

**COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN CON INYECCIÓN DE
MICROBURBUJAS DE AIRE Y UN SISTEMA CON INYECCIÓN DE
MICROBURBUJAS DE NITRÓGENO EN EL BLOQUE CUBIRO**

IVONNE LORENA RUBIO PUENTES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2016**

**COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN CON INYECCIÓN DE
MICROBURBUJAS DE AIRE Y UN SISTEMA CON INYECCIÓN DE
MICROBURBUJAS DE NITRÓGENO EN EL BLOQUE CUBIRO**

IVONNE LORENA RUBIO PUENTES

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ESPECIALISTA EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS**

Director

**ERIK GIOVANY MONTES PAÉZ
INGENIERO DE PETROLEOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2016**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido realizar esta especialización.

A la Universidad Industrial de Santander, extensión Bogotá por abrirme las puertas para iniciar esta especialización y por brindarme las herramientas para adquirir los conocimientos obtenidos.

A los diferentes docentes por transmitirme sus conocimientos y su orientación para lograr la culminar exitosamente ésta especialización.

Al Gerente General William Ariza y al Ingeniero Javier Fuentes Gerente de Proyectos de GALQUI S.A.S, compañía para la cual laboré, por brindarme su apoyo para iniciar la especialización y por facilitarme la información para desarrollar esta monografía.

Al Ingeniero Erik Montes por su guianza y orientación en la realización de ésta monografía.

Al Ingeniero Jorge Forero, por sus observaciones y críticas constructivas al trabajo final de Monografía, los cuales me sirvieron para culminar el documento satisfactoriamente.

A mi amiga y compañera de clase Yeni León por su apoyo durante toda la especialización y para terminar el presente trabajo de monografía.

A Sandra Franco por su paciencia y apoyo en el desarrollo de toda la especialización, incluso para alcanzar el grado.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Monografía a mi Mamita, quien es la persona que siempre ha estado a mi lado apoyándome en todos los proyectos que emprendo y brindándome los mejores consejos para lograr alcanzar el éxito en todos los ámbitos de mi vida.

A mis abuelos y tíos maternos que siempre están pendientes de mí y se alegran por todos los logros que alcanzo en mi vida personal y profesional.

Ivonne Lorena Rubio Puentes

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. DESCRIPCIÓN CARÁCTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN SISTEMAS TRATAMIENTO EN AGUAS DE PRODUCCIÓN | 16 |
| 1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA | 17 |
| 1.1.1 Agua potable..... | 17 |
| 1.1.2 Aguas residuales | 17 |
| 1.1.3 pH..... | 17 |
| 1.1.4 Conductividad | 17 |
| 1.1.5 Oxígeno disuelto..... | 17 |
| 1.1.6 Turbidez..... | 17 |
| 1.1.7 Sólidos suspendidos | 17 |
| 1.2 AGUA DE PRODUCCIÓN | 18 |
| 1.2.1 Descripción de un sistema de tratamiento de aguas de producción convencional. . | 19 |
| 1.2.2 Sistema de tratamiento de agua de producción con inyección de microburbujas de aire. | 19 |
| 1.2.3 Sistema de tratamiento de agua de producción con inyección de microburbujas de nitrógeno. | 20 |
| 2. GENERALIDADES DEL BLOQUE CUBIRO | 22 |
| 2.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DEL CAMPO | 23 |
| 3. DEMANDA SISTEMAS DE TRATAMIENTO AGUAS DE PRODUCCIÓN BLOQUE CUBIRO | 26 |
| 4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AIRE E INYECCIÓN DE MICROBURBUJA DE NITRÓGENO | 28 |
| 4.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AIRE | 28 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.1.1 | Recipientes del sistema | 29 |
| 4.1.1.1 | Celda U.T.A. | 29 |
| 4.2 | SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN DE MICROBURBUJA DE NITRÓGENO | 32 |
| 4.2.1 | Recipientes del sistema | 32 |
| 5. | INFORMACIÓN TÉCNICA DE RECIPIENTES | 39 |
| 5.1 | INFORMACIÓN TABLERO DE CONTROL | 42 |
| 5.2. | TURBINA DE REGENERATIVA | 42 |
| 6. | RESULTADOS DE LABORATORIO BLOQUE CUBIRO | 43 |
| 6.1 | RESULTADOS SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN - INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AIRE | 43 |
| 6.1.1 | Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja aire remoción sólidos suspendidos, grasas y aceites | 49 |
| 6.1.2 | Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja aire remoción sólidos suspendidos, grasas y aceites | 50 |
| 6.2 | RESULTADOS SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN - INYECCIÓN DE MICROBURBUJA NITROGENO | 51 |
| 6.2.1 | Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja aire para retirar sólidos suspendidos, grasas y aceites..... | 57 |
| 6.2.2 | Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja nitrógeno remoción sólidos suspendidos, grasas y aceites | 58 |
| 6.3 | COMPARACIÓN DE RESULTADOS EFICIENCIA SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN SOLIDOS SUSPENDIDOS – GRASAS Y ACEITES | 59 |
| 6.4 | ANÁLISIS DE RESULTADOS DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN POR INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AÍRE E INYECCIÓN DE MICROBURBUJA NITROGENO | 60 |
| 7. | ANÁLISIS ECONOMICO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN, INYECCIÓN MICROBURBUJA AÍRE E INYECCIÓN MICROBURBUJA NITRÓGENO | 61 |
| 7.1 | ANÁLISIS ECONÓMICO COSTO - BENEFICIO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN MICROBURBUJA AÍRE, INYECCIÓN MICROBURBUJA NITRÓGENO | 62 |

| | | |
|----|-----------------|----|
| 8. | CONCLUSIONES | 63 |
| 9. | RECOMENDACIONES | 65 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 66 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|----|
| Figura 1. Water In Fuel Production Oil Production And Refining. Panorama Review. | 18 |
| Figura 2. Localización Bloque Cubiro..... | 22 |
| Figura 3. Localización De Estaciones Meteorológicas Ideam. Trinidad Casanare..... | 23 |
| Figura 4. Mapa De Isoyetas O Precipitación En La Zona..... | 24 |
| Figura 5. Mapa De Isotermas O Temperatura En La Zona | 24 |
| Figura 6. Mapa De las Líneas O Elevación En La Zona..... | 24 |
| Figura 7. Zonificación Climática | 25 |
| Figura 8. Imágenes De Gráfica Diámetro De Burbuja Y Separación De Burbuja De Aceite | 28 |
| Figura 9. Vista Externa E Interna Del Uta | 29 |
| Figura 10. Tanque De Recuperación De Crudo | 30 |
| Figura 11. Tanque De Lodos | 30 |
| Figura 12. Tanque De Almacenamiento De Agua Tratada..... | 31 |
| Figura 13. Sistema De Microburbuja..... | 31 |
| Figura 14. Tanque De Potencia. | 33 |
| Figura 15. Tanque De Aguas Aceitosas..... | 33 |
| Figura 16. Unidad De Tratamiento De Agua Con Microfiltración | 34 |
| Figura 17. Decantador | 35 |
| Figura 18. Tanque De Lodos | 35 |
| Figura 19. Tanque De Aguas Sistema De Microburbujas..... | 36 |
| Figura 20. Tanque De Generación De Nitrógeno | 36 |
| Figura 21. Componentes | 37 |
| Figura 22. Tablero De Control..... | 38 |
| Figura 23. Resultados Laboratorio Sst Mb Aire..... | 43 |
| Figura 24. Resultados Laboratorio Grasas Y Aceites Mb Aire..... | 44 |
| Figura 25. Resultados Laboratorio Oxígeno Disuelto Mb Aire | 45 |
| Figura 26. Resultados Laboratorio Turbiedad Mb Aire | 46 |
| Figura 27. Resultados Laboratorio Conductividad Mb Aire | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Resultados Laboratorio Ph Mb Aire | 48 |
| Figura 29. Eficiencia Del Sistema Para Retirar Sst | 49 |
| Figura 30. Eficiencia Del Sistema Para Recuperar Grasas Y Aceites | 49 |
| Figura 31. Eficiencia Porcentaje De Remoción Stap Sólidos Suspendidos Totales, Grasas Y Aceites; Inyección Microburbuja De Aire. | 50 |
| Figura 32. Resultados Laboratorio Sst Mb Nitrogeno..... | 51 |
| Figura 33. Resultados Laboratorio Grasas Y Aceites Mb Nitrogeno..... | 52 |
| Figura 34. Resultados Laboratorio Oxígeno Disuelto Mb Nitrogeno..... | 53 |
| Figura 35. Resultados Laboratorio Turbiedad Mb Nitrogeno..... | 54 |
| Figura 36. Resultados Laboratorio Conductividad Mb Nitrogeno | 55 |
| Figura 37. Resultados Laboratorio Ph Mb Nitrógeno | 56 |
| Figura 38. Eficiencia Del Sistema Para Retirar Sst | 57 |
| Figura 39. Eficiencia Del Sistema Para Recuperar Grasas Y Aceites | 57 |
| Figura 40. Gráfica De Porcentaje De Remoción Del Stap En Sólidos Suspendidos Totales, Grasas Y Aceites; Con Inyección De Microburbuja De Aire. | 58 |
| Figura 41. Comparación De Remoción Stap En Sólidos Suspendidos Totales, Mediante Inyección De Microburbuja Aire Y Microburbuja Nitrógeno. | 59 |
| Figura 42. Comparación De Remoción Stap En Grasas Y Aceites, Mediante Inyección De Microburbuja Aire Y Microburbuja Nitrógeno..... | 59 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Condiciones ambientales bloque cubiro – zona de influencia..... | 23 |
| tabla 2. Parámetros calidad de agua de producción a la entrada del proceso..... | 26 |
| tabla 3. Caracterización del crudo producido en el bloque cubiro. | 27 |
| tabla 4. Parámetros de salida sistema en el bloque cubiro | 27 |
| tabla 5. Información técnica tanque de potencia. | 39 |
| tabla 6. Información técnica unidad de micro filtración | 39 |
| tabla 7. Información técnica decantador | 40 |
| tabla 8. Información técnica tanque de lodos | 40 |
| tabla 9.información tanque de aguas de sistema microburbuja..... | 41 |
| tabla 10. Información tanque de aguas aceitosas | 41 |
| tabla 11. Información tablero de control | 42 |
| tabla 12. Información turbina regenerativa | 42 |
| tabla 13. Resultados de laboratorio de sst mb aire | 43 |
| tabla 14. Resultados de laboratorio de grasas y aceites mb aire | 44 |
| tabla 15. Resultados de laboratorio de oxígeno disuelto mb aire | 45 |
| tabla 16. Resultados de laboratorio de turbiedad mb aire | 46 |
| tabla 17. Resultados de laboratorio de conductividad mb aire | 47 |
| tabla 18. Resultados de laboratorio de ph mb aire | 48 |
| tabla 19. Resultados de laboratorio de sst mb nitrógeno..... | 51 |
| tabla 20. Resultados de laboratorio de grasas y aceites mb nitrógeno..... | 52 |
| tabla 21. Resultados de laboratorio de oxígeno disuelto mb nitrógeno..... | 53 |
| tabla 22. Resultados de laboratorio de turbiedad mb nitrógeno | 54 |
| tabla 23. Resultados de laboratorio de conductividad mb nitrógeno | 55 |
| tabla 24. Resultados de laboratorio de ph mb nitrógeno | 56 |
| tabla 25. Costos operativos stap microburbuja aire. | 61 |
| tabla 26. Costos operativos stap microburbuja nitrógeno..... | 61 |

