de reposo para permitir que se acaben de separar las fases.

El calor impuesto al tratador varía con una válvula reguladora y un controlador de temperatura que modifican según sea el caso el flujo de gas en los quemadores, esto con el fin de optimizar el sistema de limpieza final para la etapa de eliminación de petróleo y sólidos antes de disponer el agua tratada.

El crudo que procede de los separadores de prueba, separador general y tratador se almacena en un sistema de tanques circulares, de techo cónico fijo. En el campo se cuenta con 4 tanques de almacenamiento de los cuales 3 son de los

3000 barriles y uno de 500 barriles. Los mismos se están dentro de diques de concreto capaces de soportar situaciones de contingencia en caso de la ruptura de alguno de ellos (ver imagen 6).

Imagen 6. Tanques de almacenamiento



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

El gas procedente de los separadores, tratador y de los pozos SL-1 y SL-2, se recolectan por una línea de 2" y entran al "Scrubber" por uno de sus costados. (ver imagen 7).

Imagen 7. Scrubber



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

Los líquidos decantados en el depurador salen por el fondo a través de la válvula reguladora de nivel hacia una caja de recolección que va hacia el separador API. Mientras que el gas depurado sale por la parte superior. (*ver imagen 7*)

El gas separado y depurado en el “Scrubber” con una capacidad de manejar hasta 1 MMSCFD de gas, sale por un cabezal distribuidor de 0 a 60 Psi de presión es distribuido por medio de una línea hacia dos componentes descritos a continuación:

1. Línea de gas de consumo interno: Lugar donde se aprovecha el gas ya que es direccionado y empleado como gas combustible en el separador de prueba, tratador térmico y piloto de la tea.
2. Gas remanente: El gas remanente es conducido por una tubería de 2” hasta la tea (*ver imagen 8*), lugar donde se procede a realizar la quema evitando así la emisión de partículas de metano al ambiente.

Imagen 8. Fotografía de Tea en Campo Santa Lucía



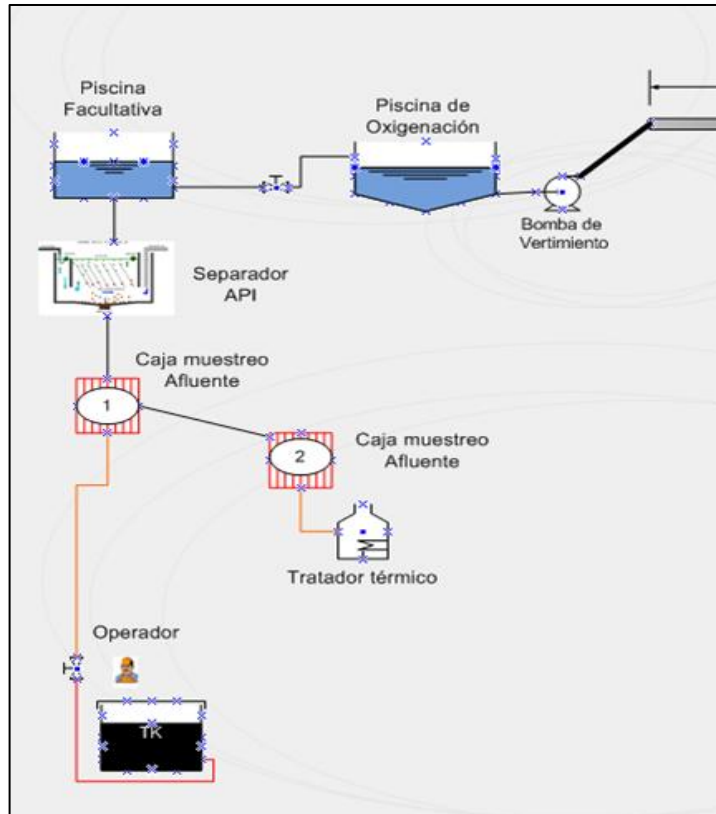
Fuente: Petróleos del Norte S.A.

Las aguas residuales industriales durante el proceso anteriormente descrito van directamente al sistema de tratamiento de aguas industriales (STARI) del campo Santa Lucía.

Las mismas son tratadas en cada uno de los componentes del sistema los cuales corresponden a separador API, Piscina Facultativa, Piscina de oxigenación y finalmente se entrega el agua tratada al cuerpo de agua receptor en el río Chachira.

En la figura 1 se representan cada uno de los componentes del sistema de tratamiento y a su vez los lugares de donde procede el agua residual.

Figura 1. Componentes del sistema de tratamiento de agua residual industrial



Fuente: Petróleos del Norte S.A. Componentes del sistema de tratamiento de agua residual industrial

A continuación se describen cada una de las fases del tratamiento.

1.2.3 Descripción del sistema de tratamiento de agua residual industrial del Campo Santa Lucia. En el campo Santa Lucia se cuenta con plantas de tratamiento de tipo industrial, compuestas por separador API, Piscina Facultativa y Piscina de Oxigenación, las cuales reciben y tratan las aguas generadas en todos los procesos industriales. Principalmente reciben el agua industrial de los drenajes de los tanques, así como el agua empleada para lavar el crudo y el corte de agua de la producción, que se genera en los tratadores térmicos y los separadores de las baterías.

Igualmente se integran a estas plantas de tratamiento aguas aceitosas provenientes de achicar contrapozos, trabajos de limpieza y algunas actividades propias del proceso de mantenimiento de las baterías. Los efluentes de estas unidades, son dispuestos en los puntos de vertimiento autorizados por las autoridades ambientales en el permiso de vertimientos del campo Santa Lucia.

Las plantas de tratamiento de agua residuales industriales de la estación Santa Lucia están constituidas por:

1.2.4 Separador API. Las aguas aceitosas ingresan en primer lugar al separador API, donde son separadas por densidades el agua del crudo o aceite, el agua separada pasa a una segunda unidad de tratamiento, mientras que el crudo recuperado pasa a través de desnatadores o skimmers y es enviado nuevamente a los tanques de almacenamiento, la función principal de este sistema primario es la de separar el crudo y retener los sólidos sedimentables y suspendidos del fluido que ingresa.

En la batería de Santa Lucia, los separadores API trabajan regularmente en serie, para garantizar mayor eficiencia en la remoción de grasas y aceites, permitiendo un tiempo de resiliencia óptimo para posteriormente recuperar el crudo hacia los tanques.

Los separadores API cuentan con una cámara de aquietamiento y pantalla, tres cámaras de separación y decantación, cámara de filtrado y vertedero de control. Así mismo estas unidades pueden trabajar de forma independiente, gracias a un juego de válvulas y tuberías instaladas para poder manipular el fluido cuando sea requerido, como al momento de realizar mantenimientos del sistema, o en caso de presentarse situaciones anormales en la operación. Una vez el agua ha pasado por el separador API se somete a ser pasada por un filtro de tamo de arroz para así garantizar mayor remoción de grasas (*ver imagen 9*).

Imagen 9. Filtro de tamo de arroz



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

El filtro de tamo de arroz es de gran utilidad para la remoción de grasas por su capacidad de adsorción sin que haya penetración evitando de esta manera el paso de los fluidos a los demás componentes del sistema de tratamiento.

1.2.5 Piscina facultativa. En la piscina facultativa se realiza la retención de sólidos y grasas remanentes del proceso anterior, pero su principal función es la degradación de la materia orgánica, mediante dos procesos que se desarrollan en esta unidad, en la parte superficial de la piscina, aproximadamente en los primeros 80 cm de profundidad, se presenta la degradación aerobia de la materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua, mediante microorganismos aerobios que aprovechan el oxígeno y la luz para ejercer su actividad metabólica.

En la fase intermedia de la piscina se encuentran los microorganismos facultativos que utilizan procesos aerobios y anaerobios, para realizar la degradación de la

materia orgánica y aproximadamente después de 170 cm de profundidad solo encontramos microorganismos anaerobios, es decir que trabajan solo en ausencia de oxígeno y que de esta forma igualmente degradan la materia orgánica presente en el agua.

1.2.6 Piscina de oxigenación. La piscina de oxigenación tiene como función principal la oxidación de los últimos contaminantes orgánicos presentes en el agua, mediante la aireación de la misma. Igualmente mediante este proceso se genera un aumento de los niveles de oxígeno disuelto antes del vertimiento, lo que mejora la calidad del agua antes de ser entregada al cuerpo de agua. (Ver imagen 10) Son unidades de gran área y poca profundidad, lo que permite mantener ambientes aerobios en toda la piscina.

Imagen10. Piscina de oxidación



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

En el campo Santa Lucia y como aspecto relevante, cuenta con un aireador superficial que flota en un punto fijo de la piscina y que opera de forma continua desde el mes de julio de 2011 cuando fue instalado, para ayudar en la degradación de fenoles y a mejorar la calidad del efluente tratado.

1.2.7 Casetas de Bombas y Sistemas de Recirculación. La estación Santa Lucia cuenta con una caseta de bombas para realizar la oxigenación, recirculación y vertimiento del sistema de tratamiento. Las labores de oxigenación y recirculación se realizan permanentemente, oxigenando de día y recirculando de noche, mediante un juego de válvulas instalado para este fin (ver imagen 11).

Imagen 11. Caseta de bombas – Estación Santa Lucia



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

La estación Santa Lucia emplea la bomba Goulds Pumps acoplada al motor siemens de 20 hp es la utilizada para realizar el vertimiento y la recirculación del agua y la que se encuentra acoplada al motor siemens de 5 hp es la encargada de realizar la oxigenación del tratamiento.

En la estación Santa Lucia se cuenta con una línea de aproximadamente 2550 metros de longitud, de tubería de polietileno de alta densidad de 3", la cual inicia desde el borde del cerramiento de la estación del campo, junto a la entrada de la misma, hasta el punto de vertimiento autorizado sobre el río Cáchira.

Para este vertimiento la tubería que sale desde la caja de bombas hasta el empalme con la tubería de polietileno de 3", es tubería de PVC de alta presión de 2", la cual va enterrada por la estación hasta llegar a la caja de empalme ubicada en el punto anteriormente descrito.

La línea de polietileno de 3" sale de la estación y paralela a la misma y a la vía inicia su recorrido enterrada a un metro de profundidad hasta pasar el primer quiebra patas que desde la estación conduce al pozo Santa Lucia 1. Al superar este tramo la línea se instaló superficialmente entre los marcos H de las líneas de producción y se sujetó a cada uno de estos, con el objetivo de mantener la misma protegida de los vehículos y semovientes que transitan por la zona.

Durante todo el recorrido de la línea, desde su punto inicial hasta llegar a la finca las Margaritas, la tubería de polietileno sigue el mismo trazado de las líneas de flujo del campo, enterrándose donde estas se entierran y siguiendo superficialmente en donde las líneas de producción van sobre los marcos H.

Dentro de los componentes del vertimiento se encuentra la caja de inspección del vertimiento, donde se tienen la válvula de control del efecto remanso y la válvula toma muestras que se usa solo en caso de anegación del terreno de acceso al punto de vertimiento. (*ver imagen 12*)

Imagen 12. Caja de inspección previa al vertimiento – Estación Santa Lucia.



Fuente: Petróleos del Norte S.A

Posterior de la caja de inspección la línea de polietileno de 3" continua superficialmente cerca de 40 metros, para posteriormente girar hacia el río Cachira, pasando por el potrero de la finca hasta llegar al punto autorizado donde se encuentra la estructura de entrega al río, la cual se compone de un poste de concreto instalado sobre la orilla del río en terreno firme, y desde este se ancla un flotador que permite que el extremo final de la tubería oscile de acuerdo al nivel del río, el cual cambia considerablemente con las épocas de invierno y verano. (ver imagen 13).

Imagen 13. Estructura de entrega al vertimiento, flotador – Estación Santa Lucia.



Fuente: Petróleos del Norte S.A.

2. METODOLOGÍA

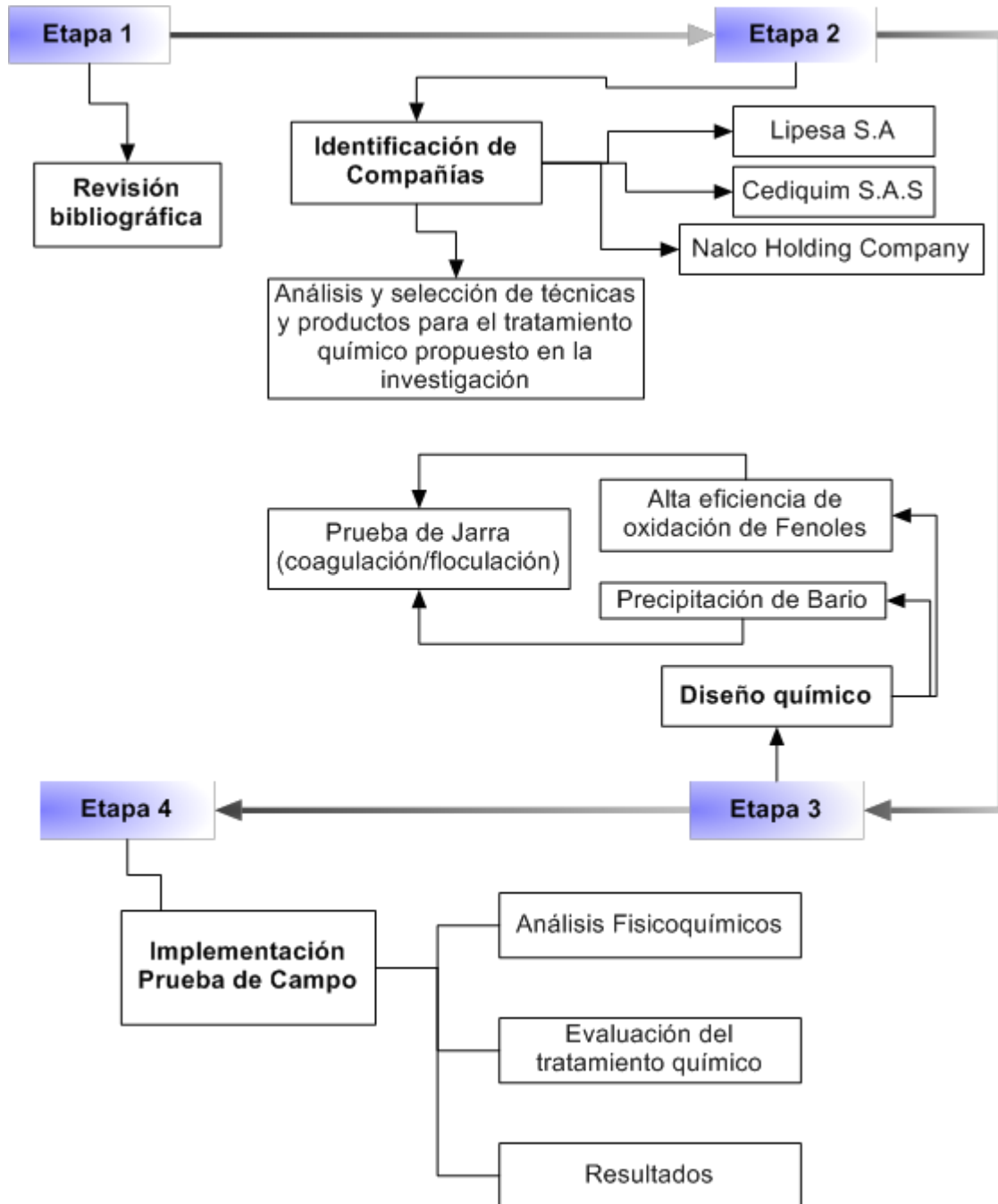
El proyecto se desarrolló en 4 etapas fundamentales como se observa en el diagrama de procesos de la figura 2. Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica (etapa 1, figura 2) empleando recursos de bases de datos de la Universidad Industrial de Santander, la Universidad Pontificia Bolivariana y otras universidades a través del Sistema Nacional de Bibliotecas (SINAB). El principal propósito de esta etapa fue identificar diversas técnicas y reactivos empleados en los procesos de remoción de bario y fenoles en aguas de producción petrolera.

Posteriormente, se analizaron las principales compañías interesadas en la ejecución de alternativas químicas para la remoción de Bario y Fenoles (etapa 2, figura 2) en aguas de producción de la Estación Santa Lucía. De igual manera, se realiza un análisis a partir de reportes de la compañía (NALCO) que ejecuta actualmente la biorremediación de aguas de la zona objeto de esta investigación. Dicha compañía se tuvo en cuenta en análisis y selección de los productos químicos.