RESUMEN

TÍTULO: COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN CON INYECCIÓN DE MICROBURBUJAS DE AIRE Y UN SISTEMA CON INYECCIÓN DE MICROBURBUJAS DE NITRÓGENO EN EL BLOQUE CUBIRO*.

AUTOR: RUBIO PUENTES, IVONNE LORENA**.

PALABRAS CLAVES: Aguas de producción, sistemas de tratamiento, inyección, microburbuja, aire, nitrógeno.

DESCRIPCIÓN

Los sistemas de tratamiento de aguas de producción, presenta avances significativos en cuanto a nuevas tecnologías. La alternativa técnico-económica para realizar tratamiento de aguas de producción con sistemas modulares y compactos, permiten uso de tecnologías de inyección de aire y nitrógeno con un sistema de microburbujas para aumentar la eficiencia del tratamiento, reduciendo considerablemente cargas contaminantes y costos de operación, que garantizan eficiencia en remoción entre 90 – 99%. Este tipo de sistema se compone de flotación con microburbujas, sedimentación/decantación, coalescencia, filtración dinámica de sólidos. Los costos por este tipo de tecnologías a manera inicial requieren una fuerte inversión, sin embargo a futuro esta inversión es compensada, en la reducción de dimensiones de equipos, costos y efectividad.

Para la generación de las microburbujas se emplean bombas de turbina regenerativas, las cuales saturan el agua con gas (Para este caso AIRE). El agua saturada de gas se recircula a las unidades de tratamiento de aguas de producción. En la inyección de microburbuja nitrógeno, es necesario y complementando a las bombas de turbina, un sistema de generación de nitrógeno (Para este caso GAS). Que permite separación de sólidos suspendidos totales y grasas y aceites.

Considerando los cambios y demandas en el cumplimiento normativo que presenta Colombia en cuanto a descargas de aguas residuales y la protección del medio ambiente. Este tipo de tecnología es perfecta para dar cumplimiento. El presente trabajo busca mostrar las eficiencias de cada uno de los sistemas tratamiento en aguas de producción, comparando funcionamiento y costos en el bloque Cubiro, donde se ha logrado desarrollar este tipo de tecnologías.

* Monografía de Especialización.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director: Erick Montes

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON BETWEEN A SYSTEM OF WATER TREATMENT OF PRODUCTION WITH INJECTION OF AIR MICROBUBBLES AND A SYSTEM WITH MICROBUBBLE INJECTION OF NITROGEN IN THE BLOCK CUBIRO*.

AUTHOR: IVONNE LORENA RUBIO PUENTES**.

KEY WORDS: Production water, treatment system, microbubble, injection, nitrogen

DESCRIPTION:

The water treatment systems of production, presents significant advances in new technologies. The alternative technical-economic to carry out treatment of waters of production with modular systems and compact, allow use of injection technologies of air and nitrogen with a system of microbubbles to increase the efficiency of the water treatment systems of production, presents significant advances in new technologies. The alternative technical-economic to carry out treatment of waters of production with modular systems and compact, allow use of injection technologies of air and nitrogen with a system of microbubbles to increase the efficiency of the treatment, considerably reducing pollutant loads and operating costs, that guarantee efficiency in mine between 90 - 99%. This type of system is composed of float with microbubbles, sedimentation/funnel, coalescence, filtration dynamics of solids. The costs for this type of technologies to initial way require a strong investment, however in the future this investment is offset in the reduction of dimensions of equipment, costs and effectiveness

For the generation of microbubbles are used pumps of turbine regenerative, which saturate the water with gas (in this case air). The water saturated of gas is recirculated to the treatment units of produced water. In the injection of microbubble nitrogen is necessary and complementing the pumps of turbine, a system of nitrogen generation (in this case gas). That allows separation of solids suspended totals and fats and oils.

Considering the changes and demands on compliance that presents Colombia with regard to wastewater discharges and the protection of the environment. This type of technology is perfect for compliance. The present work seeks to present the efficiencies of each one of the systems treatment in the waters of production, comparing performance and costs in the block Cubiro, where it has succeeded in developing this type of technology.

* Monography.

** Physicochemical of Engineering Faculty. Petroleum Engineering School, Director: Ing. Erick Montes

INTRODUCCIÓN

El tratamiento del agua asociada a la producción de hidrocarburos constituye un problema importante para las diferentes compañías petroleras, debido a su alto costo y a que las empresas que ofrecen este tipo de servicios presentan sistemas que son convencionales y poco innovadores, los cuales no garantizan un tratamiento adecuado de este fluido que cumpla con la normatividad establecida para la disposición final de estos residuos; las tecnologías de inyección de aire y nitrógeno con un sistema de microburbujas para aumentar la eficiencia del tratamiento, son desconocidas debido a que fueron diseñadas para un campo específico. Si se continúa con esta situación se desconocería el funcionamiento y las ventajas de estos sistemas que se podrían utilizar garantizando una mayor remoción y tratamiento del agua de producción.

Los sistemas de tratamiento de aguas de producción en los diferentes campos petroleros representan uno de los procesos más importantes debido a su impacto ambiental y económico.

En el Bloque Cubiro se implementaron dos tipos de sistemas de tratamiento de agua de producción, uno con inyección de microburbujas de aire y otro con inyección de microburbujas de nitrógeno; los cuales demostraron diferentes resultados satisfactorios en el tratamiento de agua que tenía como disposición final la reinyección al pozo.

La elaboración de este trabajo va encaminada a demostrar el funcionamiento de las dos técnicas nombradas, mediante la exposición de su funcionamiento, la descripción de los equipos y los costos de la implementación, con el fin de proporcionar una alternativa diferente a los sistemas convencionales para el manejo de las aguas de producción; los beneficiados de este trabajo son las diferentes compañías de hidrocarburos que traten sus aguas de producción con el fin de realizar la inyección de las mismas.

1. DESCRIPCIÓN CARÁCTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN SISTEMAS TRATAMIENTO EN AGUAS DE PRODUCCIÓN ¹

Los sistemas de tratamiento de aguas de producción asociados al sector de hidrocarburos, de acuerdo a los cambios en el panorama mundial y procesos de globalización permiten avanzar en nuevas tecnologías, que aumentan la capacidad y cumplimiento normativo en el manejo integral del agua.

La protección del medio ambiente cada vez toma mayor importancia en las operaciones asociadas a la industria del petróleo y gas. Las aguas residuales, generadas en la producción, transporte y refinación, contienen contaminantes disueltos y suspendidos como aceite residual y materiales sólidos, los cuales deben ser separados para que el agua vertida cumpla estrictamente con las regulaciones ambientales gubernamentales.

Tecnologías encaminadas a mejorar la calidad final de las aguas residuales ha sido materia de continua investigación. La flotación es una operación utilizada para separar sólidos dispersos y líquidos inmiscibles suspendidos en una fase líquida. La separación se obtiene introduciendo finas burbujas (generalmente aire) en la fase líquida, las burbujas se adhieren a las partículas contaminantes y forman aglomerados con una densidad aparente menor a la de la fase líquida. La fuerza de empuje generada hace que las partículas suban a la superficie donde pueden ser removidas con facilidad

Las aguas residuales pueden ser clarificadas de diferentes maneras, cada método tiene sus propias ventajas y limitaciones. La remoción de partículas grande es relativamente barata y técnicamente simple, se puede lograr con métodos sencillos como la filtración o sedimentación en lagunas de separación o separadores API, los cuales son adecuadas si el aceite no está emulsificado y si hay suficiente espacio y tiempo de residencia disponible para separar sólidos suspendidos (Ellis, 1973).

Arreglos de placas de coalescencia pueden mejorar la eficiencia de separación de estos sistemas simples, ayudando a romper las emulsiones y a sedimentar sólidos aceitosos en forma de lodos. Sin embargo, si no hay instalaciones con espacio adecuado para equipos convencionales, otros métodos de clarificación, como la flotación con gas, deben ser considerados. La flotación se ha utilizado

¹ FORERO JE; DIAZ J; BLANDON V.R: Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. Ecopetrol – Instituto Nacional del Petróleo 1999.

principalmente para la separación de partículas pequeñas o en estado coloidal. Allí, la relación entre la distribución del tamaño de la partícula, el número y tamaño de las burbujas de aire es crítica para una operación eficiente.

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA^{2 3}

1.1.1 Agua potable: Agua que cumple con los requisitos físicos, químicos, radioactivos y microbiológicos, que aseguran la inocuidad y aptitud para el consumo humano.

1.1.2 Aguas residuales: Aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso, o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para este proceso.

1.1.3 pH: Logaritmo negativo a la base 10 de la concentración (moles/L) de iones hidrógeno en solución. Indica la propiedad ácida, neutra o básica de una solución.

1.1.4 Conductividad: Es una expresión numérica de la capacidad de un agua de transportar corriente eléctrica. Este número depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua y de la temperatura a que se realiza la medición.

1.1.5 Oxígeno disuelto: Mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto en el agua es importante para la supervivencia de peces y otros organismos de vida acuática. La baja concentración de oxígeno disuelto puede ser un indicador de que el agua tiene una alta carga orgánica provocada por aguas residuales.

1.1.6 Turbidez: Es una medida del grado de oscuridad el agua. Indica que el agua no es clara por contener material insoluble tal como sólidos suspendidos, aceite disperso o burbujas de gas. Cuando el agua es muy turbia se puede presentar problemas de taponamiento.

1.1.7 Sólidos suspendidos: Pueden ser orgánicos e inorgánicos. Por lo general son partículas de óxido metálicos de la corrosión, hierro o manganeso presentes

² Standard Methods for the examination of Water and Wastewater”, Ed 22 th. , 2012

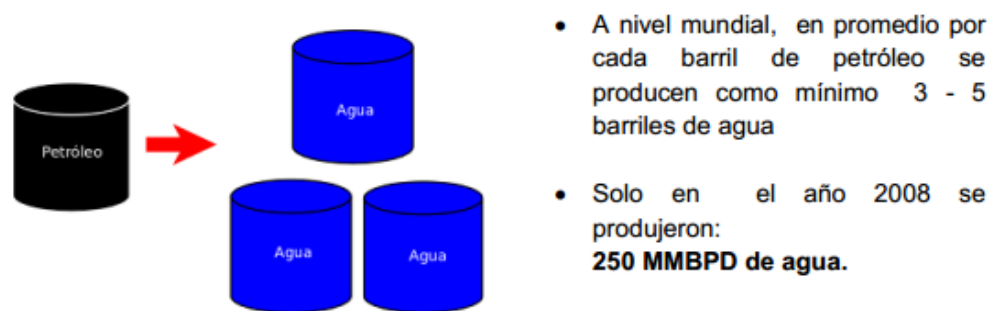
³ American Society of Test Methods Standar Test Methods for Test Dissolved in Water ASTM 2012

originalmente en el agua. Otros sólidos suspendidos pueden ser los sedimentos, arena, arcilla o cuerpos bacterianos. En la práctica se identifican y se estima su tendencia al taponamiento haciendo uso de un filtro de membrana de 0.45 micras.

1.2 AGUA DE PRODUCCIÓN⁴

Es el agua obtenida en superficie, a través de pozos petroleros y/o gas, desde una formación de interés (agua connata), un acuífero activo (agua intrusiva) o un proyecto de inyección de agua (agua inyectada).

Figura 1. Water in Fuel Production Oil Production and Refining.



Fuente: Lahcen, Nabzar y Duplan, Jean-Luc 2011.

En general, la producción de hidrocarburos implica un alto corete de agua. En promedio, a nivel mundial se producen de 3 a 5 barriles de agua por cada barril de petróleo; y en algunas zonas con campos maduros esta cifra puede aumentar de 10 a 14 barriles de agua por barril de petróleo, así en términos de volumen el agua es el fluido con mayor índice de producción en la industria del petróleo.

La calidad del agua de producción depende de la región, geología de la formación y los de más fluidos implicados en el proceso de recuperación. Los caudales y presiones pueden variar considerablemente en las proximidades del pozo productor y de esta forma alterar el equilibrio fisicoquímico que prevalece en el yacimiento,

⁴ MANCILLA, R. Metodología para el manejo de aguas de producción en un campo petrolero. Bucaramanga 2012. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleo). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

esto hace que se presenten emulsiones, que generalmente son la forma en que se producen fluidos, las cuales son tratadas mediante procesos químicos para llevar a cabo su separación.

1.2.1 Descripción de un sistema de tratamiento de aguas de producción convencional. Los sistemas de tratamiento de agua asociada a la producción se componen de cuatro procesos básicos, los cuales son, separación del aceite del agua, sedimentación/decantación, coagulación-floculación y filtración, a continuación se realiza una breve descripción de cada uno de las técnicas mencionadas:

- Separación del aceite del agua: es un proceso físico que se realiza debido a la diferencia de densidades del agua y el aceite, se realiza con el fin de separar la mayor cantidad de aceite del agua, para posteriormente entregar a un proceso de tratamiento.
- Sedimentación / decantación: Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas. El objetivo principal de este proceso es remover los sólidos en suspensión del agua.
- Coagulación- floculación: es el proceso mediante el cual se adicionan reactivos químicos que deshabilitan las partículas coloidales (clarificador) y favorecen la floculación (floculante) de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.
- Filtración: es el proceso mediante el cual se hace pasar el agua por un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión.

1.2.2 Sistema de tratamiento de agua de producción con inyección de microburbujas de aire⁵. El sistema de tratamiento de agua de producción con inyección de micro burbujas de aire se realiza con el objetivo de remover el contenido de aceite y sólidos suspendidos en las aguas residuales. El funcionamiento y los equipos que componen el sistema de tratamiento son:

⁵ LEON, Y. Filosofía de control para la ampliación de tratamiento de agua industrial de producción para el campo Cravo Viejo – Estación Bastidas. Colombia, Oct. 2014. Pág. 5.