En la tercera etapa (etapa 3, figura 2), se efectúa el diseño de un procedimiento químico empleando la prueba de jarra para cada uno de los productos químicos analizados y la selección de productos químicos necesarios para la precipitación de Bario y oxidación de Fenoles en aguas de producción petrolera de la batería Santa Lucía (Petronorte).

Finalmente, se implementó una prueba de campo (etapa 4, figura 2), para evaluar el método con el uso del producto químico seleccionado, aplicado en la remoción de Bario y Fenoles del agua de producción de la Estación Santa Lucía. A continuación se describe detalladamente cada uno de los pasos.

Figura 2. Diagrama de procesos de los objetivos específicos planteados para la investigación.



Fuente: Autor

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES (BARIO Y FENOLES) EN AFLUENTES HÍDRICOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA EXPLORACIÓN-EXPLOTACIÓN PETROLERA

A partir de los diferentes parámetros de búsqueda en base de datos, páginas de interés científico, portales web de empresas petroleras, plataformas de universidades, entre otros; se tuvieron en cuenta palabras claves en inglés y español como: técnicas de remoción de bario, oxidación de fenoles, alternativas de potabilización de agua, biodegradación de fenoles, biorremediación de aguas residuales, remoción de contaminantes por hidrocarburos, técnicas de floculación/coagulación, etc.; todos, tomados de artículos, reviews, tesis, informes empresariales y otros documentos certificados y publicados en los últimos cuatro años

2.2 IDENTIFICACIÓN DE COMPAÑÍAS INTERESADAS EN LA PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES (BARIO Y FENOLES) EN AFLUENTES HÍDRICOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA, BATERÍA SANTA LUCÍA (PETRONORTE)

Posterior a una visita de campo por parte de tres compañías interesadas en la presentación de técnicas de remoción de los contaminantes de estudio en esta investigación, se analizaron las propuestas de cada una y se eligió la metodología para la remoción de Bario y oxidación de Fenoles según criterio de costos y menor valor de turbiedad.

Para la selección de los productos químicos, se realizaron ensayos de laboratorio con ayuda de un kit de jarras de la compañía seleccionada (NALCO) que contaba con un sistema de agitación que permitía graduarse a conveniencia (ver Imagen 14).

Imagen 2. Equipo de prueba de jarras



Fuente: Reporte de resultados de la compañía NALCO, sobre la evaluación de alternativa química para la remoción de contaminantes del agua residual industrial (Petronorte - Batería Santa Lucía)

2.2.1 Análisis preliminares de Bario. la remoción de Bario se efectuó a partir del principio de coagulación/floculación, el cual consistió en formar un compuesto de Bario en presencia de iones sulfato llamado PS (precipitación por sulfato). Durante el proceso de precipitación de Bario, se empleó el compuesto LA3559C de la compañía NALCO (Anexo I. Ficha de Seguridad). Considerando que los productos químicos aplicados para este tipo de tratamiento son coagulantes/floculantes, fueron necesarios varios ensayos en el kit de jarras y así establecer las dosis y concentraciones óptimas para el tratamiento correspondiente. A partir de la prueba de jarras, se evaluaba la rapidez de la formación del floc, el tamaño del mismo y la calidad de agua según las concentraciones de Bario presente en agua tratada.

2.2.1.1 Procedimiento prueba de jarras para Bario. Se realizó la toma de una muestra representativa de agua en la entrada de la piscina facultativa (primera

piscina). Seguidamente y con la ayuda del kit de clarificadores se procedió con la prueba de jarras de la siguiente manera.

- Se preparó una solución patrón a 100.000 ppm.
- Se vertió la muestra de agua en las jarras de 1000mL.
- Se dosificó a 100, 200, 300, 400, 600, 800 y 1000 ppm a cada jarra del secuestrante de Bario a evaluar.
- Se inició la agitación a 60 rpm.
- Se aplicó las dosis planteadas para la prueba y transcurridos 30 segundos, se redujo la agitación a 30 rpm durante 90 segundos.
- Posteriormente se suspendió la agitación.
- Se evaluó el tamaño del floc y la velocidad con que precipitaba el Bario.
- Se inspeccionó la calidad del agua en la jarra transcurridas 30 horas

De esta manera se evaluó la dosis óptima y se hicieron las respectivas anotaciones con base en los resultados.

2.2.2 Análisis preliminares de Fenoles. Paralelo a los análisis de Bario, se realizaron a través del mismo método de jarras los ensayos para fenoles empleando el producto químico LA3553C (Anexo H. Ficha de Seguridad) de la compañía NALCO. Las dosificaciones para fenoles fueron 50, 100, 150, 200, 300 y 400 ppm. Finalmente con ayuda de un espectrofotómetro y embudos de decantación (ver imagen 15), se realizó para cada jarras, el análisis de cantidad de fenol disuelto.

Imagen 15. Prueba de laboratorio para la determinación de la concentración de fenol disuelto en agua.



Fuente: Reporte de resultados de la compañía NALCO, sobre la evaluación de alternativa química para la remoción de contaminantes del agua residual industrial (Petronorte - Batería Santa Lucía)

2.3 DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO QUÍMICO PARA LA REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN EN LA ESTACIÓN SANTA LUCIA OPERADA POR LA COMPAÑÍA PETRÓLEOS DEL NORTE S.A

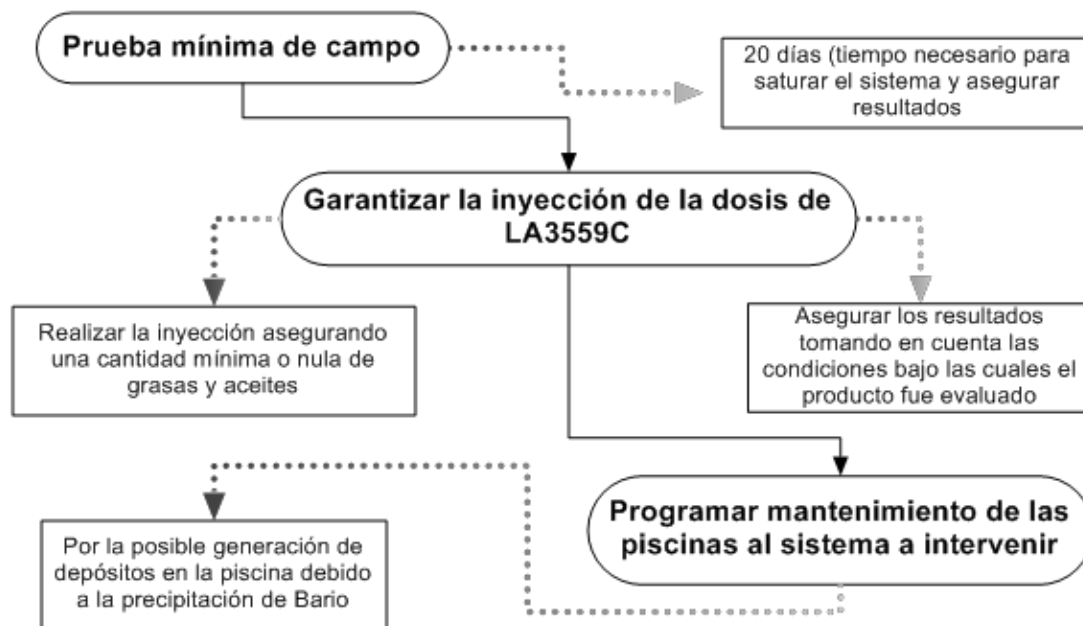
En cumplimiento con el tercer objetivo, se diseñó un procedimiento químico para la remoción de Bario y Fenoles del agua de producción en la Estación Santa Lucia operada por la compañía Petróleos del Norte S.A.

Los resultados de turbidez fueron el punto de partida para el diseño químico de remoción de Bario y Fenoles. Se elaboró en base a los niveles mínimos permisibles por la autoridad ambiental de Bario 5 ppm y Fenoles 0,2 ppm, según la Norma GTC 2.

El diseño fue estimado para un análisis de campo de 30 días, con un periodo de estabilización de 20 días, en los cuales se debe garantizar la disponibilidad de los dos productos químicos LA3559C para Bario y LA3553C para Fenoles de la compañía NALCO. El proceso también incluye la caracterización de los compuestos de estudio a través análisis con espectrofotómetro y reactivo BARIVER-HACH para muestras que presenten alta turbiedad, de acuerdo al protocolo para prueba de campo de la compañía NALCO en el tratamiento químico de remoción de Bario y oxidación Fenoles, en el agua de vertimiento de la estación Santa Lucía operada por Petronorte.

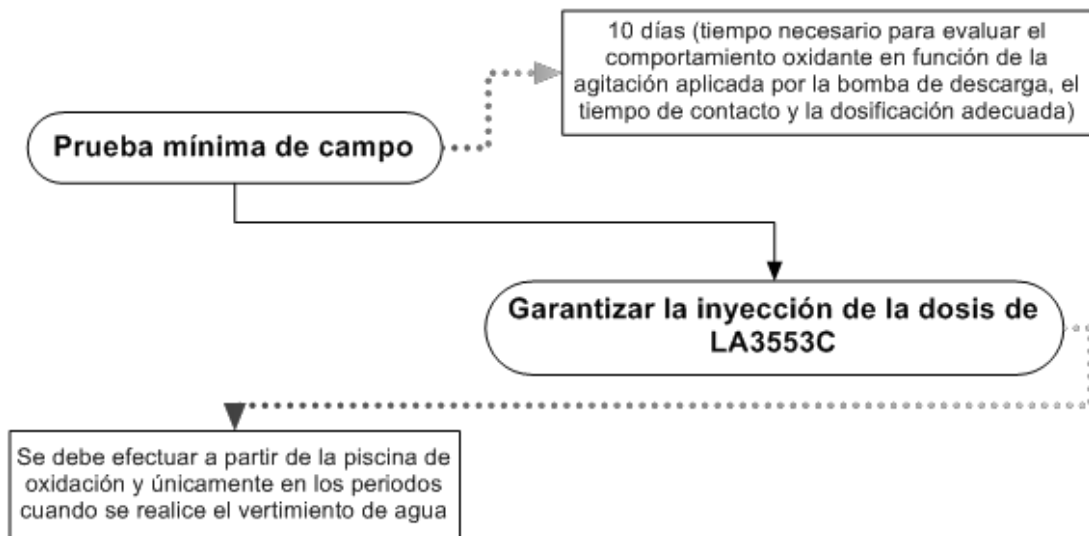
Los criterios generales de diseño se incluyen en las figuras 3 y 4.

Figura 3. Diagrama de criterios básicos para el diseño químico de oxidación de Fenoles por precipitación en aguas de producción petrolera de la estación Santa Lucía – Petronorte



Fuente: Autor bajo de Nalco a partir del reporte de las pruebas de jarras

Figura 4. Diagrama de criterios básicos para el diseño químico de remoción de Bario por precipitación en aguas de producción petrolera de la estación Santa Lucía – Petronorte



Fuente: Autor con recomendaciones de Nalco a partir del reporte de las pruebas de jarras

2.4 IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA EN CAMPO SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DE PROVEEDOR DE PRODUCTOS QUÍMICOS APLICADOS

Las pruebas de implementación se realizaron en el campo Santa Lucía ubicado en Vereda Tres Esquinas del área de influencia de San Alberto Cesar.

Posterior a las pruebas preliminares de laboratorio (prueba de jarras) se realizaron los análisis fisicoquímicos para conocer diferentes parámetros que podrían llegar a afectar el tratamiento químico propuesto; entre estos se tuvo en cuenta materia orgánica, pH, contenido de otros metales, sólidos totales, sólidos suspendidos, volátiles, temperatura, grasas y aceites y otros.

La prueba en campo se llevó a cabo por un periodo de un mes y al final de se lograron las concentraciones remanentes de Bario y Fenoles acorde con la exigencia en la normatividad. (Bario 5 ppm y Fenoles 0,2 ppm)

Finalmente se evaluó el tratamiento químico implementado, como se describe a continuación. Cabe resaltar que durante la implementación del método, se contó con acompañamiento técnico de la compañía NALCO a cargo del representante Técnico Alex Ballesteros durante el mes de tratamiento iniciando el día 12 de Octubre y culminando el 12 de noviembre de 2014.

2.4.1 Procedimiento de la Implementación de la prueba de campo para Bario.

Teniendo en cuenta que la totalidad del agua producida en el campo ingresa a las trampas API de la estación santa Lucia y que luego pasa a la piscina facultativa, se tomó la decisión de iniciar el tratamiento químico para la remoción de Bario a partir de este punto.

Para la implementación del tratamiento químico en la remoción de Bario se procedió de la siguiente manera:

1. Se realizó la medición del caudal de cada piscina a través de aforo volumétrico manual con balde. El operador, debía introducirse en cada piscina y realizar el aforo en el transcurso del día.
2. Se realizó la adecuación para la inyección del producto químico en campo. Para ello, se contó con dos contenedores de 1000 L cada uno y una bomba anti-exposición de alto caudal.
3. La línea de inyección fue instalada en material PVC en la entrada de la piscina facultativa y en la entrada de la piscina de oxidación como medida adicional. (ver figuras 5)

Figura 5. Facilidades de inyección de secuestrante de Bario y puntos de aplicación a la entrada de la piscina facultativa y de oxidación



Fuente: Trabajo de campo Autor

4. Se realizó el montaje de los elementos de laboratorio necesario para la determinación de Bario en el laboratorio de la estación Santa Lucia. Para ello, se instaló el equipo espectrofotómetro, dos celdas de vidrio y se dispuso del reactivo Bariver.
5. Se realizó un monitoreo de la concentración de bario en cada punto del circuito de tratamiento de agua (entrada piscina facultativa, entrada piscina de oxigenación y vertimiento)
6. Se inició la dosificación del producto LA3559C a la entrada de la piscina facultativa, a una concentración de 1200 ppm medidos con respecto al agua producida.
7. Después del inicio de la inyección de producto químico y una vez cumplido el tiempo de residencia de la piscina facultativa, fue realizado el monitoreo de la concentración de bario a la entrada de la piscina facultativa (Antes del punto de inyección) y entrada de la piscina de oxigenación.

8. Durante el periodo de saturación se hicieron dos monitoreos diarios en cada punto de evaluación.
9. La calidad del agua en el punto de vertimiento al río fue monitoreada diariamente.
10. Una vez se alcanzó la concentración máxima permisible en el punto del vertimiento al río (Concentración ≤ 5 ppm), se dio inicio a la etapa de estabilización de la dosis de tratamiento.

2.4.2 Procedimiento de la Implementación de la prueba de campo para Fenoles. Por otra parte, el tratamiento químico para la oxidación de fenoles fue implementando en la línea de descarga de la bomba de vertimiento y su montaje y evaluación se desarrolló de la siguiente forma:

1. Se realizó la adecuación para la inyección del producto químico LA3553C en campo. Se dispuso de un contenedor de 1000L de capacidad, una bomba anti-exposición de alto caudal y de una línea de inyección en PVC que dosificaría en la línea de descarga de la bomba de vertimiento.
2. Se realizó monitoreo de la concentración de fenoles en cada punto del circuito de tratamiento de agua. (Entrada piscina facultativa, entrada piscina de oxigenación y vertimiento)
3. Se dio inicio de la dosificación del producto LA3553C a la salida de la piscina de oxidación, en la línea de descarga de la bomba de vertimiento a una concentración de 100 ppm medidos con respecto al agua vertida.
4. Después de tres horas del inicio de la inyección de producto químico fue monitoreada la concentración de fenoles en la entrada de la piscina facultativa, entrada piscina de oxigenación y vertimiento.
5. Durante el periodo de saturación fueron realizados dos monitoreos diarios en cada punto de evaluación.
6. La calidad del agua en el punto de vertimiento al río fue monitoreada diariamente.

7. Una vez se alcanzó la concentración máxima permisible en el punto del vertimiento al río (Concentración ≤ 0.2 ppm), se dio inicio a la etapa de estabilización de la dosis de tratamiento.

2.4.3 Evaluación del tratamiento químico realizado para la remoción de fenoles y bario en el agua de producción de la ESTACIÓN SANTA LUCIA.

Para la evaluación del tratamiento químico se realizó el monitoreo diario de agua intervenida a través de análisis fisicoquímico. Básicamente, se siguió la metodología de muestreo indicada por el laboratorio químico acreditado, regida bajo la norma ASTM para sus procedimientos de seguimiento de la concentración de Bario y Fenoles y/o remanentes.