- Unidad de tratamiento: equipo en donde se realiza la remoción de aceite empleando la tecnología de micro burbuja combinada con el efecto coalescedor de placas inclinadas. Esta tecnología hace uso de la diferencia de densidades entre dos fluidos, lo que permite una separación de los mismos.
- Para la generación de las micro burbujas se emplean bombas de turbina regenerativas, las cuales saturan el agua con gas (para este caso AIRE). El agua saturada de gas se recircula a la unidad de tratamiento, donde se distribuye en su interior para lograr el efecto de separación.
- El aceite recuperado es retornado al proceso de tratamiento de crudo mediante una bomba neumática.
- En una segunda etapa en la misma unidad de tratamiento se realiza el tratamiento de sólidos suspendidos, donde se empleará un coagulante y un floculante con el fin de llevar a cabo la remoción de los mismos mediante un proceso de clarificación – floculación.
- Las borras formadas en la etapa de clarificación son llevadas al tanque de lodos para su tratamiento, mediante una bomba neumática.
- El agua tratada es enviada hacia el manifold de inyección, de donde se alimentan las bombas multietapas de inyección.

1.2.3 Sistema de tratamiento de agua de producción con inyección de microburbujas de nitrógeno. El sistema de tratamiento para aguas de producción con inyección de microburbujas de nitrógeno, es el mismo proceso anterior, solamente cambia el gas inyectado por medio de la turbina regenerativa de AIRE a GAS.

1.2.3.1 Turbinas regenerativas

Principio de operación⁶:

- El aire ingresa a través de la brida de admisión y es forzado al interior de la bomba por las paletas del rotor, el cual gira acoplado directamente al eje del motor eléctrico.
- Al ingresar a la cámara del rotor, el aire es acelerado en dirección radial y hacia adelante, debido a la acción de la fuerza centrífuga y al giro del rotor.

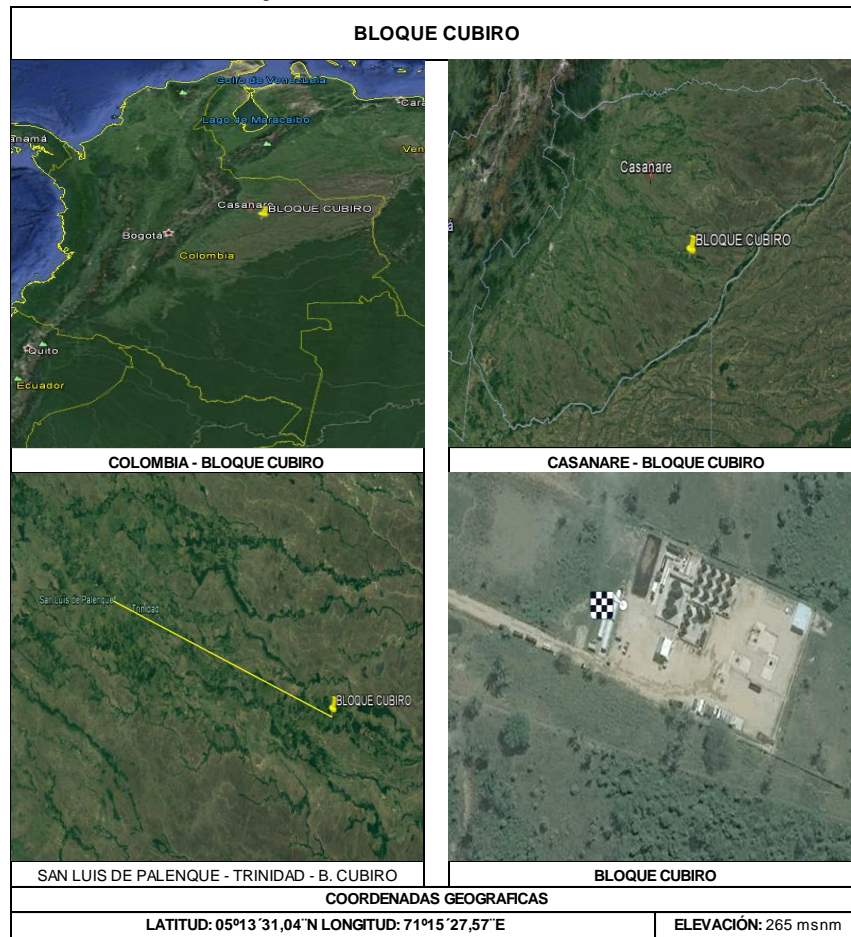
⁶ INDUTRA. [En línea]. [citado el 07 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.indutra.com/turbinas_det.php>

- Esto da origen a un flujo toroidal entre la cámara de forma anular o "canal lateral" que envuelve el rotor, y las sucesivas cavidades existentes entre las paletas del mismo.
- Cada vez que el aire es empujado hacia el canal lateral y retorna a una nueva cavidad del rotor, se produce una ganancia o incremento en la presión del mismo; esto se repite sucesivas veces hasta que finalmente es descargado al exterior.
- Gracias a este principio, es posible obtener valores de vacío/presión comparables a los de las maquinas centrifugas múltiple etapa, con un equipo compacto y de reducidas dimensiones.

2. GENERALIDADES DEL BLOQUE CUBIRO ⁷

EL bloque Cubiro se encuentra ubicado entre los municipios de Trinidad y San Luis de Palenque en el Departamento del Casanare. Desplazamiento desde la ciudad de Bogotá a Trinidad es aproximadamente de 530 km. Desplazamiento desde Yopal a Trinidad es de 110 km.

Figura 2. Localización Bloque Cubiro.

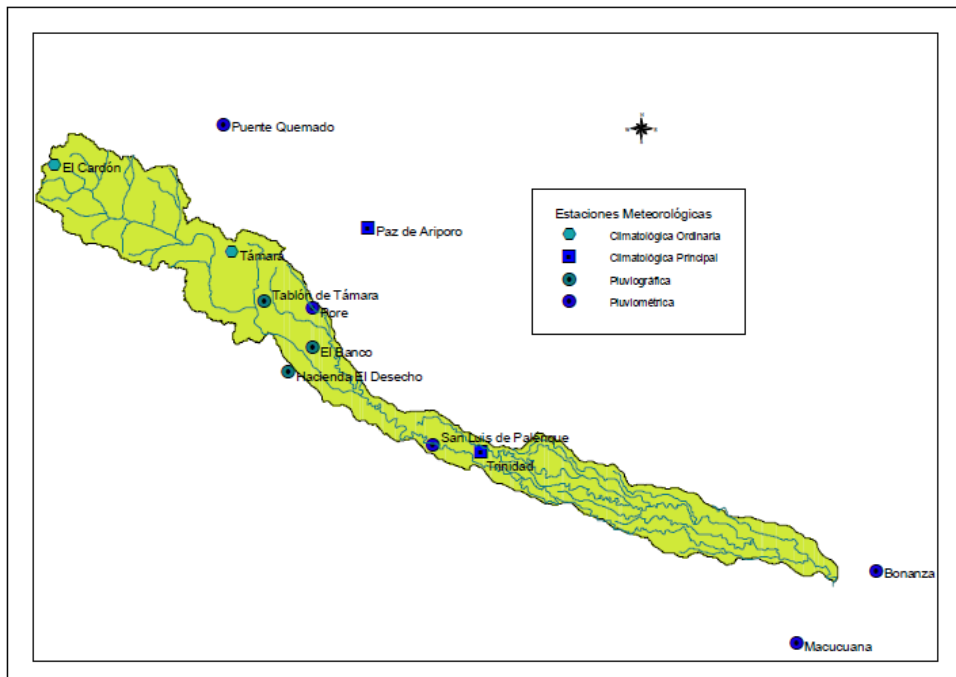


Fuente: Google Earth 2016 Ubicación bloque Cubiro

⁷ Google Earth 2016 Ubicación bloque Cubiro.

2.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DEL CAMPO⁸

Figura 3. Localización de estaciones meteorológicas Ideam. Trinidad Casanare.