Para evitar la sobredosis del producto en agua vertida se tuvo en cuenta la posibilidad de recirculación de esta. En caso contrario, cuando la concentración del producto no resultó suficiente para el cumplimiento del tratamiento previsto, se completó la dosis faltante.

Finalmente se reportaron las concentraciones de LA3553C y LA3559C aplicadas al final de la prueba con el objetivo de hallar una dosis óptima entre consumo-calidad de agua de vertimiento. Con el ánimo de garantizar la veracidad de los resultados obtenidos en campo, se envió muestras de agua del STARI al laboratorio certificado de Nalco en la ciudad de Barranquilla.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 REPORTE DE BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Dando cumplimiento al primer objetivo trazado en esta investigación, se realizó una revisión bibliográfica detallada para identificar alternativas de remoción de contaminantes (Bario y Fenoles) en afluentes hídricos en la zona de influencia de la exploración-explotación petrolera. En la tabla 3 se compilan los artículos más representativos, consultados como guía para la remoción de contaminantes en aguas de producción petrolera, específicamente de remoción de Bario y Fenoles. La ampliación del cuadro se encuentra en el Anexo K.

Tabla 3. Revisión bibliográfica de alternativas de remoción de Bario y Fenoles en aguas de producción petrolera

Título	Tipo de Investigación	Resumen	Año Publicación
Propuesta de Evaluación para: - Agentes precipitantes de Bario en planta de deshidratadora Galán - Agentes de Bario y remoción de Fenoles en la planta deshidratadora Lisama - Remoción de Fenoles en la planta de procesos de El Centro	Informe de ECOPETROL	El documento presenta un protocolo de pruebas de laboratorio para la remoción de los contaminantes de interés; además, describe como se emplean los resultados de las pruebas para medir comparativamente el desempeño técnico de productos de diferentes casas comerciales.	2012
Uso de humedales construidos de tipo superficial a escala piloto para la remoción de sulfuros y fenoles de agua de producción de petróleo	Rev: Centro de Investigación de Agua (Universidad del Zulia)	En esta investigación, evaluaron la eficiencia de humedales construidos de flujo superficial libre a escala piloto, para el tratamiento de agua de producción del petróleo y la remoción de sulfuro y fenoles.	2012

Planteamiento de alternativas Físico-Químicas para remediación de aguas subterráneas y suelos contaminados con hidrocarburos apoyados en la aplicación de software visual modflow para un área de interés de ECOPETROL S.A.	Tesis de Pregrado en Ingeniería Ambiental (Universidad Pontificia Bolivariana)	Se enfocó un estudio de biorremediación de aguas contaminada por fenoles y metales como Bario, Plomo, Arsénico, Cromo y Cadmio a través de una modelación de flujo de aguas subterráneas, empleando una solución surfactante y a través de microorganismos nativos.	2011
Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Mediante Humedales Artificiales de Alta Tasa en la Localización Petrolera de Caño Gandúl	Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental (Universidad Nacional de Colombia)	Este estudio, desarrolla un prototipo de humedal artificial que involucra un reactor anaerobio. Evaluaron el sistema mediante determinantes de la calidad del agua: eficiencia de remoción del sistema, modelo cinético de degradación de la materia orgánica y comparación con sistemas convencionales como lagunas de oxidación.	2011

Fuente: Autor

3.2 COMPAÑÍAS PRESENTADAS PARA LA EJECUCIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE BARIO Y FENOLES EN AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN SANTA – LUCÍA (PETRONORTE) Y REPORTE DE SELECCIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

En cumplimiento con el segundo objetivo trazado, se identificaron tres compañías interesadas en presentar alternativas químicas para la remoción de Bario y Fenoles del agua de producción de la Estación Santa Lucia: Lipesa, Nalco y Chemioil. No obstante, Nalco fue la única compañía que ofreció extras de servicio como se observa en la descripción de las propuestas de la tabla 4, además de

bajo costo de insumos y apoyo de campo. Finalmente, al tener solo un proveedor para el tratamiento químico, se optimizaron los costos operativos de visitas de campo, entre otros.

Tabla 4. Presentación de compañías para la remoción de Bario y Fenoles en la estación Santa Lucía operada por Petronorte

Compañía	Descripción Propuesta	Costo Tratamiento Total
	<ul style="list-style-type: none"> -Soporte técnico presente durante el inicio de prueba, hasta la estabilización del sistema. - Visitas periódicas para dar seguimiento a los parámetros de evaluación. -Contenedor para producto químico. -Visor para identificación de nivel. -Bomba de inyección eléctrica de capacidad máxima 72gal/día (GPH) 110V; 1amp. -Acometidas hidráulicas -Embudos de decantación de 500mL, soportes para los embudos, probetas de 500mL y reactivos para determinación de Fenol. -Espectrofotómetro -Reactivos para determinación de Bario y Fenoles 	<p>\$11'385.000 COP/mes</p> <p>*Sujeto a optimización de acuerdo a los resultados arrojados</p>
	<p>No ofrece extras de servicio</p>	<p>\$ 18'994.680 COP/mes</p> <p>*Sujeto a optimización de acuerdo a los resultados arrojados</p>
	<p>No presentó propuesta después de la visita inicial de campo.</p>	

Fuente: Autor con datos suministrados por la Gerencia de Petronorte

3.2.1 Resultados de prueba de jarras para el producto químico LA3559C (precipitación de Bario). En la tabla 5 se encuentran los resultados de los análisis de jarras para Bario; la muestra química sin tratamiento se registró a una concentración de Ba⁺⁺ de 59 ppm. En estos resultados, se observa que el secuestrante de Bario es satisfactorio por encima de las 600 ppm debido a que la concentración mínima permitida por las autoridades ambientales es de 5ppm.

De igual manera, la mayor velocidad de precipitación de Bario se presentó en las primeras 18 horas, asegurando que la mayor cantidad de este metal fue retenida en la primera piscina (piscina facultativa). Después de este tiempo, la velocidad de precipitación, se redujo y se necesitaron 10 horas para alcanzar valores de Ba⁺⁺ menor a 5ppm.

Tabla 5. Resultados concentraciones de Bario remanente para las dosificaciones evaluadas transcurridas 18 y 24 horas empleando el producto LA3559C

Concentración de Bario Remanente (ppm)	Ba ⁺⁺ (ppm)		% Remoción 30 horas
	Concentración remanente de Bario a 18 horas	Concentración remanente de Bario a 24 horas	
0	59	58	1,7
100	57	45	23,7
200	45	34	42,4
300	31	22	62,7
400	20	12	79,7
600	14	8	86,4
800	8	3	94,9
1000	7	2	96,6

Fuente: Informe reporte de resultados preliminares de la remoción de contaminantes del agua residual industrial de la batería Santa Lucía – Petronorte. Tiempo estimado de reacción completa del producto.

Para concentraciones mayores a 800 ppm no se observaron diferencias significativas en la remoción de Bario, lo que permitió apreciar que a 800 ppm es la dosis óptima del compuesto LA3559C.

Imagen 16. Resultados calidad de agua



Fuente: Informe reporte de resultados preliminares de la remoción de contaminantes del agua residual industrial de la batería Santa Lucía - Petronorte

3.2.1.1 Discusión de resultados de prueba de jarras para precipitación de Bario. Teniendo en cuenta la capacidad volumétrica de la piscina facultativa y el caudal total de agua que ingresó a la piscina, se calculó a través de aforo volumétrico manual (como se indicó en la sección 3.4.2) que el tiempo de resistencia de 15 horas. Por esta razón, el objetivo de la prueba fue remover la mayor cantidad de bario durante las primeras 18 horas para asegurar su remoción en la primera piscina.

El secuestrante de Bario también desarrolló un rol como clarificador, razón por la cual el agua tomó un color de amarillo a transparente.

3.2.2 Resultados de prueba de jarras para el producto químico LA3553C (oxidación de fenoles). Inicialmente, la muestra de agua sin tratamiento tomada a la salida de la piscina de oxidación registró 0.8 ppm de fenol. A diferencia del

producto químico para remoción de Bario, el producto para fenoles reaccionaba inmediatamente, por lo tanto no se reporta tiempo transcurrido de reacción. A continuación se muestran los resultados de la prueba realizada en el laboratorio:

Tabla 6. Resultados de concentración remanente de Fenol para las dosificaciones evaluadas.

Dosificación LA3553C	Concentración Remanente de Fenol (ppm)
50	0,611
100	0,351
150	0,292
200	0,182
300	0,09
400	0,04

Fuente: Informe reporte de resultados preliminares de la remoción de contaminantes del agua residual industrial de la batería Santa Lucía - Petronorte

Los resultados obtenidos en la **tabla 6** permiten apreciar la efectividad en la oxidación de fenoles del producto LA3553C. Se observa que para mayores cantidades de oxidante, la concentración de fenoles disminuye significativamente. Para los valores caracterizados en el agua de producción de la estación Santa Lucía, la dosis recomendada fue de 200 ppm de LA3553C.

4.2.2.1 Discusión de resultados de prueba de jarras para oxidación de fenoles. La oxidación química fue conveniente, especialmente sí se complementó con el sistema de oxidación mecánica (aspersores). Se ha podido corroborar que cerca del 30% de la oxidación se realiza por medio de una recombinación de los sistemas mecánicos que acompañan la reacción química. A pesar de evitar al máximo la oxigenación del agua en las jarras, es probable que el comportamiento apreciado en el laboratorio no represente en su totalidad el comportamiento que

se podría esperar en campo debido a la condición del sistema a intervenir (Línea de descarga) carente de oxigenación.

3.3 PROPUESTA DE DISEÑO QUÍMICO PARA LA REMOCIÓN DE BARIO Y OXIDACIÓN DE FENOLES DE AGUAS DE LA ESTACIÓN SANTA LUCÍA - PETRONORTE

La alternativa más adecuada de tratamiento se proyectó para para una prueba mínima de campo de 10 días para Bario y 20 días para Fenoles. No obstante, debido a la alta demanda de saturación del sistema para la remoción de Bario, se calculó que la concentración de producto químico aplicado debería ser incrementada hasta 1900 ppm durante los primeros días de la prueba.

Por lo anterior, en el sistema de tratamiento se consideró dos bombas de dosificación de alto caudal y dos puntos de inyección para cada producto químico elegido. El punto de inyección del secuestrante de Bario se ubicó a la salida del separador API; para fenoles el punto del químico se ubicó en la piscina de oxidación, justo en la línea de descarga (ver figura 7). El esquema de tratamiento de agua de producción para vertimiento, Estación Santa Lucia se encuentra en el Anexo J.

El monitoreo de la concentración de Fenoles y Bario en cada punto del circuito (entrada piscina facultativa, piscina de oxigenación y vertimiento) se realizó aproximadamente después de tres horas de inicio del proceso de inyección; sin embargo, durante el periodo de saturación del sistema se recomienda realizar dos monitoreos diarios en cada punto de evaluación.

Una vez alcanzada la concentración máxima permisible en el punto del vertimiento al río (Concentración ≤ 0.2 ppm para fenoles - Concentración ≤ 5 ppm para Bario), se inició a la etapa de estabilización de la dosis de tratamiento. Los detalles del

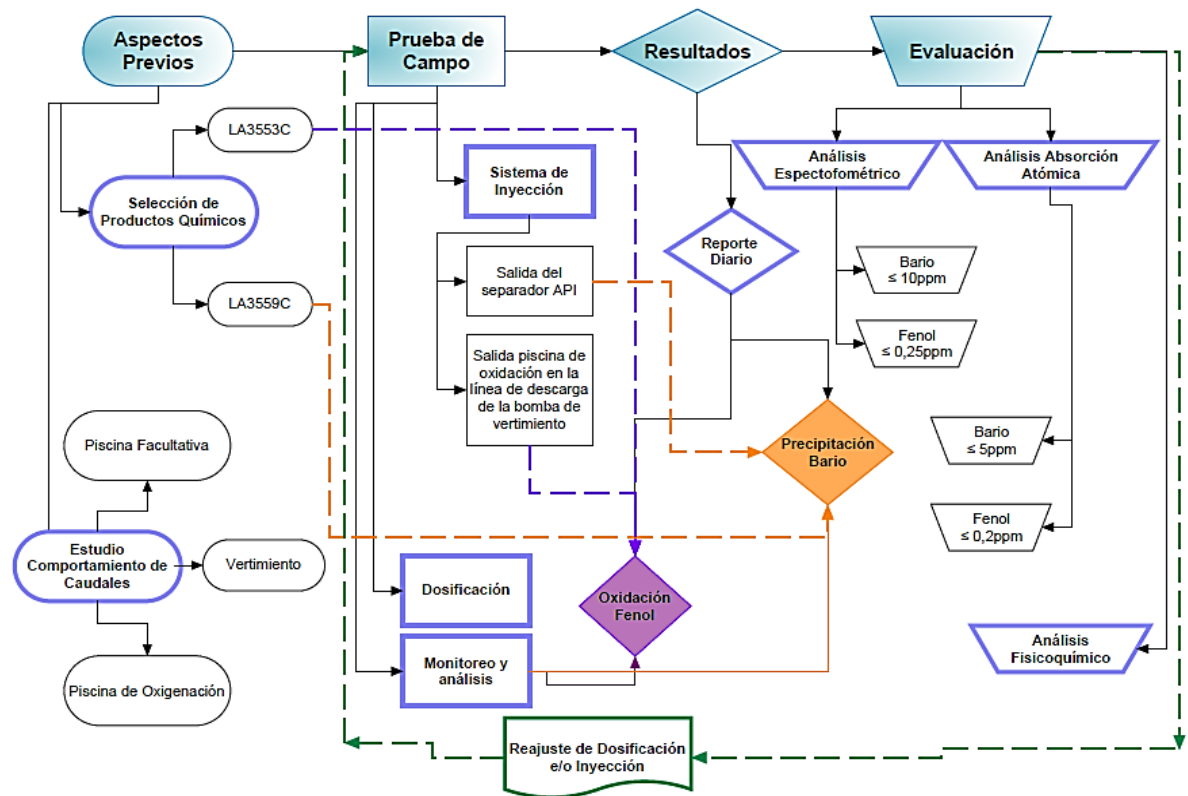
diseño del sistema de tratamiento químico aplicado para la eliminación de Fenoles y Bario en agua de producción se resumen en la tabla 7.

Tabla 7. Datos de diseño del sistema de tratamiento

Característica		Valor
Cant. Producto estimado	LA3553C	495Kg
(Fenoles)		
Cant. Producto estimado	LA3559C (Bario)	5.500 Kg
Capacidad contenedores por producto		1000L
Bomba de inyección		170gal/día
Dosificación estimada LA3559C		30gal/día
Dosificación estimada LA3553C		260gal/día
Periodo de estabilización oxidación de Fenol		200ppm / 20días
Periodo de estabilización precipitación Bario		800ppm / 15 días
Periodo de saturación precipitación Bario		120ppm / 5 días

Fuente: autor, bajo recomendaciones de la compañía NALCO

Figura 6. Diagrama de procesos para la remoción de Bario y Fenoles de la estación Santa Lucía – Petronorte



Fuente: Autor

3.4 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRUEBA DE CAMPO

El último objetivo fue Implementar una prueba en campo de un mes para evaluar el método químico aplicado en la remoción de Bario y Fenoles del agua de producción de la Estación Santa Lucia. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

3.4.1 Resultados de Remoción de Bario y Fenoles. Los reportes de concentraciones de Bario presente en agua de producción fueron: 28.25 mg/L y 0,380 para fenoles en la de entrada de la piscina facultativa, antes de iniciar el tratamiento (ver Anexo A). De igual manera, un segundo reporte (Anexo B) indicó

que en la entrada de la piscina de oxidación, la presencia de Bario en el agua era de 6.54 mg/L y para fenol de 0.360 mg/L.

El tercer reporte, corresponde a la entrada de la piscina de vertimiento (Anexo C) después de aplicado el tratamiento, la presencia de Bario en el agua disminuyó a 2.5 mg/L y Fenol 0.101 mg/L (ver Tabla 8). Ambos resultados fueron analizados por absorción atómica y análisis fotométrico respectivamente. En estos resultados, se comprueba la efectividad del tratamiento químico utilizado en la prueba de campo, garantizando que los parámetros de Bario y fenoles estuvieran por debajo de los valores permisibles establecidos por el ente ambiental (Bario<5ppm; Fenoles<0.20ppm).