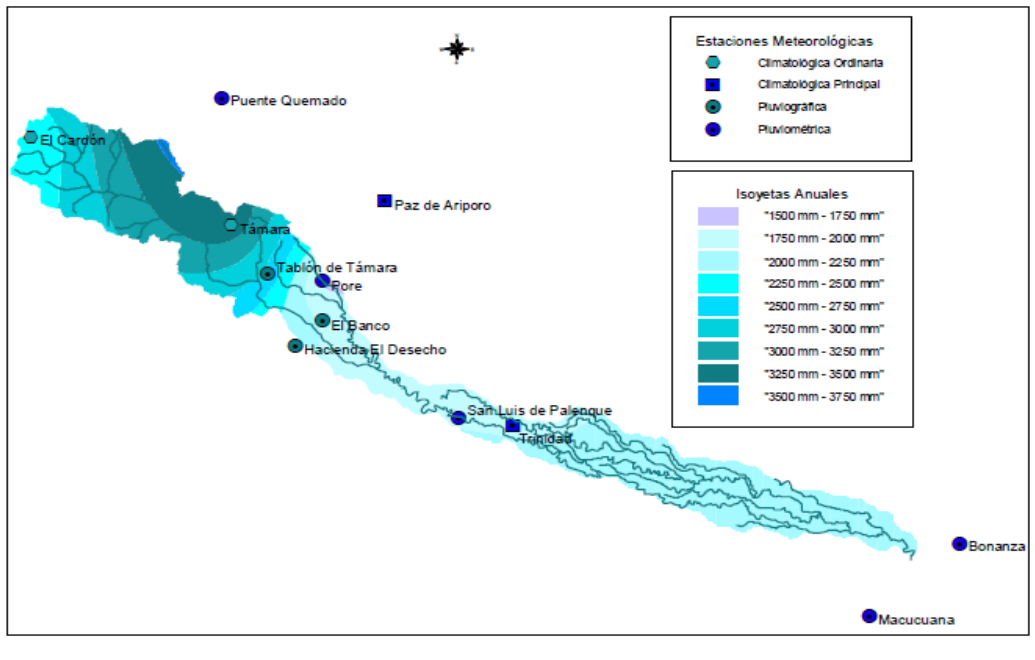
Fuente: Corporinoquia; CorpoBoyaca 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capítulo 3 Climatología.

Tabla 1. Condiciones ambientales bloque Cubiro – Zona de influencia

| CONDICIONES AMBIENTALES BLOQUE CUBIRO | |
|---------------------------------------|-------------|
| Temperatura Ambiente | 26,5° C |
| Precipitación | 1995 mm |
| Características del viento | 3 Km/h |
| Humedad relativa | 61 - 83% |
| Evaporación | 73 - 158 mm |
| Clima | Semihumedo |
| Altura o Elevación | 265 mm |
| Piso Térmico | Cálido |

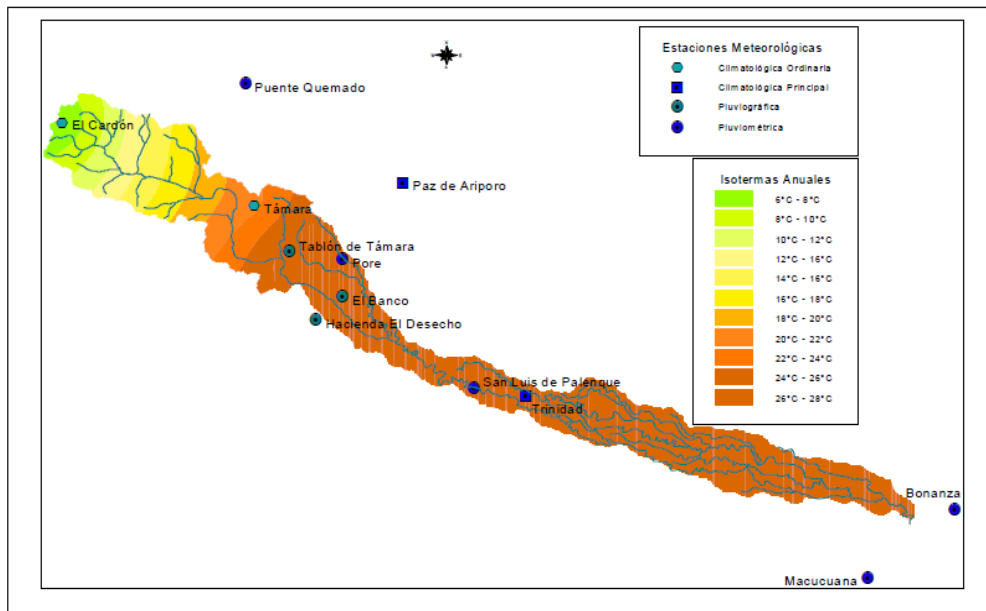
⁸ Corporinoquia; CorpoBoyaca 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capítulo 3 Climatología.

Figura 4. Mapa de Isoyetas o precipitación en la zona



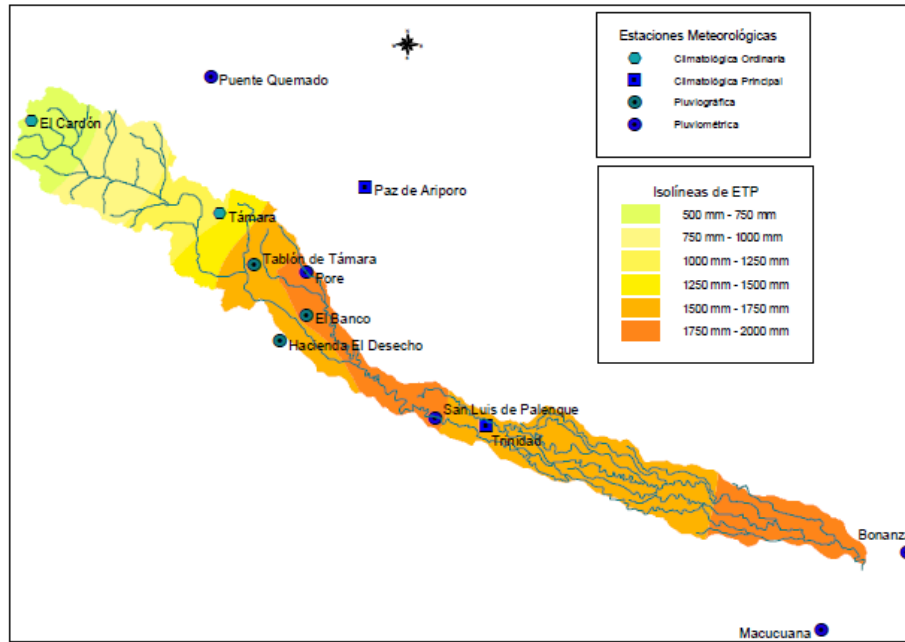
Fuente: Corporinoquia; CorpoBoyaca 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capítulo 3 Climatología.

Figura 5. Mapa de Isotermas o temperatura en la zona



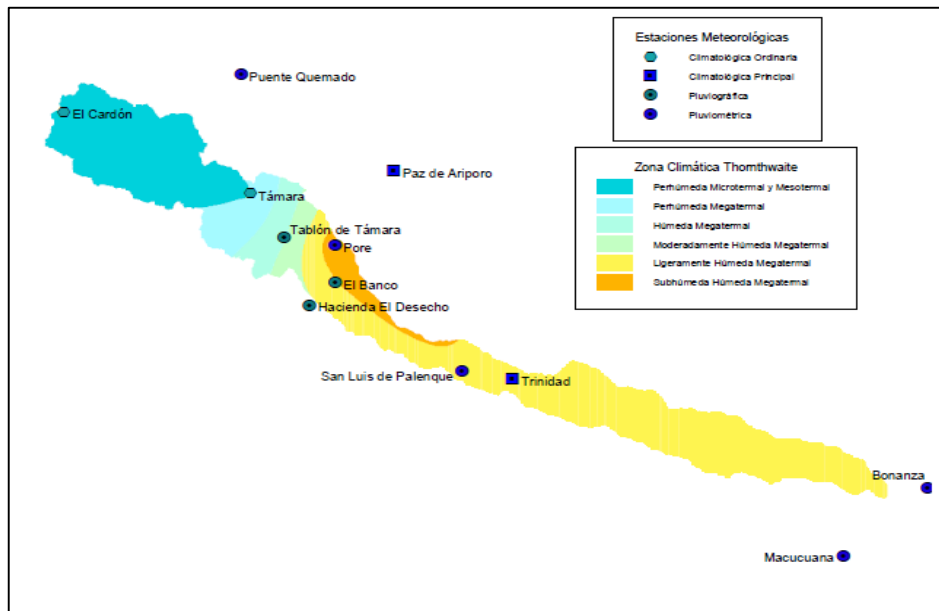
Fuente: Corporinoquia; CorpoBoyaca 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capítulo 3 Climatología.

Figura 6. Mapa de las líneas o elevación en la zona



Fuente: Corporinoquia; CorpoBoyaca 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capítulo 3 Climatología.

Figura 7. Zonificación climática



Fuente: Corporinoquia; CorpoBoyaca 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capítulo 3 Climatología.

3. DEMANDA SISTEMAS DE TRATAMIENTO AGUAS DE PRODUCCIÓN BLOQUE CUBIRO

De acuerdo a lo establecido por la legislación Colombiana, es necesario obtener niveles permisibles para la protección del medio ambiente, especialmente en cuerpos de aguas superficiales. Los sistemas de aguas a los que se les realiza tratamiento, tienen las siguientes características evaluadas con los siguientes parámetros. Esta información es obtenida por el cliente quien suministra la información de la calidad con la que ingresa y con los límites que son necesarios para dar cumplimiento a los requerimientos que la autoridad y licencia soliciten.

Agua de producción:

Los parámetros básicos del agua para realizar el diseño fueron suministrados por PACIFIC y se listan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Parámetros calidad de agua de producción a la entrada del proceso.

| PARÁMETROS DE DISEÑO | | |
|--------------------------|--------|---------------|
| PARÁMETROS | UNIDAD | VALOR O RANGO |
| SST | ppm | 100 -200 |
| GRASAS Y ACEITES | | 500 - 700 |
| O ₂ DISUELTO | | 4,4 - 5,9 |
| HIERRO TOTAL | | 0,46 - 0,48 |
| ALCALINIDAD BICARBONATOS | | 157,5 - 245 |
| CLORUROS | | 40 |

Crudo:

A la salida del tratamiento, como mínimo se debe obtener los siguientes resultados de calidad, cumpliendo el requerimiento contractual directamente establecido por la compañía operadora, en este caso Pacific:

Los parámetros básicos del crudo para determinar la flotabilidad y velocidad de ascenso los suministró Pacific y se listan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Caracterización del crudo producido en el bloque Cubiro.

| PARÁMETROS DE DISEÑO | | |
|----------------------|--------|---------------|
| PARÁMETROS | UNIDAD | VALOR O RANGO |
| GRAVEDAD API | ° API | 26,4 |
| SULFUROS | % W | 0,69 |
| ASFÁLTENOS | % W | 4,9 |
| PARAFINAS | % W | 10,9 |

Entrega de resultados⁹: Parámetros calidad de agua de inyección requeridos a la salida del proceso. Las propiedades del agua que pueden causar efectos en los yacimientos, pozos y facilidades en superficie, no existe una guía definida o generalizada sobre los indicadores aceptables de calidad del agua para un proceso de inyección, estos varían según las características propias de cada yacimiento.

Tabla 4. Parámetros de salida sistema en el bloque Cubiro

| PARÁMETROS REQUERIDOS SALIDA SISTEMA | | |
|--------------------------------------|--------|---------------|
| PARÁMETROS | UNIDAD | VALOR O RANGO |
| SST | ppm | 2 |
| GRASAS Y ACEITES | ppm | 2 |
| TEMPERATURA | ° C | 76 |

⁹ MANCILLA, R. Metodología para el manejo de aguas de producción en un campo petrolero. Bucaramanga 2012. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleo). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

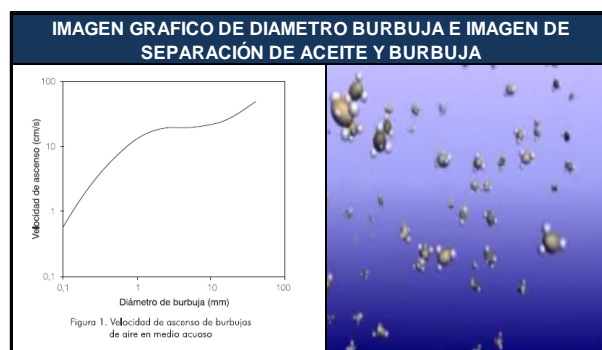
4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AIRE E INYECCIÓN DE MICROBURBUJA DE NITRÓGENO

En el Bloque Cubiro se implementaron dos tipos de sistemas de tratamiento de agua de producción, uno con inyección de microburbujas de aire y otro con inyección de microburbujas de nitrógeno; los cuales demostraron diferentes resultados satisfactorios en el tratamiento de agua que tenía como disposición final la reinyección al pozo.

4.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AIRE¹⁰

En la flotación por aire disuelto, se produce una dispersión de finas burbujas de aire al reducir drásticamente la presión de una corriente saturada con aire. Este proceso requiere compresor, una cámara presurizada con sistema de recirculación para forzar el aire que va a disolverse hasta saturar la fase acuosa. La corriente, rica en aire disuelto, es llevada al tanque de tratamiento, allí se provoca una disminución controlada de presión para que el aire liberado genere microburbujas.

Figura 8. Imágenes de gráfica diámetro de burbuja y separación de burbuja de aceite



¹⁰ FORERO JE; DIAZ J; BLANDON V.R: Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. Ecopetrol – Instituto Nacional del Petróleo 1999.

En un proceso DAF los valores típicos del tamaño de burbuja generado oscilan entre 10 y 100 mm. Este proceso es bastante costoso pues se requiere el compresor que genere en el aire una presión de 304,07 kPa a 405,43 kPa. por encima de la presión de la corriente de agua. Además, se necesita la cámara presurizada con recirculación y un sistema para controlar la presión al liberar la corriente de agua saturada. A continuación los equipos que conforman el sistema de tratamiento de aguas de producción por inyección de microburbuja aire.

4.1.1 RECIPIENTES DEL SISTEMA¹¹

- 4.1.1.1 Celda U.T.A.:** Es el primer equipo que conforma el sistema de tratamiento, trabaja a presión atmosférica, está dividido en dos compartimientos cada uno con un bolsillo de 9 BIs de capacidad y tiene una capacidad de procesar 30000 BWPD; la función principal es realizar el proceso de separación del aceite libre del agua que ingresa al sistema. La función del segundo compartimiento de la Celda UTA es realizar la separación de borra que se forma por la reacción de productos químicos (clarificador y floculante).

Figura 9. Vista externa e interna del UTA



- 4.1.1.2 Tanque de recuperación de crudo:** Tanque con capacidad de 80 BLS en donde se almacena el crudo recuperado, proveniente del desnate de la Celda UTA 1, para ser enviado posteriormente al Gun Barrel de producción.

¹¹ GALQUI Manual de operación de planta de tratamiento de aguas de producción Bloque Cubiro – Pozo Copá 1 - 2014.

Figura 10. Tanque de recuperación de crudo



- 4.1.1.3 Tanque de lodos:** Tanque con capacidad de 200 BLS, en este tanque se almacena y se deshidrata la borra producida en la Celda UTA 2, para ser enviada posteriormente en carro tanques a tratamiento en planta externa.

Figura 11. Tanque de lodos



- 4.1.1.4 Tanque de almacenamiento de agua tratada:** Tanque con capacidad de 200 BLS de agua tratada que se usa para la alimentación del sistema de microburbuja.

Figura 12. Tanque de almacenamiento de agua tratada



4.1.1.5 Sistema de microburbuja: Sistema compuesto por una turbina regenerativa diseñado para producir burbujas que ayudan a la separación del aceite del agua, el sistema es utilizado en los dos compartimientos de la Celda UTA.

Figura 13. Sistema de microburbuja



4.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN DE MICROBURBUJA DE NITRÓGENO¹²

La flotación por aire inducido, ha sido utilizada extensivamente para el tratamiento de aguas de producción. Esta técnica utiliza equipos motorizados que inducen el gas dentro de la fase acuosa, como los aireadores, flotadores mecánicos que consisten de un impeler movido por motor, que succiona agua y ésta a su vez succiona el aire del ambiente. A la salida del impeler, unas pequeñas perforaciones producen las burbujas.

En este proceso, los valores típicos de tamaño de burbuja generado son superiores a 1.000 mm. Debido a los grandes tamaños de burbuja, se incrementa la cantidad de aire que se debe inyectar para que el proceso sea eficiente. Este sistema requiere, además, grandes difusores para tener influencia sobre toda el agua por tratar.

4.2.1 Recipientes del sistema

4.2.1.1 Tanque de potencia: La función del tanque de potencia es dar una cabeza de succión positiva a las bombas de alimentación amortiguar y homogenizar el caudal al inicio de la planta de tratamiento. En este punto el agua de producción es trasegada mediante un sistema de bombeo de alimentación hacia las unidades de micro flotación mientras que las aguas aceitosas obtenidas son recolectadas y succionadas mediante una bomba centrífuga por la línea hacia la línea retornando nuevamente a la entrada.

¹² GALQUI Manual de operación y plan de mantenimiento sistema de tratamiento de agua de producción de 25000 BWPD Bloque Cubiro – Pozo Petirrojo.

Figura 14. Tanque de potencia.



4.2.1.2 Tanque de aguas aceitosas: El sistema de recuperación de aguas aceitosas es automático, de manera que cuando se alcanza nivel alto, en los switch de nivel de los bolsillos de las Unidades de Microflotación se activan los raspadores, se eleva el nivel y entra en funcionamiento la bomba de engranajes A, la cual envía las aguas aceitosas hacia el tanque. Una vez se acumule este fluido en el tanque de aguas aceitosas y el sensor de nivel de la señal de alto, opera la bomba de engranajes retornando las aguas aceitosas por la línea hasta la corriente de entrada para iniciar nuevamente el proceso de tratamiento.