Tabla 8. Reporte de concentración de Bario y Fenoles en agua de las piscinas antes de iniciar el tratamiento, y en la piscina de vertimiento después de aplicado el tratamiento

Piscina	Antes de iniciar Tratamiento		Después de iniciar tratamiento	
	Bario [mg/L]	Fenoles [mg/L]	Bario [mg/L]	Fenoles [mg/L]
Facultativa	28,25	0,380		
Oxidativa	6,54	0,360		
Vertimiento			2,5	0,101

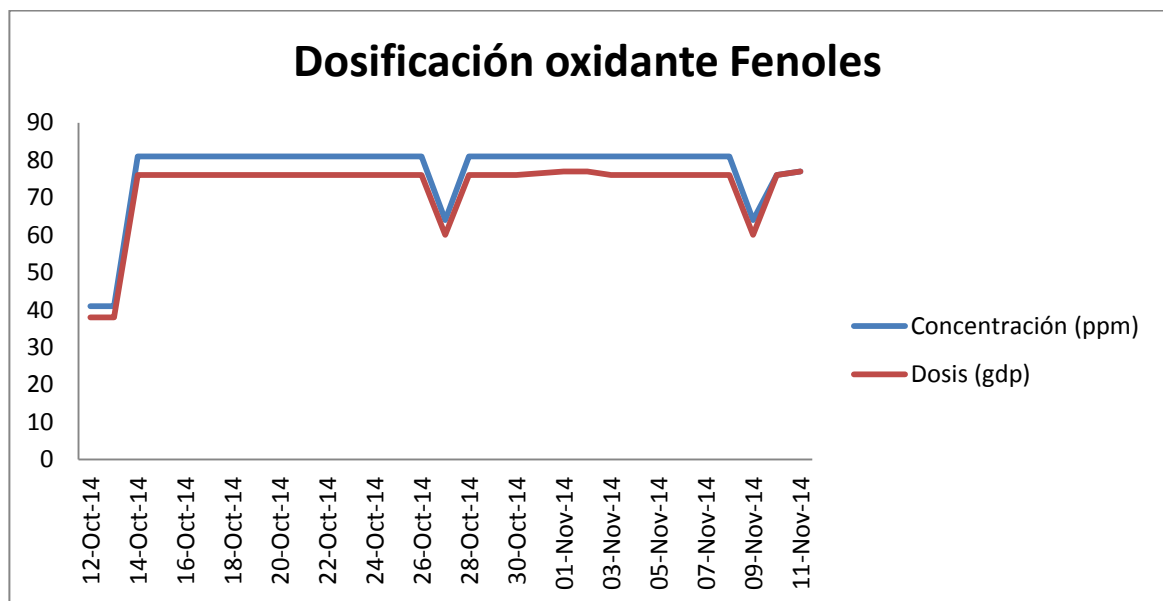
Fuente: autor

La dosificación del producto para la oxidación de fenoles se incrementó a partir del segundo día cuyo propósito era saturar el sistema de tratamiento y se mantuvo hasta el día 26 de octubre (ver Figura 7). En esa fecha se observó un pico de descenso correspondiente a una parada de la planta de tratamiento por órdenes de operaciones externas, por lo tanto, ese día no se recibió agua de tratamiento en las piscinas. No obstante, las operaciones reanudaron el día 27 de Octubre y la dosis es regulada (como se trabajó inicialmente) hasta el 9 de Nov; fecha en que a

través de monitoreo, se observó la disminución de la cantidad de fenoles permitida por la legislación ambiental.

Los dos últimos días se incrementó la dosis por debajo de la concentración de saturación del sistema, para continuar con el proceso de remoción permanente. En el Anexo D, se presenta de igual manera los resultados de dosificación del producto LA3553C.

Figura 7. Gráfica de dosificación del producto LA3553C para oxidación de Fenoles



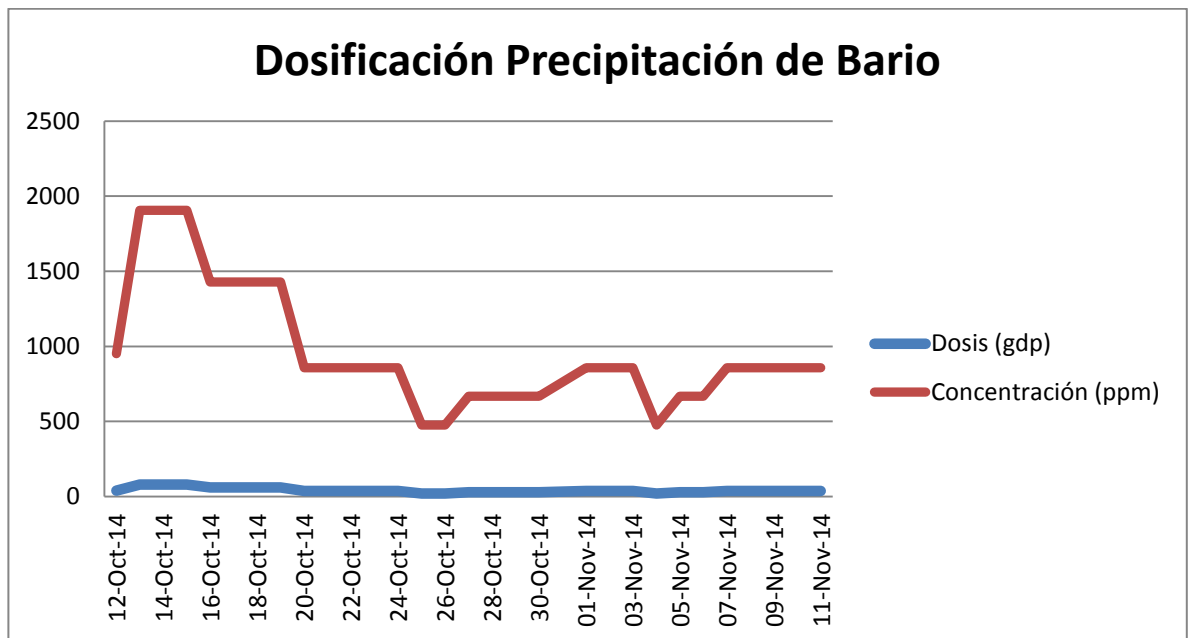
Fuente: Trabajo de campo autor

En cuanto a la dosificación para la precipitación de Bario, la concentración del producto LA3559C fue incrementada drásticamente a partir del segundo día para provocar la saturación del circuito, no obstante, como el producto de precipitación no reaccionaba inmediatamente como el de fenoles, debía esperarse el periodo de reacción que corresponde a los segmentos constantes de la curva (figura 8). La ventaja en este proceso a diferencia del anterior, es que posterior a la saturación del sistema, se requería menos cantidad del producto, por eso se observa descenso hasta el 26 de Octubre (parada de operaciones). Luego se reanuda la

dosis y se observó un pico de descenso entre el 3 y 5 de Noviembre por la baja presencia de Bario.

Finalmente se incrementó la dosis de manera permanente para garantizar la remoción continua. Se concluye la optimización del proceso, por la disminución de la dosis del producto LA3559C a lo largo del tratamiento (ver Anexo E).

Figura 8. Dosificación del producto LA3559C para precipitación de Bario en periodo de tratamiento comprendido entre Octubre 12 de Oct. de 2014 a 11 de Nov. De 2014



Fuente: Trabajo de campo autor

Finalmente, se comprueba la remoción de Bario y Fenoles en el vertimiento del sistema (Anexo F y G) a través de un contraste de concentraciones de los compuestos de estudio a través de STARI en las tres piscinas de tratamiento: facultativa, oxidativa y vertimiento, desde el inicio hasta el final del tratamiento. En estas gráficas se observa la concentración de Bario y Fenoles por debajo de la

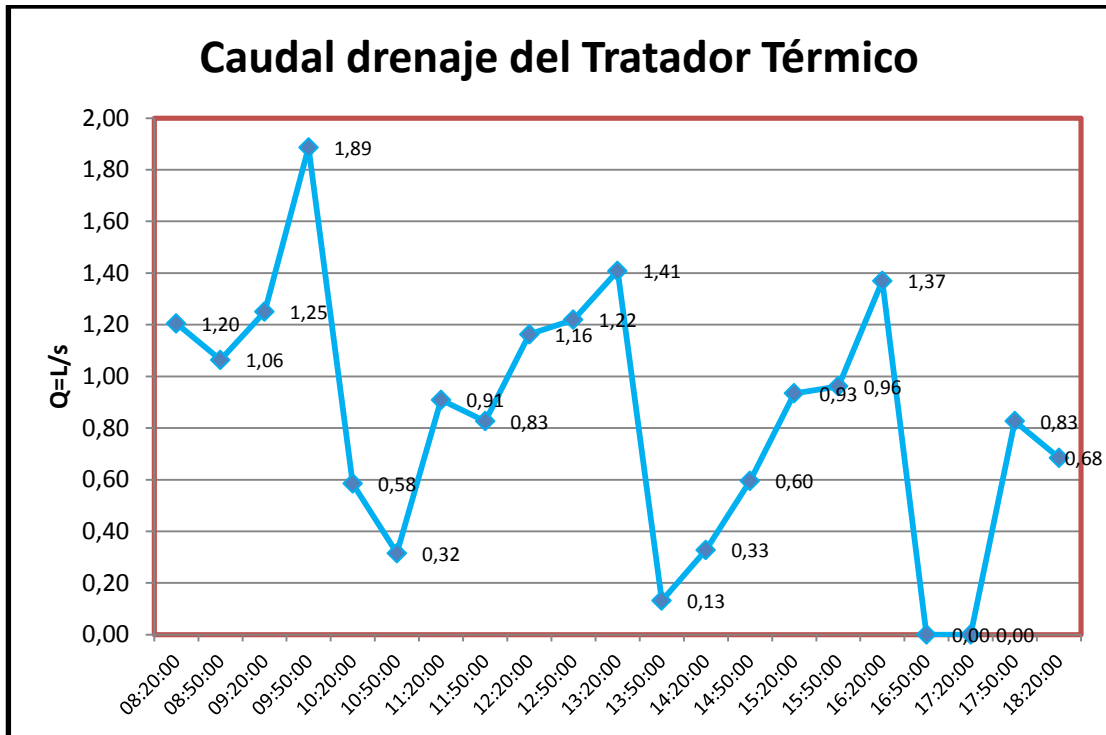
medida permitida por las autoridades ambientales (5.0 mg/L y 0.2 mg/L respectivamente).

3.4.2 Resultado de comportamiento de caudales. Para demostrar la efectividad del tratamiento a través de análisis de control térmico, en caja de acopio y en drenaje de tanques, se presentaron los siguientes resultados: el primer aspecto corresponde al control del caudal de drenaje del tratamiento térmico que no fue constante (ver figura 9), iniciando en 1.20 L/s y terminando en 0.68 L/s. Los ascensos y descensos de la gráfica corresponden al efecto de la válvula automática que posee el tratador térmico; cuando el tratador tomó un nivel determinado, accionó la válvula automática y drenó. Los descensos en la gráfica corresponden al periodo de drenaje.

El incremento o descenso del volumen de agua dentro del tratador térmico, también está asociado al volumen de producción de los pozos; es decir, si un pozo aumentó el nivel de agua después de entrar al separador y pasar al tratador, el tratador va a incrementar el volumen de agua, a su vez, incrementó el volumen de descarga para mantener un nivel de crudo, aceite y gas en el interior del tratador.

Como aspectos relevantes se tiene que el pico más alto alcanzó los 1.89 L/s y el pico más bajo antes de interrumpirse por espacio de media hora fue de 0.13 L/s, avanzando progresivamente hasta alcanzar los 1.37 L/s. El flujo se mantuvo constante por espacio de media hora. Veinte minutos más tarde el caudal alcanzó 0.83 L/s y se cerró el tiempo de control con un caudal de 0.68 L/s.

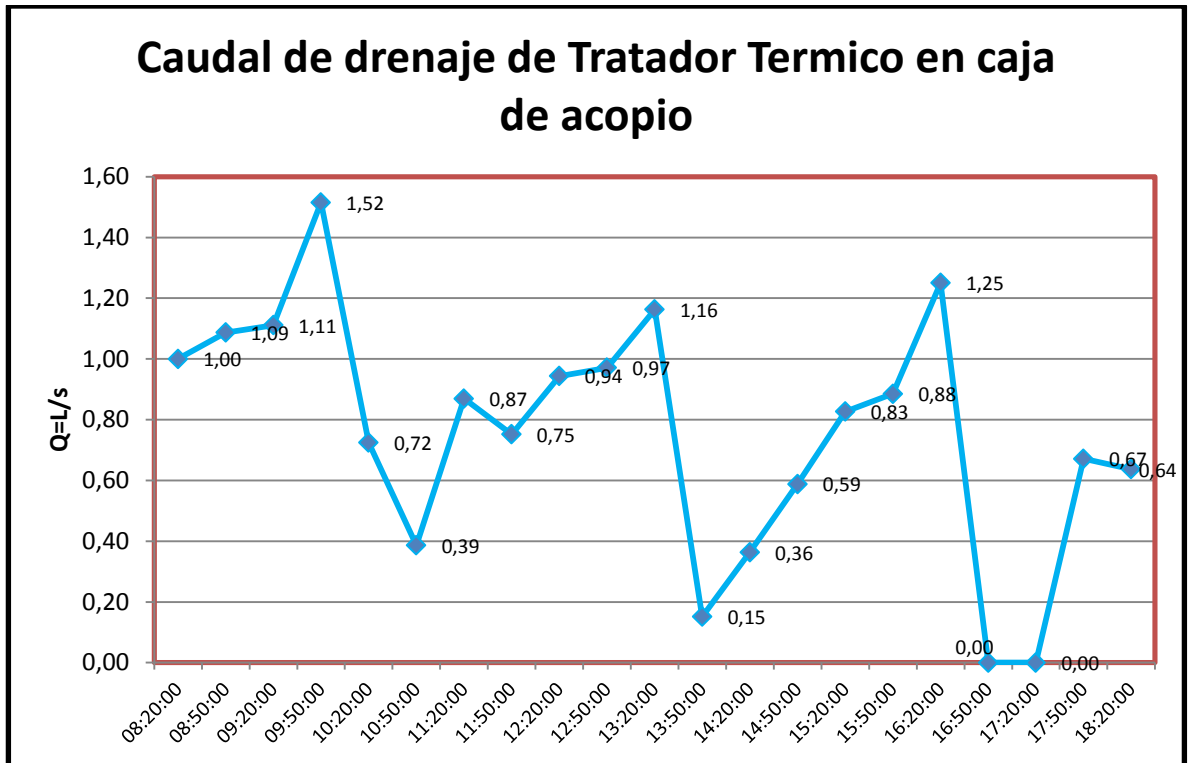
Figura 9. Gráfico de Caudal drenaje del tratamiento térmico



Fuente: Trabajo de campo Autor

El control del caudal de drenaje del tratador térmico en caja de acopio indicó que el flujo de caudal inicial fue de 1 L/s, alcanzando el pico más alto una hora después con 1.52 L/s. Trascorridas diez horas cincuenta minutos se interrumpió el flujo, reiniciándose treinta minutos después alcanzado los 0.67 L/S y terminado con 0.64 L/s. (Ver Figura 10). Los descensos y ascensos así como en las gráficas anteriores, correspondieron a los periodos de carga y descarga por efecto de la válvula automática.