Figura 15. Tanque de aguas aceitosas



4.2.1.3 Unidad de tratamiento de agua con micro flotación: Las unidades de micro flotación A/B permiten la precipitación de arenas, arcillas y limos sedimentables, de manera que periódicamente deben removerse por la línea empleando las bombas neumáticas y enviándolos finalmente al tanque de lodos por la misma línea de proceso.

El agua clarificada que sale de las unidades de micro flotación A/B por la línea pasa por un juego de válvulas automáticas ON/OFF que dan paso al agua hacia el sistema de bombeo de filtración compuesto por cinco bombas A/B/C/D/E con capacidad de trasegar 16.500BWPD a 60psi; dos de estas bombas son para proceso de filtración, la tercera es stand by o back up y la cuarta y quinta se emplean en los retro-lavados de los filtros inyectando agua tratada para optimizar el proceso de limpieza.

Figura 16. Unidad de tratamiento de agua con microfiltración



4.2.1.4 Decantador: El tanque decantador a través de la línea. Donde el fluido permanece en el tanque decantador por un tiempo de decantación de dos horas. Al cumplirse 90 minutos el tanque realiza un rebose de los lodos aceitoso flotantes hacia el tanque de lodos, abriendo la válvula automática, la cual al finalizarse el rebose se cierra para evitar que se direcciona una cantidad significativa de agua de proceso al tanque de lodos. Al finalizarse las dos horas de decantación el fluido presente en el tanque retorna al proceso abriendo la válvula automática, direccionando el fluido hacia el tanque de potencia. Una vez el sensor de nivel detecta un nivel igual o menor al 29% cierra la válvula comenzando de nuevo el ciclo de operación del tanque decantador.

Figura 17. Decantador



4.2.1.5 Tanque de lodos: Tanque con capacidad de 184 BLS, en este tanque se almacena y se deshidrata la borra producida en el tanque de aguas aceitosas, para ser enviada posteriormente en carro tanques a tratamiento en planta externa. Una vez se tenga disponible el carrotanque que transporta las borras hasta el lugar destinado a biorremediación y posterior disposición.

Figura 18. Tanque de lodos



4.2.1.6 Tanque de agua sistema de microburbuja: El agua filtrada y tratada con las especificaciones exigidas de calidad, se entrega la planta de inyección (PIA), parte del agua tratada (9 – 15%), se envía al tanque del sistema de microburbuja, para ser utilizada en los procesos de separación que se lleva a cabo en los procesos de retrolavados de los filtros.

Figura 19. Tanque de aguas sistema de microburbujas.



4.2.1.7 Sistema de generación de nitrógeno: Este equipo recibe el aire a presión por el filtro regulador de su parte inferior, la presión nominal de entrada es de (.08 mega pascales) 125 psi. Se carga la columna izquierda por la válvula inferior frontal izquierda y se libera nitrógeno al pulmón de producto por la válvula posterior izquierda en un tiempo de 40 segundos.

Figura 20. Tanque de generación de nitrógeno



Al cumplir ese tiempo se activa las válvulas de ecualización tanto superior e inferior del generador ubicadas hacia la mitad de las columnas en un tiempo de 9 segundos. Tras este tiempo se activa la descarga al ambiente del oxígeno restante de la separación de componentes del aire, válvulas inferiores, posterior izquierda y a su vez se da apertura de admisión de aire de la columna derecha para retener el oxígeno y dar paso libre al nitrógeno en la segunda columna y así enriquecer la

atmósfera del tanque de producto. Este ciclo se repite infinitamente, por ello la energía del generador debe ser 100% confiable e ininterrumpida.

4.2.1.8 Componentes: El equipo posee un gabinete superior en donde se encuentra la HMI y se alojan los componentes eléctricos y electrónicos del PLC en el gabinete inferior se aloja el sensor de concentración de oxígeno y el transductor de presión de tanque de producto. Allí se encuentran la presión ajustada a 1 bar de presión siempre mediante el regulador de acondicionamiento de muestra que se conecta a la manguera negra de 4mm proveniente del muestreo del tanque. Llega a una válvula de tres vías manual

Figura 21. Componentes



4.2.1.9 Tablero De Control. La plataforma de PLC empleado para el control del automatismo es el control modicom 340 unity ; conformado por una fuente de alimentación 24 V BMXCPS 3020, un procesador BMX P342020, dos módulos de entradas análogas de 4 vías, dos módulos de entradas análogas de ocho vías, un módulo de salida análoga de dos vías, un módulo de salida análoga de ocho vías, tres módulos de entradas digitales de 64 vías c/u, dos módulos de salida digitales de 32 vías c/u, un switch de comunicación de 4 puertos, una fuente regulada Siemens alimentación 110 V 24VDC de salida.

Figura 22. Tablero de control.



4.2.1.10 Turbina regenerativa: Se inyecta aire de forma perpendicular al equipo microburbujas de nitrógeno por la línea logrando que el equipo remueva gotas de aceite de hasta $5\mu\text{m}$. Éste sistema permite una remoción entre el 95 y 99% de grasas y aceites (G&A) dependiendo de la concentración de entrada. Una vez recuperadas las aguas aceitosas, las unidades de micro flotación se valen del sistema de microburbujas compuesto por las turbinas regenerativas para remover los sólidos suspendidos, limos, arcillas que están presentes en el agua de producción. Decantando los sólidos en la parte inferior del equipo para su posterior drenaje.

Cada unidad de micro flotación tiene su respectivo motoreductor, medidor de nivel continuo para controlar el proceso de recuperación de aguas aceitosas y remoción de sólidos por las líneas de proceso respectivamente y salida de oxígeno, nitrógeno y vapor de agua hacia el medio ambiente.

5. INFORMACIÓN TÉCNICA DE RECIPIENTES

Tabla 5. Información técnica tanque de potencia.

| INFORMACIÓN TÉCNICA TANQUE DE POTENCIA | |
|---|--|
| CANTIDAD | Uno (1) |
| FABRICANTE | GALQUI |
| TAG | CCS-TK-33-001 |
| DIMENSIONES | Diámetro: 8.5' (2.6 m); Largo: 11,8 |
| VOLUMEN | 120 Bls |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | Atmosférico |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | 140 – 170 oF |
| TIEMPO DE RETENCIÓN | 6.92 min. |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN | Lámina de acero al carbón A 283 Gr C / A 36 |
| OPERACIÓN | Automático |
| PESO VACÍO DE DESPACHO | 2.034 Kg |
| PESO EN OPERACIÓN | 28.000 Kg |

Tabla 6. Información técnica unidad de micro filtración

| INFORMACIÓN TÉCNICA UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN | |
|--|---|
| CANTIDAD | Dos (2) |
| FABRICANTE | GALQUI |
| TAG | CCS-TK-33-003 A/B |
| DIMENSIONES | Largo: 45.9' (14 m), Ancho: 10.5' (3.2 m), Altura: 9.84' (3 m) |
| VOLUMEN | 760 Bls |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | 4 PSIG |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | 140 – 170 oF |
| TIEMPO DE RETENCIÓN | 43.8 min. |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN | Lámina de acero al carbón A 283 Gr C / A 36 |
| OPERACIÓN | Automático |
| PESO VACÍO DE DESPACHO | 27.700 Kg |
| PESO EN OPERACIÓN | 170.000 Kg |

Tabla 7. Información técnica decantador

| INFORMACIÓN TÉCNICA DECANTADOR | |
|---------------------------------------|--|
| CANTIDAD | Uno (1) |
| FABRICANTE | GALQUI |
| TAG | CCS-TK-33-004 |
| DIMENSIONES | Diámetro: 11.25 (3.43 m), Altura: 39.37' (12 m) |
| VOLUMEN | 550 Bls |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | Atmosférico |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | 140 – 170 oF |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN | Lámina de acero al carbón A 283 Gr C / A 36 |
| OPERACIÓN | Automático |
| PESO VACÍO DE DESPACHO | 9.000 Kg |
| PESO EN OPERACIÓN | 120.000 Kg |

Tabla 8. Información técnica tanque de lodos

| INFORMACIÓN TÉCNICA TANQUE DE LODOS | |
|--|--|
| CANTIDAD | Uno (1) |
| FABRICANTE | GALQUI |
| TAG | CCS-TK-33-006 |
| DIMENSIONES | Largo: 39.4' (12 m), Ancho: 10.8' (3.3 m), Altura: 9.84' (3 m) |
| VOLUMEN | 184 Bls |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | Atmosférico |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | 140 – 170 Of |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN | Lámina de acero al carbón A 283 Gr C / A 36 |
| PESO VACÍO DE DESPACHO | 7.100 Kg |
| PESO EN OPERACIÓN | 123.000 Kg |