Figura 10. Gráfico de caudal de drenaje del tratador térmico en caja de acopio

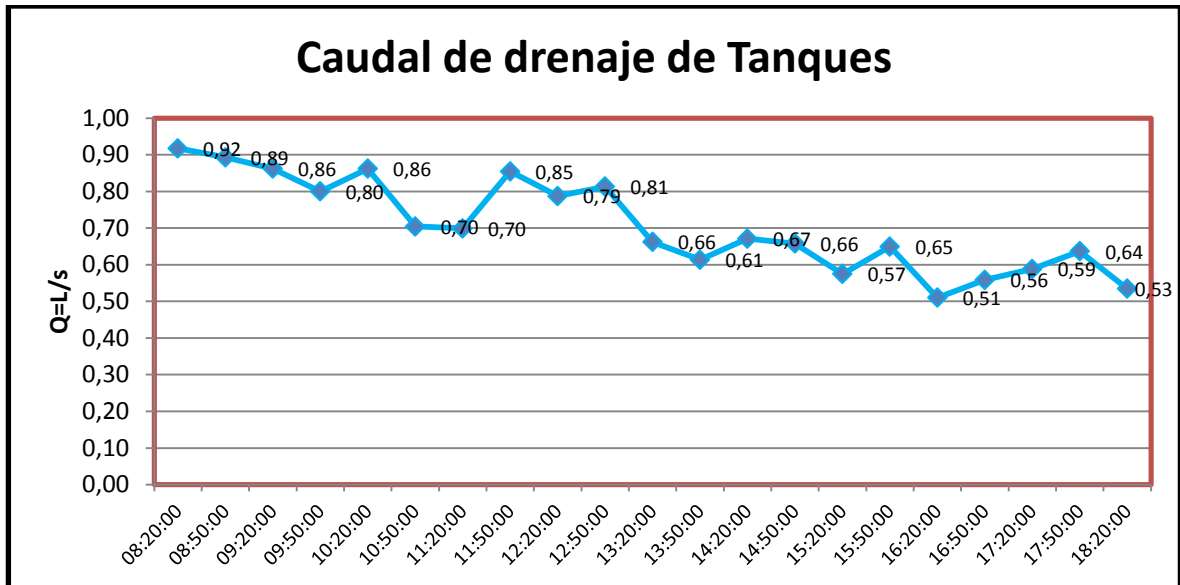


Fuente: Trabajo de campo Autor

Respecto del caudal de drenaje en tanque el control se inició con un flujo de 0.92 L/s, siendo el pico más bajo 0.51 L/s que se alcanza 7:30 horas después de iniciada la medición. Luego de diez horas de seguimiento el caudal fue de 0.53 L/s. (Figura 11).

Finalmente, la suma de los caudales de drenaje de tratamiento y drenaje de tanque fue de 1.47 L/s.

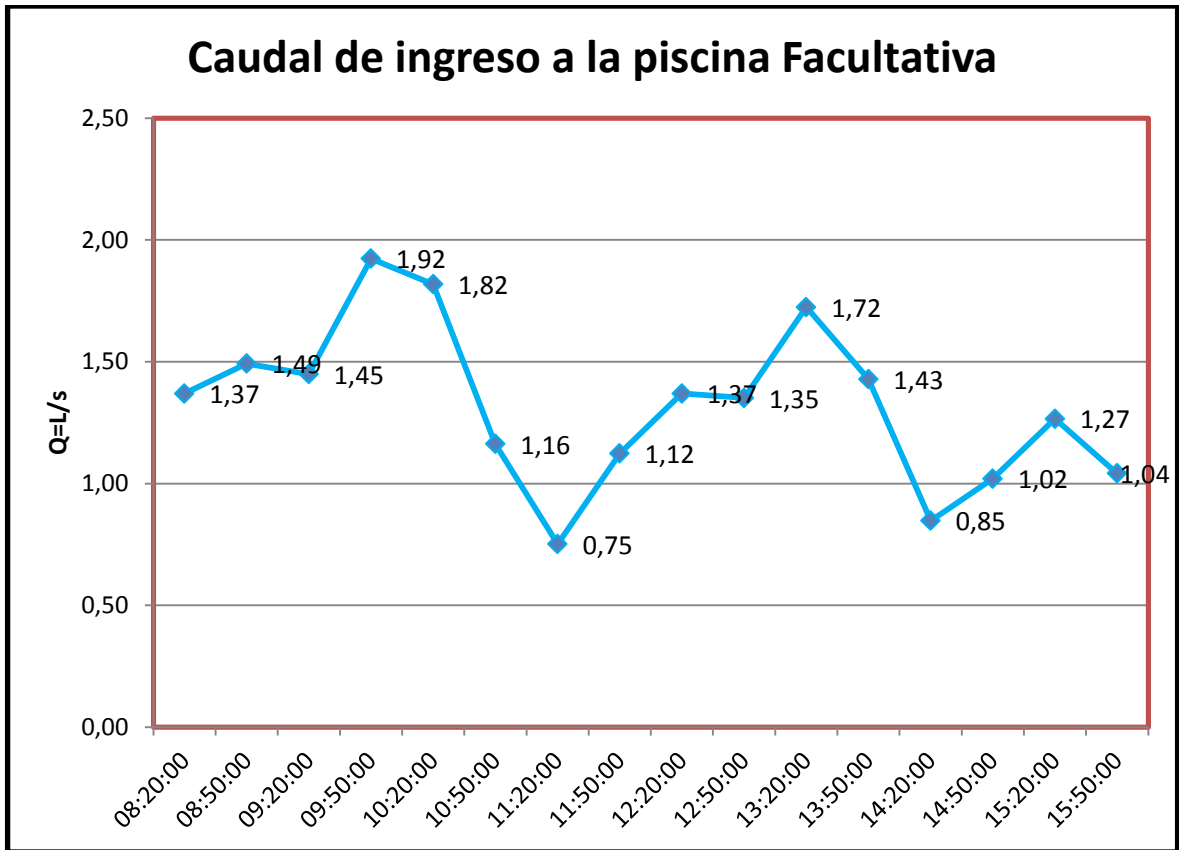
Figura 11. Gráfico de caudal de drenaje en tanques



Fuente: Trabajo de campo Autor

El caudal de ingreso a la piscina facultativa se inició con un flujo de 1.37 L/s, siendo el pico más alto 1.92 L/s, alcanzado hora y media después de iniciada la medición. Sobre la tercera hora se presentó el pico más bajo en la piscina facultativa con 0.75L/s, y se cierra la medición con 1.04 L/s. (Figura 12). Los ascensos de la gráfica se asociaron al régimen de flujo de entrada del sistema de tratamiento, es decir, al separador API. A medida que el tratador aumentaba el nivel de agua en la entrada del separador, provocaba que aumentara su capacidad y descargara en la siguiente piscina (facultativa); de igual manera, sí la piscina facultativa presentaba alto nivel de agua, provocaba la descarga inmediata a la piscina de oxigenación. Esas descargas están representadas en los descensos de la gráfica.

Figura 12. Gráfico de afluente de agua tratada en piscina facultativa



Fuente: Trabajo de campo Autor

Se realizó cambio de flujo de agua procedente del separador API, es decir, por medio del juego de válvulas del nuevo separador API, pasando de una tubería de 6" de la tercer cámara de la piscina Facultativa a 2 tubos de PVC de 6" de la primer cámara de la misma unidad de tratamiento (*ver imagen 17*).

Imagen 17. Cambio del flujo de agua



Fuente: Trabajo de campo Autor

Este proceso fue realizado con el propósito de dar continuidad y no afectar el mantenimiento de STARI del campo. Los datos registrados a partir de las 14:05 se referencian en la tabla 3.

Tabla 9. Registros de tiempos de STARI

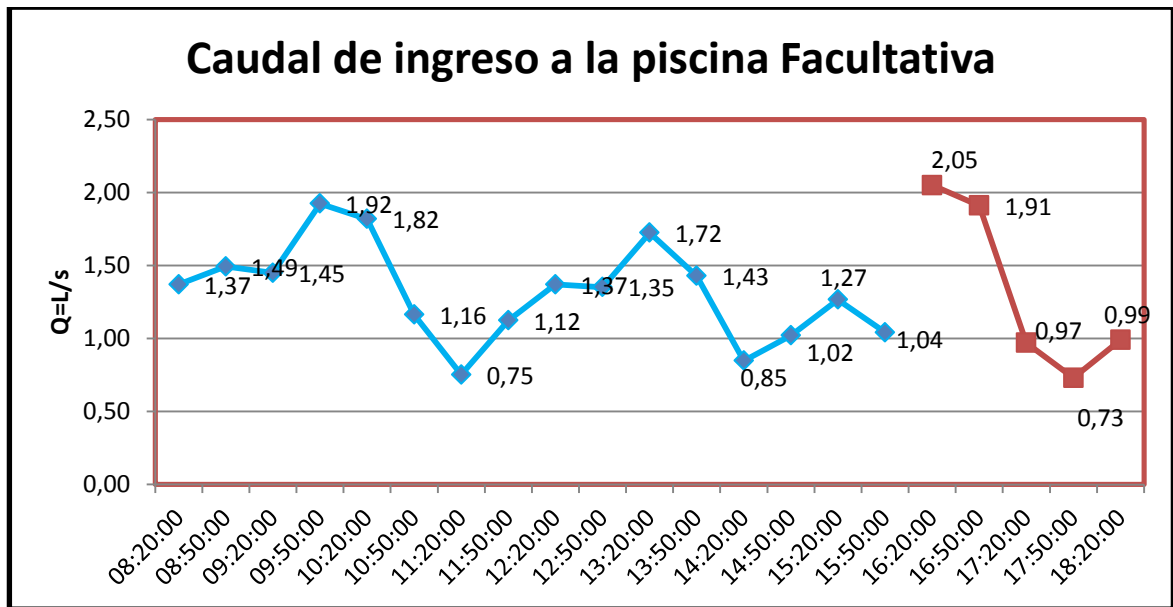
Hora	Tiempo Derecha (Seg)	Tiempo Izquierda (Seg)	Q Derecha (L/seg)	Q Izquierda (L/seg)	Q Dere + Q Izq (L/seg)
16:20	8,8	10,8	1,13	0,92	2,05
16:50	9,9	11,1	1,01	0,90	1,91
17:20	17,7	24,1	0,56	0,41	0,97
17:50	22,6	33,8	0,44	0,29	0,73
18:20	17,7	23,2	0,56	0,43	0,99

Fuente: Trabajo de campo Autor

En el caudal de ingreso a la piscina facultativa la curva azul de la figura 14, representa el comportamiento del caudal entre las 8:20 y las 15:50 con un solo tubo de conducción de agua que descarga a la tercera cámara de la piscina facultativa. El caudal inicial fue de 1.37L/s y el caudal final de 1.04 L/s, siendo el pico más alto 1.92 L/s y el más bajo 0.75 L/s.

La curva roja, representa el comportamiento del caudal entre las 16:20 y las 18:20 con dos tubos de entrada a la primera cámara de la piscina facultativa iniciando con un flujo de 2.05 L/s y cerrando con 0.99 L/s; el pico más bajo es de 0.73 L/s. (Figura 13).

Figura 13. Caudal de ingreso a la piscina facultativa



Fuente: Trabajo de campo Autor

La relación de caudales promedio en segmentos de horas para la piscina facultativa es de 1.32 L/s y 1.33 L/s respectivamente.

La relación de caudales de entrada al sistema de tratamiento y de salida a la piscina facultativa, para efectos de diseño, se tomó el caudal promedio más alto

en la piscina facultativa 1.3 L/s, para efectos de dosificación del tratamiento. La relación de caudales entrada separador API vs entrada piscina facultativa fue mayor en la primera con 1.47 L/s y la segunda 1.33 L/s.

Para realizar la conversión de los caudales de entrada de la piscina Facultativa y entrada al separador API se tiene respectivamente:

$$Q_{Facul} = 1,33 \frac{L}{seg} * 86400 \frac{seg}{Día} = \frac{114912 \frac{L}{Día}}{1000 \frac{L}{m^3}} * 6,2898 \frac{bbl}{m^3} = 722,77 \frac{bbl}{Día}$$

$$Q_{API} = 1,47 \frac{L}{seg} * 86400 \frac{seg}{Día} = \frac{114912 \frac{L}{Día}}{1000 \frac{L}{m^3}} * 6,2898 \frac{bbl}{m^3} = 798,86 \frac{bbl}{Día}$$

Realizando un promedio de entrada se obtienen los siguientes datos:

$\frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{722,77 + 798,86}{2} = 760,82 \frac{bbl}{Día}$
--

Tractomula procedente de Juglar descargando 200 bbl en 6 horas genera un aporte en caudal de:

$$Q_{Jug} = \frac{200 \text{ bbl}}{6,2898 \frac{bbl}{m^3}} * 1000 \frac{L}{m^3} = 31797,51 L = \frac{31797,51 L}{6 \text{ hora}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$= 1,47 \frac{L}{Seg}$$

Se debe tener en cuenta que el pozo Santa Lucia 5 se encontraba fuera de servicio. Es de considerar que el pozo tiene un aporte de agua industrial de 50

bbL/día; por lo tanto el caudal generado por estos 50 bbl/día en litros por segundo se describe a continuación:

$$Q_{STL 5} = \frac{\frac{50 \frac{bbl}{Día}}{6,2898 \frac{bbl}{m^3}} * 1000 \frac{L}{m^3}}{86400 \frac{seg}{Día}} = 0,092 \frac{L}{seg}$$

A continuación se presentan los casos de operación de los drenajes:

Caso 1: Durante el descargue de Tractomula de agua industrial del campo Juglar caso crítico con valor de caudal de entrada al API. Para calcular el valor crítico de entrada de caudal al API se procedió de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q_1 = Q_{Jug} + Q_{API} + Q_{SLT 5} = 3,032 \frac{L}{seg}$$

Nota: los $3,032 \frac{L}{seg}$ sería una descarga por un tiempo de 6 horas, tiempo que dura la Tractomula en descargar.

$$Q_1 = 3,032 \frac{L}{seg} * 6 \text{ hora} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = \frac{65491,2 \frac{L}{6 \text{ horas}}}{1000 \frac{L}{m^3}} * 6,2898 \frac{bbl}{m^3}$$

$$= 411.92 \text{ bbl durante 6 horas}$$

Caso 2: Durante el descargue de Tractomula de agua industrial del campo Juglar caso caudal de entrada a la piscina Facultativa. Para calcular el valor crítico de entrada de caudal a la Piscina Facultativa se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q 2 = Q Jug + Q FACU + QSLT 5 = 2,892 \frac{L}{seg}$$

Nota: los $2,892 \frac{L}{seg}$ sería una descarga por un tiempo de 6 horas, tiempo que dura la Tractomula en descargar.

$$Q 2 = 2,892 \frac{L}{seg} * 6 \text{ hora} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = \frac{62467,2 \frac{L}{6 \text{ horas}}}{1000 \frac{L}{m^3}} * 6,2898 \frac{bbl}{m^3}$$

$$= 392,90 \text{ bbl durante 6 hora}$$

Caso 3: Sin descargue de Tractomula de agua industrial del campo Juglar caso crítico con valor de caudal de entrada al API. Antes de proceder al descargue de la tractomula de agua industrial de Campo Juglar se realizó el cálculo del valor crítico de entrada al API con base en:

$$Q 3 = Q API + QSLT 5 = 1,562 \frac{L}{seg}$$

Nota: los $1,562 \frac{L}{seg}$ sería una descarga por un tiempo de 18 horas, tiempo donde no existe descarga de Tractumula procedente de Juglar.

$$Q 3 = 1,562 \frac{L}{seg} * 18 \text{ hora} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = \frac{101088 \frac{L}{6 \text{ horas}}}{1000 \frac{L}{m^3}} * 6,2898 \frac{bbl}{m^3}$$

$$= 635,82 \text{ bbl durante 18 horas donde no hay descarga de Tactomula}$$

Caso 4: Sin descargue de tractomula de agua industrial del campo Juglar caso con valor de caudal de entrada Piscina Facultativa. El cálculo del caudal en la entrada de la piscina facultativa de acuerdo a la fórmula indica que:

$$Q 4 = Q FACU + QSLT 5 = 1,42 \frac{L}{seg}$$

Nota: los $1,42 \frac{L}{seg}$ sería una descarga por un tiempo de 18 horas, tiempo donde no existe descarga de Tractumula procedente de Juglar.

$$Q 3 = 1,42 \frac{L}{seg} * 18 \text{ hora} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = \frac{92016 \frac{L}{6 \text{ horas}}}{1000 \frac{L}{m^3}} * 6,2898 \frac{bbl}{m^3}$$

= 578,76 bbl durante 18 horas donde no hay descarga de Tractomula

3.4.3 Reajustes para secuestrante de Bario. Basado en los cálculos anteriores se reajustó trabajar con un caudal de 2 L/s, a partir de:

$$Q \text{ A tratar secuestrante de Bario} = Q API + \frac{31797,51 L}{86400 \text{ seg}} + Q STL 5 = 1.93 \frac{L}{seg}$$

$$\cong 2 \frac{L}{seg}$$

Para evitar que el caudal a tratar sea mayor, se asumió que los **200bbl** de agua industrial procedente de Juglar, ingresaron en los 86400 segundos que tiene un día.

Allí se logra ver la efectividad del tratamiento químico utilizado en la prueba de campo, garantizando que los parámetros de Bario y fenoles estén por debajo de los valores permisibles establecidos por el ente ambiental (Bario < 5 ppm; Fenoles < 0.20 ppm). También se logró apreciar una buena calidad de agua en cuanto a la turbiedad se refiere, al apreciarse una menor cantidad de solidos suspendidos en el agua de vertimiento.

Respecto a la optimización de producto químico, se logró reducir el consumo de la siguiente manera: La dosificación inicial de LA3559C (Sec. Bario) sobre el sistema en evaluación fue de 1900 ppm, y luego de 5 días se redujo a 1400 ppm, esto debido a que los resultados fueron más efectivos luego de 18 horas de aplicación del tratamiento.

Finalmente, la dosificación se redujo a 670 ppm (28 gpd) con resultados aceptables; esto es, 130 ppm por debajo de la cantidad ofertada y que representan cerca de 1000Kg menos de producto a consumir. Este aspecto representó una reducción significativa en los costos de tratamiento de aguas de producción en el Campo Santa Lucía.

Así mismo, la dosificación inicial de LA3553C (Ox. Fenoles) fue de 100ppm y se redujo a 82 ppm (77 gpd), lo que representa 45Kg de producto que no se van a emplear.

Las concentraciones de Bario y Fenoles estuvieron por debajo del límite permisible por las autoridades ambientales. Los valores de Bario registrados los días 17 y 20 de Octubre estuvieron por fuera del rango requerido debido a intentos de optimización de consumo de producto químico.

Por otra parte, a pesar que se registraron incrementos de Bario desde 52 ppm hasta 109 ppm, debido a un intento experimental por optimizar el tratamiento, es decir, a reducir la dosis aplicada en la entrada de la piscina facultativa, se logró el resultado esperado utilizando la misma dosificación de producto químico, lo que permite apreciar el grado de estabilidad que alcanza el sistema con esta alternativa química.

La concentración de fenoles a la salida del sistema de tratamiento al comenzar las pruebas, fue inferior a 0.2 mg/L, dando cumplimiento del Decreto 1594 de 1984, ya que las concentraciones de fenoles estuvieron por debajo del

Una vez terminado el estudio para la remoción de Bario y Fenoles en aguas de producción del Campo Santa Lucía, la empresa implementa el tratamiento sugerido dando cumplimiento a la legislación nacional en la que se establecen los niveles máximos permitidos.

4. CONCLUSIONES

- Se comprueba la existencia de abundante información sobre diferentes técnicas de remoción de Bario y Fenoles en aguas de producción petrolera a través de diversas técnicas de biodegradación o biorremediación, lo cual indica el gran interés para la protección del medio ambiente y el cumplimiento de la reglamentación correspondiente.
- La selección de la compañía NALCO para la remoción de los compuestos de estudio, permitió ahorrar los costos de operación del tratamiento, observado en la viabilidad del método aplicado en el cual la remoción de remoción de Fenol fue de 89% y 92% para bario.
- Se comprobó la efectividad del diseño químico propuesto, donde se evidenció el aumento de la eficiencia de eliminación de fenol por la recombinación del tratamiento químico con la biodegradación.
- La implementación del tratamiento químico permitió identificar el mejor producto para la remoción de Bario (compuesto LA3559C) de la compañía NALCO, y otro para la oxidación de los fenoles (producto LA3553C) de la misma compañía.

BIBLIOGRAFÍA

ACCIÓN ECOLÓGICA. (2002). Manuales de Monitoreo ambiental Comunitario. Manual 3. Indicadores Físico Químicos en ríos y aguas. Indicadores en salud de la actividad petrolera.

AYALA, D. (2010). Obtención de un inóculo bacteriano, proveniente de suelo contaminado por agua residual textil, capaz de degradar colorantes textiles reactivos en condiciones aerobias a escala de laboratorio. Tesis de pregrado. Laboratorio de Microbiología.

BASTOS, A., Tornisielo, V., Nozawa, J. & Rossi, A. (2000). Phenol metabolism by two microorganisms isolated from Amazonian forest soil samples. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 24. 403-409

BUSCA, G., Berardinelli, S., Resini, C. & Arrighi, L. (2008). Review Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. *Journal of Hazardous Materials*. 160.265-288

CEPAL. (1990). Impacto ambiental de la contaminación hídrica producida por la refinera estatal de Esmeraldas. Editorial. Naciones Unidas.

CORDOVA, S., Dams, R., Cordova, E., Radetski, M., Corrêa, A., & Radetski, C. (2009). Remediation of phenol-contaminated soil by a bacterial consortium and *Acinetobacter calcoaceticus* isolated from an industrial wastewater treatment plant. *Journal of Hazardous Materials*. 164. 61-66.

CHEN, C., Wu, J. & Liu, W. (2008). Identification of important microbial populations in the mesophilic and thermophilic phenol-degrading methanogenic consortia. *WATER RESEARCH*. 42. 1963-1976

DAINTILH, J. (1987). Diccionario de Química. Editorial Norma Educativa. Colombia

DELGADO, Jacob; León, José Guillermo; Suárez, Carlos Alberto. Remoción de fenoles mediante técnica de la biodegradación. Aplicación a Efluentes de Refinería. Bucaramanga, 2003.

FANG, H., Liang, D., Zhang, T. & Liu, Y. (2006). Anaerobic treatment of phenol in wastewater under thermophilic condition. WATER RESEARCH. 40. 427-434.
Fritschi, L., Lakhani, R. & Nadon, L. (2004). Short Communication, Cancer Incidence in Textile Manufacturing Workers in Australia. J Occup Health. 46. 493-496.

FIELD, Jim. (2009). Degradación anaeróbica de compuestos orgánicos. Toxicidad metanogénica. Wastewater treatment Agricultural University of Wageningen. The Netherlands.

FONSOM, B. R. et al. (2009). Degradación del fenol y tricloroetileno por pseudomonas cepacia. En: Applied and Environmental Microbiology.

HUANG, J., Wang, X., Jina, Q., Liua, Y. & Wang, Y. (2007). Removal of phenol from aqueous solution by adsorption onto OTMAC-modified attapulgite. Journal of Environmental Management. 84. 229-236

HUGHES, S., & Cooper, D. (1996). Biodegradation of Phenol Using the Self-Cycling Fermentation (SCF) Process. Biotechnology and Bioengineering. 51. 112-119.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS “ICONTEC”. (2013) . Norma Técnica para la Calidad del Agua “GTC 2. Bogotá, Colombia.

JIMÉNEZ CAMPOS, Diana Marcela; Pico Jiménez, María Isabel. (2009). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras – aplicación Campo Colorado. Universidad Industrial de Santander, Facultad de ciencias Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Bucaramanga.

KANEKAR, P., Sarnaik, S., & Kelkar, A. (1999). Bioremediation of phenol by alkaliphilic bacterial isolated from alkaline lake of Lonar, India. Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement. 85. 128S-133S.

MAROTO, A. (2002). Incertidumbre en Métodos Analíticos de Rutina. Tesis Doctoral. Facultad de Química. Universitat Tòrrida I Virgili.

MEJÍAS, N. (2001). Optimización del Sistema de Disposición de Agua de Formación de los pozos productores del Campo Santa Rosa. Trabajo de grado, Ingeniería de Petróleo, U.D.O, Puerto la Cruz.

MENESES VELÁSQUEZ, Lucycar José. (2010). Propuesta de un sistema de tratamiento para los Efluentes de producción generados en el centro operativo Morichal de PDVSA. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui , Escuela de Ingeniería y Ciencias aplicadas, Departamento de ingeniería química.

NARVÁEZ. (2000). Aguas de formación y derrames de petróleo. La dimensión política en la problemática socioambiental petrolera.

RESTREPO, Ricardo et al. (2007). Aplicación de tecnologías combinadas para el tratamiento de fenoles en aguas residuales de producción. XII Congreso

Colombiano de petróleo y Gas. Asociación Colombiana de Ingenieros de Petróleos, Ecopetrol.

RITTMANN, B. & MCCARTY, P. (2001). Antonio, G. (Ed.), *Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicaciones.* (p.289). España: McGraw-Hill

SARAVANAN, P., PAKSHIRAJAN, K. & SAHA, P. (2008a). Kinetics of phenol and m cresol biodegradation by an indigenous mixed microbial culture isolated from a sewage treatment plant. *Journal of Environmental Sciences.* 20. 1508-1513

SARAVANAN, P., PAKSHIRAJAN, K. & SAHA, P. (2008b). Growth kinetics of an indigenous mixed microbial consortium during phenol degradation in a batch reactor. *Bioresource Technology.* 99. 205-209.

SCHULZ, C. R.; Okun d. A. (1990). "Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo". LIMUSA. México

SONG, H., Liu, Y., Xu, W., Zeng, G., Aibibu, N., Xu, L. & Chen, B. (2009). Simultaneous Cr(VI) reduction and phenol degradation in pure cultures of *Pseudomonas aeruginosa* CCTCC AB91095. *Bioresour. Technol.* doi:10.1016/j.biortech.2009.05.060.

WORLD HEALTH ORGNIZATION. (1994). *International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 161. Phenol.* Geneva. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc161.htm>

ANEXOS

Anexo A. Primer reporte de resultados iniciales de la concentración de Bario y Fenoles en la entrada de la piscina facultativa.



NALCO DE COLOMBIA LTDA.
Calle 18 No. 35 - 280 Soledad - Atlántico
Teléfono: 3931111 Ext 1139,1140,1141,1118,1143
Fax: 3931157



REPORTE ANALITICO No. 572

SOLICITANTE

EMPRESA/PERSONA NATURAL:	PETRONORTE
LOCALIZACIÓN FÍSICA:	CESAR
No. ORDEN DE SERVICIO CLIENTE:	-----
PERSONA QUE AUTORIZA:	RUBEN MARTINEZ

DATOS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:		ENTRADA PISCINA FACULTATIVA	
MATRIZ DE ANÁLISIS:		LIQUIDA	
MUESTREADOR:	NR	TAMAÑO DE LA MUESTRA:	1000 mL
FECHA DE MUESTREO:	-----	HORA DE MUESTREO:	NR
CODIGO DE LA MUESTRA:	572	MUESTRA No.:	3 DE 3

FECHAS

14

RECIBO DE MUESTRAS	FECHA DE PROCESO	REPORTE DE RESULTADOS
16-10 -14	16-10 -14	28-10 -14

RESULTADOS

ENSAYOS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA
BARIO	28.25	mg/L	ABSORCION ATOMICA	STM 3111
FENOLES	0.380	mg/L	FOTOMETRICO DIRECTO	STM 5530 - D

El presente Reporte Analítico solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Nalco de Colombia

RESPONSABILIDAD TECNICA
Q. JESUS MOLINA
SUPERVISOR DE LABORATORIO
__FIN DEL INFORME__

Anexo B. Segundo reporte de resultados iniciales de la concentración de Bario y Fenoles en la entrada de la piscina de oxidación



NALCO DE COLOMBIA LTDA.
Calle 18 No. 35 - 280 Soledad - Atlántico
Teléfono: 3931111 Ext 1139,1140, 1141, 1118, 1143
Fax: 3931157



REPORTE ANALITICO No. 570

SOLICITANTE

EMPRESA/PERSONA NATURAL:	PETRONORTE
LOCALIZACIÓN FÍSICA:	CESAR
No. ORDEN DE SERVICIO CLIENTE:	-----
PERSONA QUE AUTORIZA:	RUBEN MARTINEZ

DATOS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:		ENTRADA PISCINA DE OXIDACION	
MATRIZ DE ANÁLISIS:		LIQUIDA	
MUESTREADOR:	NR	TAMAÑO DE LA MUESTRA:	1000 mL
FECHA DE MUESTREO:	23-10-14	HORA DE MUESTREO:	NR
CODIGO DE LA MUESTRA:	570	MUESTRA No.:	1 DE 3

FECHAS

RECIBO DE MUESTRAS	FECHA DE PROCESO	REPORTE DE RESULTADOS
23-10-14	23-10-14	23-10-14

RESULTADOS

ENSAYOS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA
BARIO	6.54	mg/L	ABSORCION ATOMICA	STM 3111
FENOLES	0.360	mg/L	FOTOMETRICO DIRECTO	STM 5530 - D

El presente Reporte Analítico solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Nalco de Colombia

RESPONSABILIDAD TECNICA
Q. JESUS MOLINA
SUPERVISOR DE LABORATORIO
__FIN DEL INFORME__

Anexo C. Tercer reporte de resultados iniciales de la concentración de Bario y Fenoles en la entrada de la piscina de vertimiento luego de aplicado el tratamiento



NALCO DE COLOMBIA LTDA.
Calle 18 No. 35 - 280 Soledad - Atlántico
Teléfono: 3931111 Ext 1139,1140, 1141, 1118, 1143
Fax: 3931157



REPORTE ANALITICO No. 571

SOLICITANTE

EMPRESA/PERSONA NATURAL:	PETRONORTE
LOCALIZACIÓN FÍSICA:	CESAR
No. ORDEN DE SERVICIO CLIENTE:	-----
PERSONA QUE AUTORIZA:	RUBEN MARTINEZ

DATOS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:		VERTIMIENTO	
MATRIZ DE ANÁLISIS:		LIQUIDA	
MUESTREADOR:	NR	TAMAÑO DE LA MUESTRA:	1000 mL
FECHA DE MUESTREO:	11 -11 -14	HORA DE MUESTREO:	NR
CODIGO DE LA MUESTRA:	571	MUESTRA No.:	2 DE 3

FECHAS

RECIBO DE MUESTRAS	FECHA DE PROCESO	REPORTE DE RESULTADOS
11 -11 -14	11- 11 -14	11- 11 -14

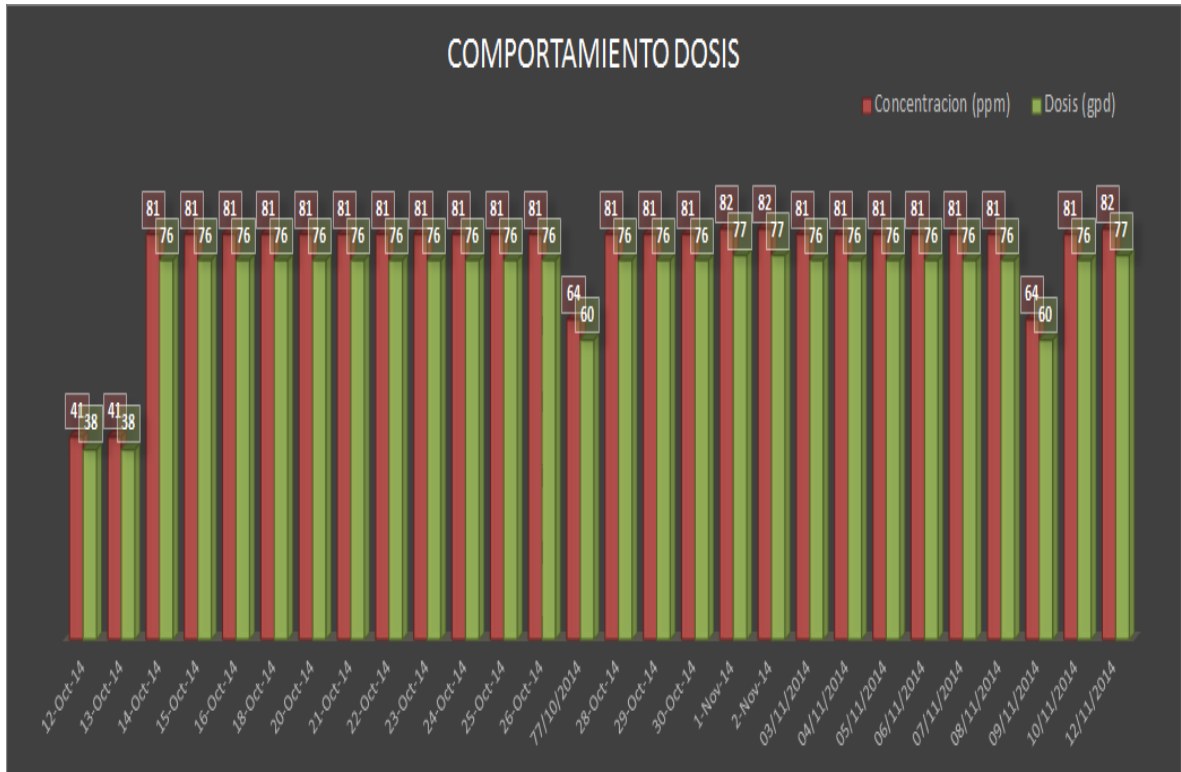
RESULTADOS

ENSAYOS	RESULTADOS	UNIDADES	MÉTODO	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA
BARIO	2.54	mg/L	ABSORCION ATOMICA	STM 3111
FENOLES	0.101	mg/L	FOTOMETRICO DIRECTO	STM 5530 - D

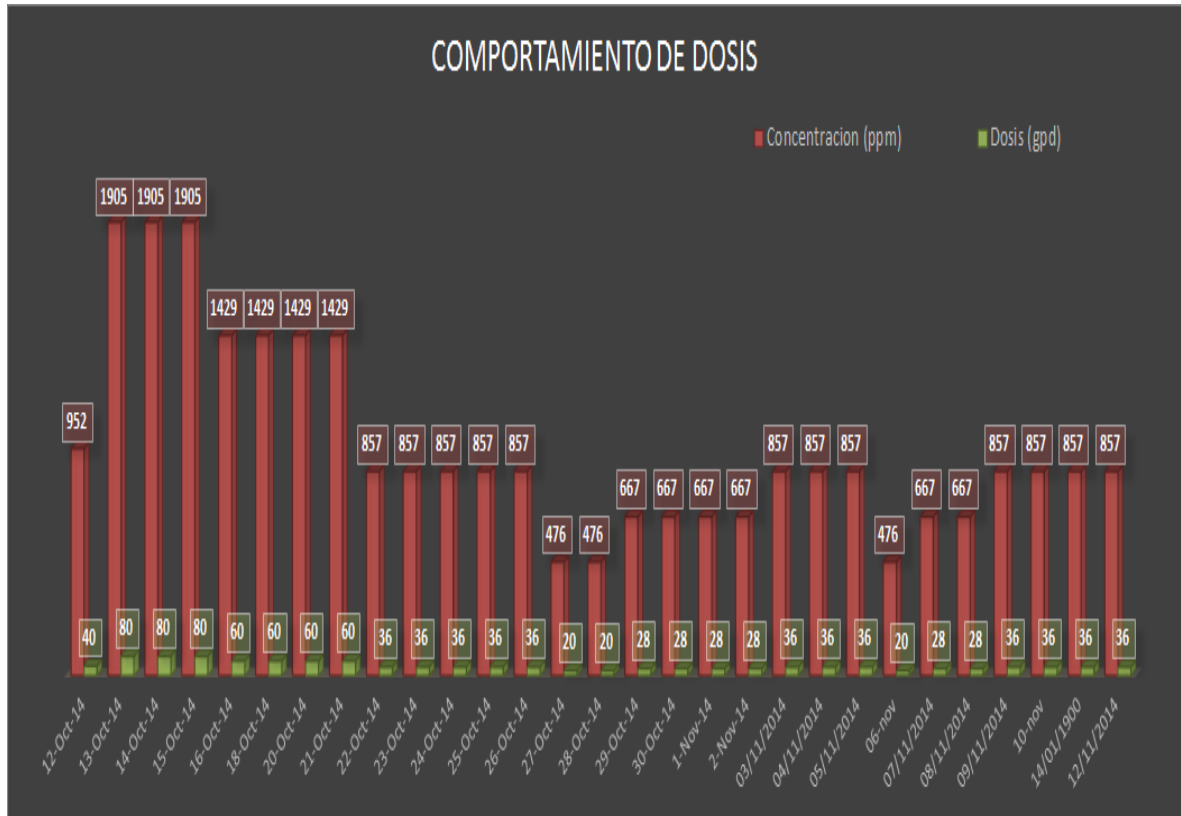
El presente Reporte Analítico solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Nalco de Colombia

RESPONSABILIDAD TECNICA
Q. JESUS MOLINA
SUPERVISOR DE LABORATORIO
___FIN DEL INFORME___

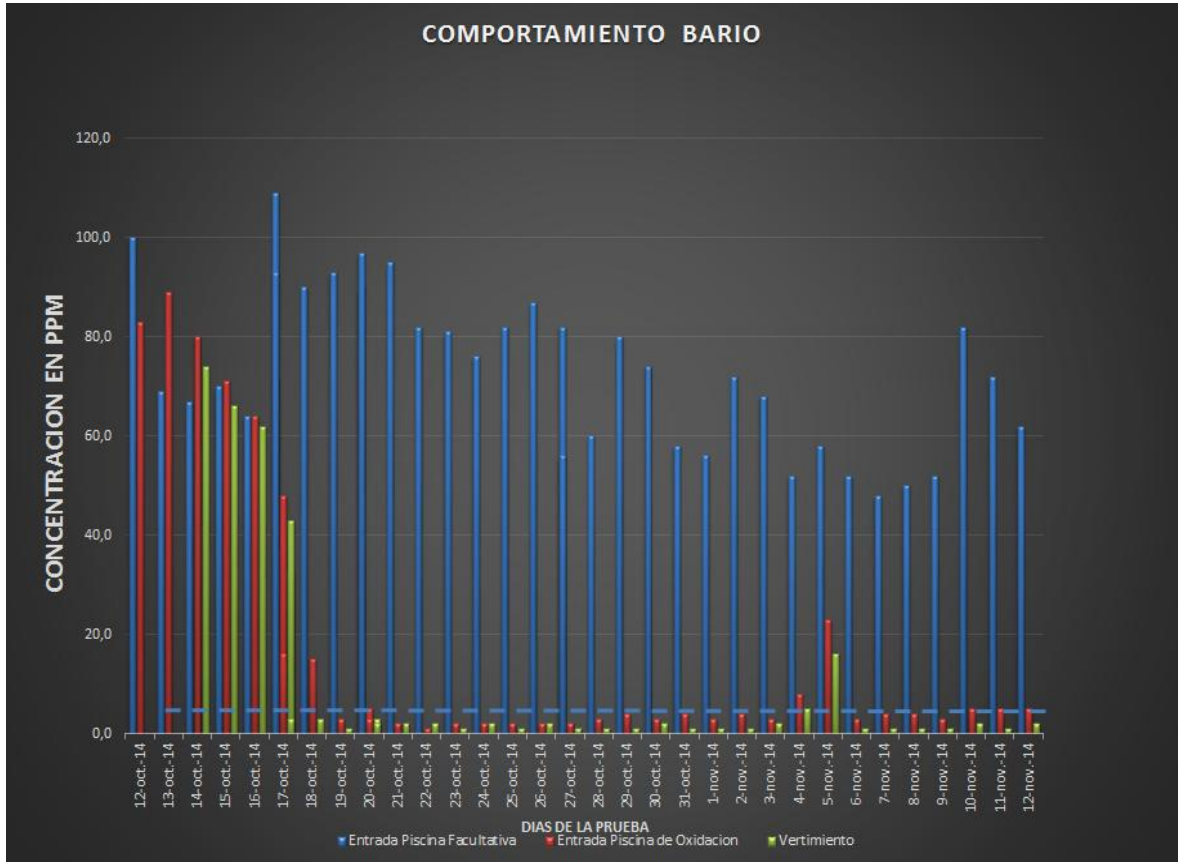
Anexo D. Dosificación de oxidante de Fenoles



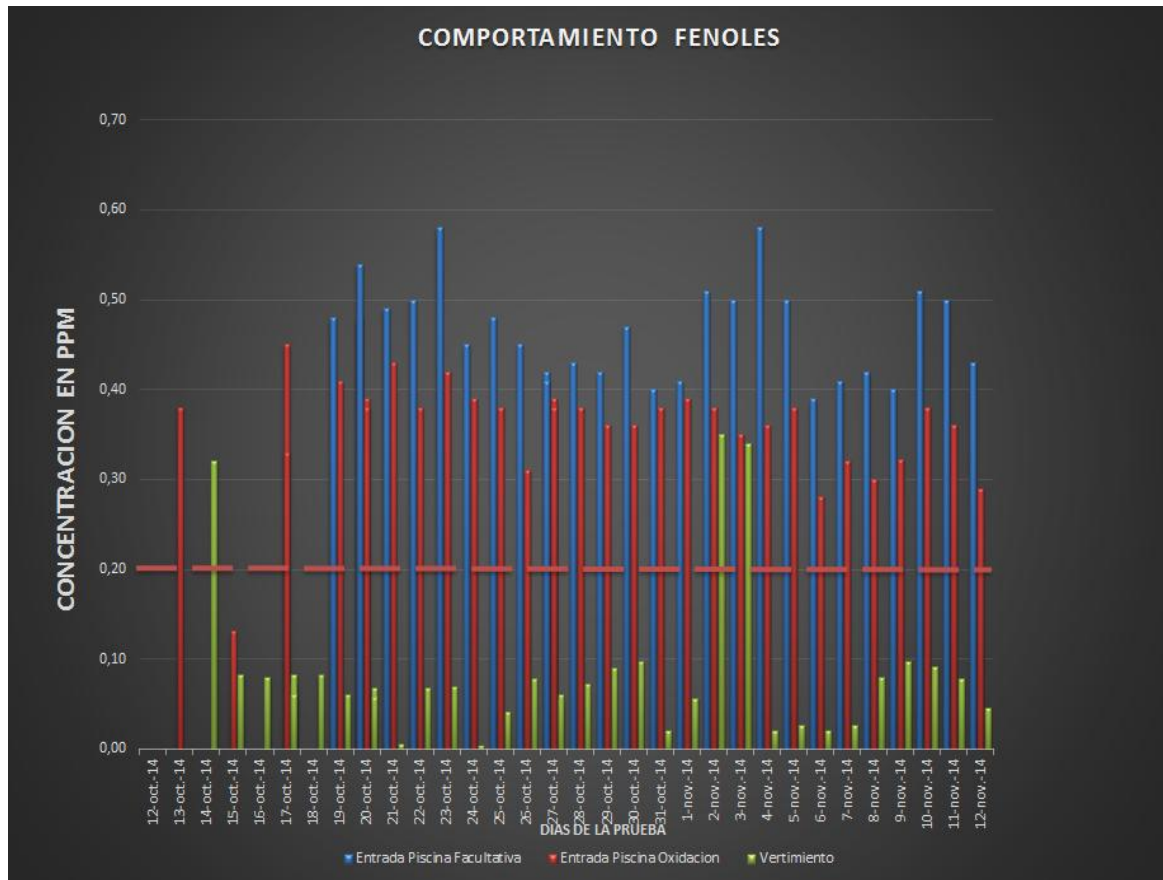
Anexo E. Dosificación utilizada en ppm y gpd de Secuestrante de Bario durante la prueba de campo.



Anexo F. Seguimiento Calidad de agua: Comportamiento de la Concentración de Bario en STARI.



Anexo G. Seguimiento calidad de agua: Comportamiento de la concentración de fenol en STARI.



Anexo H. Ficha de seguridad del compuesto LA3553C (para fenoles)



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3553C

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO : LA3553C

TELEFONO DE EMERGENCIA : Argentina: 011-15-5409-6868
 Brasil: 0800-161655
 Colombia, Bogotá: 288-6012 (24 horas)
 Colombia, Fuera de Bogotá: 01 800 09 16012 (24 horas)
 Chile: 09-605-6057
 México SETIQ-ANIQ: 01-800-002-1400 & 01-5-559-1588
 Venezuela: 800-62526
 Estados Unidos: 708-458-7252

CLASIFICACIÓN NFPA 704M/HMIS
 SALUD : 2 / 2 INFLAMABILIDAD : 0 / 0 REACTIVIDAD : 3 / 3 OTROS :
 0 = Insignificante 1 = Leve 2 = Moderado 3 = Alto 4 = Extremo

2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

Nuestra evaluación del peligro ha identificado los siguientes ingredientes químicos como peligrosos según OSHA 29 CFR 1910.1200. Consulte la Sección 15 para la naturaleza del peligro(s).

INGREDIENTES PELIGROSOS	NO. CAS	% PESO
Hipoclorito de Calcio	7778-54-3	50.0 – 70.0

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

****DESCRIPCIÓN DE EMERGENCIA****

PELIGROS MAS IMPORTANTES: PELIGRO
 Riesgo de lesiones oculares graves. Causa irritación a las vías respiratorias y piel. Nocivo por ingestión. No poner en los ojos, la piel y la ropa. No ingerir. No respirar el polvo. Usar con ventilación adecuada.
 En caso de contacto con los ojos, lávelos inmediatamente con mucha agua y consulte a un médico. Después de un contacto con la piel, lávese inmediatamente con mucha agua.
 Usar indumentaria de protección adecuada.
 Altamente oxidante. Libera cloro y otros gases tóxicos durante su combustión, en contacto con el agua, libera lentamente gases clorados irritantes y peligrosos. Se descompone con emisión de gases nocivos.

VIAS PRIMARIAS DE EXPOSICIÓN :
 Ojo, Piel, Inhalación

PELIGROS INMEDIATOS PARA LA SALUD HUMANA:

CONTACTO CON LOS OJOS :
 Severa irritación, quemaduras o destrucción del tejido ocular.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3553C

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO:

Almacenar en contenedores apropiados etiquetados. Almacenar los recipientes bien cerrados. Almacenar lejos de oxidantes. Almacenar lejos de sustancias orgánicas y otros materiales oxidables, agentes reductores, ácidos y álcalis. Almacenar en un lugar seco y fresco.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ADECUADOS:

Poliétileno de alta densidad, La compatibilidad con materiales plásticos puede variar. Por lo tanto, recomendamos probar la compatibilidad antes de utilizar el producto., Acero inoxidable, Caucho de butilo, PVC, Caucho natural, Polipropileno, Poliétileno, Caucho de nitrilo, Neopreno, Vitón.

MATERIALES INADECUADOS DE CONSTRUCCIÓN:

Hierro colado, Acero al carbono, Cobre, Latón

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL :

No se han establecido límites de exposición para este producto. Los límites de exposición disponibles para Ingrediente(s) son los siguientes: No se han establecido límites de exposición para este producto. Los límites de exposición disponibles para Ingrediente(s) son los siguientes:

MEDIDAS DE PROTECCIÓN DEL AREA DE TRABAJO:

Se recomienda ventilación general. Se puede necesitar aspiración local cuando esta materia es calentada o al formar una neblina.

PROTECCIÓN DE LA RESPIRACIÓN:

Utilizar una mascarilla adecuada en caso de que se sobrepasen los límites de exposición autorizados. Puede usarse un respirador de polvo. En caso de una emergencia o que se planee entrar en áreas con concentraciones desconocidas, debe usarse una máscara facial completa a presión positiva. Si se requiere protección respiratoria, establezca un programa completo de protección de la respiración, incluyendo selección, prueba de aptitud (ajuste), entrenamiento, mantenimiento e inspección.

PROTECCIÓN PARA LA PIEL:

Usar ropa de protección estándar.

PROTECCIÓN PARA LOS OJOS:

Llevar gafas de seguridad química (ajustadas al contorno del rostro).

RECOMENDACIONES DE HIGIENE:

Usar buenos métodos de trabajo y prácticas de higiene personal para evitar la exposición. Tener disponible una fuente para lavar los ojos. Se recomienda tener disponible una ducha de seguridad. Si se contamina la ropa, quitarla y lavar completamente el área afectada. Lavar la ropa contaminada antes de volver a usarla. Siempre lávese completamente después de manejar sustancias químicas. Al manejar este producto nunca coma, tome algo, o fume.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

FORMA Polvo

APARIENCIA Blanco



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3553C

OLOR Parecido al cloro

DENSIDAD RELATIVA 0.80 @ 77 °F / 25 °C
SOLUBILIDAD (EN AGUA) Completamente soluble
pH (1 %) 10.4

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD:

Estable en condiciones normales. Se descompone rápidamente en contacto con el aire. La exposición a la luz solar en forma directa o al calor producirá una descomposición violenta. Térmicamente es inestable, a los 100 °C se vuelve explosivo y se descompone a 177 °C.

RIESGO DE POLIMERIZACIÓN:

No ocurre polimerización peligrosa.

CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE:

Calor, llamas, humedad, polvos, fuentes de ignición e impactos, y productos incompatibles.

MATERIALES QUE DEBEN EVITARSE:

El hipoclorito de calcio es un oxidante fuerte, reacciona con agua y con ácidos liberando gas cloro, forma compuestos explosivos con amoníaco y aminas. Es incompatible con materiales orgánicos, compuestos nitrogenados y materiales combustibles.

PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICIÓN:

Bajo condiciones de incendio: vapores tóxicos de cloro, oxígeno y monóxido de cloro.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda

LD50 (oral, ratas): 700 mg/kg. Levemente tóxico.

LD50 (dermal, conejo): 6000 mg/kg Casi no tóxico

Irritación ocular primaria en conejos 24h: Es corrosivo

Irritación dérmica primaria en conejos 24h: Es corrosivo

Toxicidad crónica: No disponible

Efectos locales: No disponible

Sensibilización alérgica: No disponible

CARCINOGENESIS :

Ninguno de los componentes del producto figura como cancerígeno en la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, International Agency for Research on Cancer), en el Programa Nacional de Toxicología (NTP,



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3553C

National Toxicology Program), o en la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS PARA HUMANOS :

De acuerdo con nuestra caracterización de peligro, el peligro potencial para humanos es: Alto

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

EFFECTOS TÓXICOS EN EL ECOSISTEMA :

Los siguientes resultados son para el producto.

RESULTADOS DE TOXICIDAD AGUDA EN PECES :

Especies	Tiempo de exposición	LC50	Sustancia examinada
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	96 hrs	10 ppm	Producto

CARACTERIZACIÓN DE PELIGRO AMBIENTAL Y DE EXPOSICIÓN

De acuerdo con nuestra caracterización de peligro, el peligro potencial para el medio ambiente es: Alto

Si se emite al medio ambiente, ver CERCLA/SUPERFUND en la sección 15.

13. CONSIDERACIONES PARA DESECHO

PRODUCTO: La disposición de este material deberá ser realizada en conformidad con las Leyes Federales, Estatales y Municipales en vigencia. En caso de ser necesario consulte con su oficina de control ambiental.

RESTO DEL PRODUCTO: La disposición de este material deberá ser realizada en conformidad con las Leyes Federales, Estatales y Municipales en vigencia. En caso de ser necesario consulte con su oficina de control ambiental.

PAQUETES/ENVASES USADOS: La disposición de este material deberá ser realizada en conformidad con las Leyes Federales, Estatales y Municipales en vigencia. En caso de ser necesario consulte con su oficina de control ambiental.

Como un desecho no peligroso, no está sujeto a reglamentación Federal. Consultar la reglamentación local, estatal o federal, para cualquier manipulación adicional.

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

La información en esta sección es de referencia solamente y no debe sustituir los documentos oficiales de envío específicos para una orden. Por favor note que el nombre de embarque y/o la clase de peligro apropiados puede variar con el tipo de empaque, las características, y el modo de transporte. Los nombres apropiados para envío son:

**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD**

PRODUCTO

LA3553C

TRANSPORTE TERRESTRE :

Nombre Apropiado para Embarque :	SOLIDO OXIDANTE CORROSIVO
Nombre(s) Técnico(s) :	HIPOCLORITO DE CALCIO
No UN/ID :	1748
Clase de Peligro - Primario :	5.1
Grup de Empaque :	II
Punto de Inflamación :	Ninguno

TRANSPORTE AÉREO (ICAO/IATA) :

Nombre Apropiado para Embarque :	SOLIDO OXIDANTE CORROSIVO
Nombre(s) Técnico(s) :	HIPOCLORITO DE CALCIO
No UN/ID :	1748
Clase de Peligro - Primario :	5.1
Grup de Empaque :	II
Instrucciones de IATA para el embarque de carga :	418
Límite de IATA para aviones de carga :	50 Kg (Cantidad máxima neta por bulto)

TRANSPORTE MARÍTIMO (IMDG/IMO) :

Página IMDG :	5137
Nombre Apropiado para Embarque :	SOLIDO OXIDANTE CORROSIVO
Nombre(s) Técnico(s) :	HIPOCLORITO DE CALCIO
No UN/ID :	1748
Clase de Peligro - Primario :	5.1
Grup de Empaque :	II

15. REGULACIÓN DE USO

Argentina: Nuestras MSDS cumplen con la Ley 19587 - Dto. 351/79 y Resolución 295/03.

Brasil: Nuestra FISPQ cumple con la norma Brasileira ABNT NBR 14725.

México: Nuestra MSDS cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-018 STPS-2000, Sistema para la Identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.

Chile: Nuestra MSDS cumple con las Normas Chilena: Nch. 382 (Sustancias peligrosas, terminología y clasificación general), Nch. 2245 (Sustancias Químicas - Hojas de datos de seguridad - Requisitos), Nch. 2120 (Sustancias peligrosas), Nch. 2190 (Marcas para Información de riesgos), Nch. 1411 (Prevención de Riesgos. IV Identificación de Riesgos de Materiales), Nch. 298 (Transporte de Cargas peligrosas por calles y caminos), D.S. N° 40 (Informar sobre riesgos de exposición) y D.S. N° 148 (Disposición de Residuos peligrosos).

Colombia: Nuestra MSDS Cumple con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Colombiana 4435.

Venezuela: Nuestra MSDS cumple con la norma COVENIN 3059: 2002. Materiales Peligrosos. Hoja de Datos de Seguridad de los Materiales.

Anexo I. Ficha de seguridad del compuesto LA3559C (para Bario)



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3559C

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

EFFECTOS TÓXICOS EN EL ECOSISTEMA:

No se han llevado a cabo estudios de toxicidad para este producto.

POTENCIAL DE MOBILIDAD:

El resultado sobre el medio ambiente se estimó utilizando un modelo de fugacidad de nivel III en el paquete EPI (estimation program interface, interfaz del programa de estimación) Suite TM, provisto por la EPA de EE.UU. (US EPA). El modelo supone una condición de estado estacionario entre la entrada y la salida total. El modelo de nivel III no requiere equilibrio entre los medios definidos. La información suministrada intenta brindar al usuario una estimación general del resultado sobre el medio ambiente que este producto tiene bajo las condiciones definidas de los modelos. Se espera que, si este material se libera al medio ambiente, se distribuya en el aire, el agua y el suelo/sedimentos en los porcentajes aproximados correspondientes;

Aire	Agua	Suelo/Sedimentos
<5%	30 - 50%	30 - 50%

Se estima que la parte en agua puede disolverse o dispersarse.

POTENCIAL DE BIOACUMULACION

Se espera que este preparado o material no genere bioacumulación.

Si se emite al medio ambiente, ver CERCLA/SUPERFUND en la sección 15.

13. CONSIDERACIONES PARA DESECHO

PRODUCTO: La disposición de este material deberá ser realizada en conformidad con las Leyes Federales, Estatales y Municipales en vigencia. En caso de ser necesario consulte con su oficina de control ambiental.

RESTO DEL PRODUCTO: La disposición de este material deberá ser realizada en conformidad con las Leyes Federales, Estatales y Municipales en vigencia. En caso de ser necesario consulte con su oficina de control ambiental.

PAQUETES/ENVASES USADOS: La disposición de este material deberá ser realizada en conformidad con las Leyes Federales, Estatales y Municipales en vigencia. En caso de ser necesario consulte con su oficina de control ambiental.

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

La información en esta sección es de referencia solamente y no debe substituir los documentos oficiales de envío específicos para una orden. Por favor note que el nombre de embarque y/o la clase de peligro apropiados puede variar con el tipo de empaque, las características, y el modo de transporte. Los nombres apropiados para envío son:

TRANSPORTE TERRESTRE :

Nombre Apropiado para Embarque : LIQUIDO CORROSIVO, ACIDO, INORGÁNICO, N.O.S.

Nombre(s) Técnico(s) : POLICLORURO DE ALUMINIO



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3559C

No UN/ID : 3264
Clase de Peligro - Primario : 8
Grup de Empaque : III
Punto de Inflamación : Ninguno

TRANSPORTE AÉREO (ICAO/IATA) :

Nombre Apropiado para Embarque : LIQUIDO CORROSIVO, ACIDO, INORGÁNICO, N.O.S.
Nombre(s) Técnico(s) : POLICLORURO DE ALUMINIO
No UN/ID : 3264
Clase de Peligro - Primario : 8
Grup de Empaque : III
Punto de Inflamación : Ninguno

TRANSPORTE MARÍTIMO (IMDG/IMO) :

Nombre Apropiado para Embarque : LIQUIDO CORROSIVO, ACIDO, INORGÁNICO, N.O.S.
Nombre(s) Técnico(s) : POLICLORURO DE ALUMINIO
No UN/ID : 3264
Clase de Peligro - Primario : 8
Grup de Empaque : III
Punto de Inflamación : Ninguno

15. REGULACIÓN DE USO

Esta sección contiene información adicional que puede tener relevancia para el cumplimiento reglamentario. La información en esta sección es solamente para consulta. No es minuciosa, y no debe ser considerada para remplazar una anuencia individualizada o evaluación de riesgo. Nalco no asume ninguna responsabilidad por el uso de esta información.

Argentina: Nuestras MSDS cumplen con la Ley 19587 - Dto. 351/79 y Resolución 295/03.

Brasil: Nuestra FISPQ cumple con la norma Brasileira ABNT NBR 14725.

México: Nuestra MSDS cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-018 STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.

Chile: Nuestra MSDS cumple con las Normas Chilena: Nch. 2245 (Sustancias Químicas - Hojas de datos de seguridad - Requisitos).

Colombia: Nuestra MSDS Cumple con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Colombiana 4435.

Venezuela: Nuestra MSDS cumple con la norma COVENIN 3059: 2002. Materiales Peligrosos. Hoja de Datos de Seguridad de los Materiales



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

LA3559C

REGLAMENTOS NACIONALES, E.U.A.:

CERCLA/SUPERFUND, 40 CFR 117, 302:
No se requiere notificar derrames de este producto.

LEY DE ENMIENDAS Y REAUTORIZACIÓN DEL SUPERFUND DE 1986 (TÍTULO III) - SECCIONES 302, 311, 312, Y 313:

SECCIÓN 302 - SUSTANCIAS EXTREMADAMENTE PELIGROSAS (40 CFR 355):
Este producto no contiene ingredientes listados en los apéndices A y B como sustancias extremadamente peligrosas.

SECCIONES 311 Y 312 - REQUISITOS DE LA HOJA DE SEGURIDAD DEL MATERIAL (40 CFR 370) :
Nuestra evaluación del peligro ha encontrado que este producto no es peligroso según OSHA 29 CFR 1910.1200.

Bajo SARA 311 y 312, la EPA ha establecido cantidades límites para el reporte de productos químicos peligrosos. Los límites actuales son: 227 kg (500 lb) o bien la cantidad límite planificada (TPQ, threshold planning quantity), cualquiera que sea menor, para sustancias extremadamente peligrosas, y 4,536 kg (10,000 lb) para todos los otros productos químicos peligrosos.

SECCIÓN 313 - LISTA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS (40 CFR 372):
Este producto no contiene ingredientes tóxicos según la Lista de Sustancias Químicas Tóxicas.

LEY DE CONTROL DE SUSTANCIAS QUÍMICAS TÓXICAS (TSCA):
Este producto no ha sido evaluado por TSCA y podría contener sustancias que no se encuentren en la lista del inventario TSCA 8(b). Este producto puede ser usado bajo la excepción TSCA 5(h)(3) para investigación si cumple con todos los requisitos.

LEY FEDERAL DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA, LEY DE AGUA LIMPIA, 40 CFR 401.15 / anteriormente sección 307, 40 CFR 116.4 / anteriormente sección 311:
Ninguno de los ingredientes figura específicamente en la reglamentación.

LEY DEL AIRE LIMPIO, Sec. 112 (40 CFR 61, Contaminantes peligrosos del aire); Sec. 602 (40 CFR 82, Sustancias Clase I y II que dañan la capa de ozono):
Ninguno de los ingredientes figura específicamente en la reglamentación.

PROPOSICIÓN 65 DE CALIFORNIA:
Este producto no contiene ingredientes que requieran advertencia bajo la Proposición 65 de California.

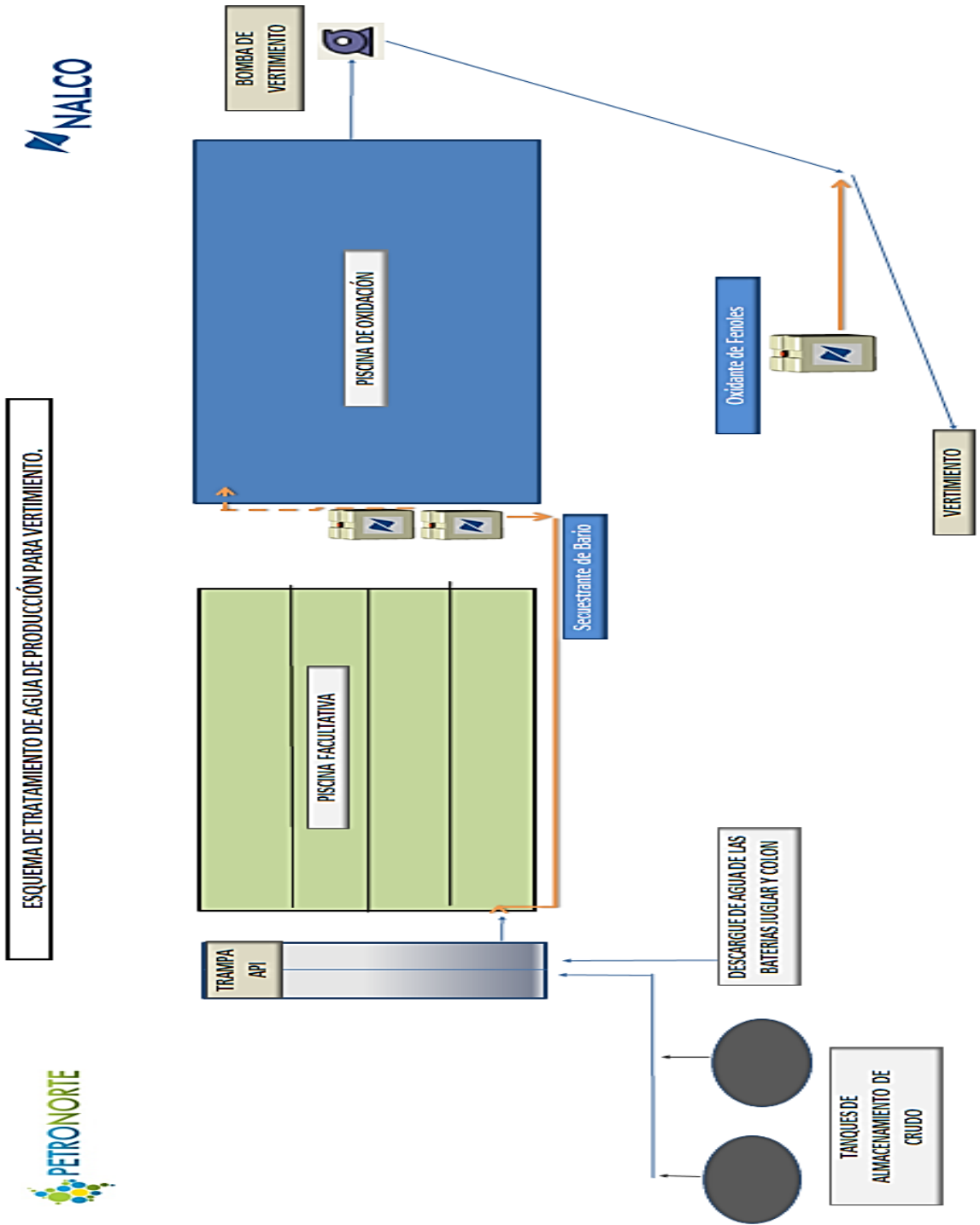
MATERIALES CRÍTICOS, MICHIGAN:
Ninguno de los ingredientes figura específicamente en la reglamentación.

LEYES ESTATALES SOBRE EL DERECHO A SABER:
Ninguno de los ingredientes figura específicamente en la reglamentación.

REGLAMENTOS NACIONALES, CANADÁ:

WHMIS:

Anexo J. Esquema de Tratamiento de Agua de Producción para vertimiento, Estación Santa Lucia.



Anexo K. Ampliación del reporte de Bibliografía consultada

Título	Tipo de Investigación	Resumen	Año Publicación
Degradación de Fenoles totales durante tratamiento biológico de aguas de producción petrolera	Universidad del Zulia	En esta investigación se evaluó la degradación aerobia de fenoles totales presentes en aguas petroleras, a través de remoción por materia orgánica.	2011
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua	Presidencia de Colombia	Ley de gestión ambiental y del reglamento a la prevención y control de la contaminación ambiental en lo relativo al recurso del agua	
Memoria de Sostenibilidad Petronorte	de Petronorte (Subsidiary of Petrolatina Energy Limited)	Documento elaborado por la compañía petrolera operadora de la estación Santa Lucía.	2011