Tabla 9. Información tanque de aguas de sistema microburbuja

| INFORMACIÓN TÉCNICA TANQUE DE AGUAS DE SISTEMA MICROBURBUJAS | |
|---|---|
| CANTIDAD | Uno (1) |
| FABRICANTE | GALQUI |
| TAG | CCS-TK-33-005 |
| DIMENSIONES | Diámetro: 9.31' (2.84 m), Altura: 16.4' (5 m) |
| VOLUMEN | 280 Bls |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | Atmosférico |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | 140 – 170 oF |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN | Lámina de acero al carbón A 283 Gr C |
| PESO VACÍO DE DESPACHO | 3300 Kg |
| PESO EN OPERACIÓN | 35000 Kg |

Tabla 10. Información tanque de aguas aceitosas

| INFORMACIÓN TÉCNICA TANQUE DE AGUAS ACEITOSAS | |
|--|--|
| CANTIDAD | Uno (1) |
| FABRICANTE | GALQUI |
| TAG | CCS-TK-33-002 |
| DIMENSIONES | Diámetro: 8.1' (2.47 m), Altura: 13.12' (4 m) |
| VOLUMEN | 120 Bls |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | Atmosférico |
| TEMPERATURA DE OPERACIÓN | 140 – 170 Of |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN | Lámina de acero al carbón A 283 Gr C / A 36 |
| PESO VACÍO DE DESPACHO | 2.460 Kg |
| PESO EN OPERACIÓN | 22.000 Kg |

5.1 INFORMACIÓN TABLERO DE CONTROL

Tabla 11. Información tablero de control

| INFORMACIÓN TÉCNICA TABLERO CONTROL | |
|--|---|
| CANTIDAD | Uno (1) |
| ENCERRAMIENTO | IP 42 |
| GABIENETE | Incluido en lámina de acero al carbón cold rolled FTC. Tablero con gabinetes extraíbles |
| BORNAS | Instalación para cada conexión a motor. |
| INTERFAZ HOMBRE MAQUINA | Botones de parada y arranque forzado, Selector de tres posiciones |
| PROTECCIONES | Breakers general, Hongo de emergencia, Lámparas de señalización de alarmas, Alarmas audibles. |
| GUARDA MOTOR | Se considera un fusible para cada motor. |
| ARRANCADORES | Arranque directo para motores de menos de 15 hp arranque suave o variador para potencias mayores. |
| CONTACTORES | Para todos los motores que no llevan VFD. |
| PRUEBAS | TTA Arrestor de arco |

5.2. TURBINA DE REGENERATIVA

Tabla 12. Información turbina regenerativa

| INFORMACIÓN TÉCNICA TURBINA REGENERATIVA | |
|---|---|
| TIPO | Centrifuga cavitativa |
| TAG | CCS-TRG-33-001 A/B/C/D/E/F |
| CANTIDAD | Seis (6), Cinco (5) operando y una (1) en stand by. |
| FLUJO | 1815 BWPD |
| PRESIÓN | 45 psig |
| POTENCIA DE MOTOR | 4 HP |
| VOLTAJE | 440 VAC trifásico 60 Hz |
| SELLO DE EJE | Sello mecánico |
| REVOLUCIONES | 1750 rpm |
| BRIDAS | Según DIN 2501 taladradas según ANSI |
| MATERIALES | Fundición gris. |

6. RESULTADOS DE LABORATORIO BLOQUE CUBIRO

6.1 RESULTADOS SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN - INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AIRE

Tabla 13. Resultados de laboratorio de SST MB AIRE

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES - JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| DIAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | ppm | 313 | 385 | 228 | 319 | 317 | 354 | 267 | 378 | 300 | 323 | 427 | 390 | 341 | 318 | 303 | 416 | 376 | 341 | 440 | 425 | 465 | 475 | 384 | 434 | 375 | 420 | 409 | 366 | 338 | 497 | 443 | 373 |
| OUT STAP MB | | 3,4 | 3,8 | 3,2 | 3,4 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,2 | 3,7 | 3,4 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 3,4 | 3,8 | 4,1 | 3,8 | 3,6 | 3,5 | 3,4 | 3,5 | 3,2 | 3,4 | 3,2 | 3,2 | 3,6 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3 | 3,2 | 3,4 |

Figura 23. Resultados laboratorio SST MB AIRE



Tabla 14. Resultados de laboratorio de GRASAS Y ACEITES MB AIRE

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO GRASAS Y ACEITES JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----|----------|
| DIAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | ppm | 129 | 217 | 55,2 | 106 | 57,7 | 94,7 | 80,2 | 47,7 | 80,4 | 98,2 | 74,8 | 101 | 72,3 | 89,7 | 96,6 | 195 | 66,1 | 72,8 | 147 | 83,7 | 119 | 101 | 43,1 | 120 | 52,4 | 74,7 | 89,1 | 102 | 71,1 | 183 | 171 | 99,7 |
| OUT STAP MB | | 5 | 7,3 | 4,8 | 5,9 | 4,8 | 5,4 | 6,1 | 6,4 | 7,7 | 5,5 | 7,3 | 5,2 | 4,5 | 8,8 | 9,8 | 11,4 | 10,5 | 6,7 | 6,4 | 5,5 | 6,1 | 5,4 | 3,4 | 4,8 | 5,4 | 6,3 | 4,3 | 3,8 | 4,2 | 5,7 | 3,6 | 6,1 |

Figura 24. Resultados laboratorio GRASAS Y ACEITES MB AIRE

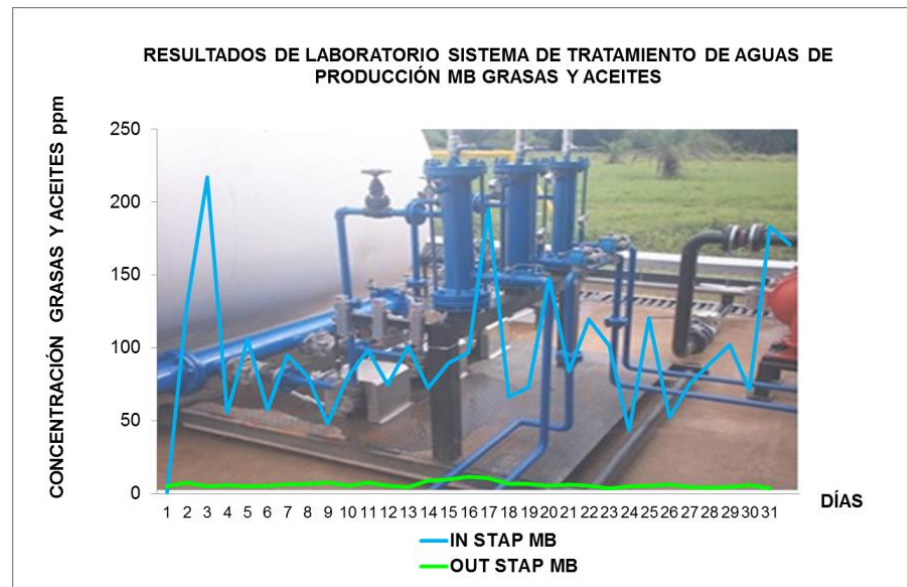


Tabla 15. Resultados de laboratorio de OXIGENO DISUELTO MB AIRE

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO OXIGENO DISUELTO JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|----------|
| DIAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | ppm | 1,32 | 1,87 | 2,13 | 1,72 | 2,17 | 2,06 | 1,18 | 1,92 | 1,84 | 1,86 | 1,99 | 1,33 | 2,03 | 1,06 | 2,04 | 1,04 | 1,33 | 1,51 | 1,42 | 2,16 | 3,1 | 1,2 | 2,49 | 2,19 | 2,53 | 1,86 | 1,8 | 2,45 | 2,8 | 2,01 | 2,1 | |
| OUT STAP MB | | 4,16 | 4,02 | 4,16 | 4,08 | 4,11 | 4,09 | 4,11 | 4,13 | 4,14 | 4,09 | 4,21 | 3,64 | 4,16 | 3,96 | 3,87 | 3,94 | 3,84 | 3,87 | 4,2 | 5,19 | 5,39 | 3,84 | 4,49 | 4,19 | 4,54 | 4,27 | 4,3 | 4,43 | 4,02 | 4,28 | 4,21 | 4,2 |

Figura 25. Resultados laboratorio OXIGENO DISUELTO MB AIRE

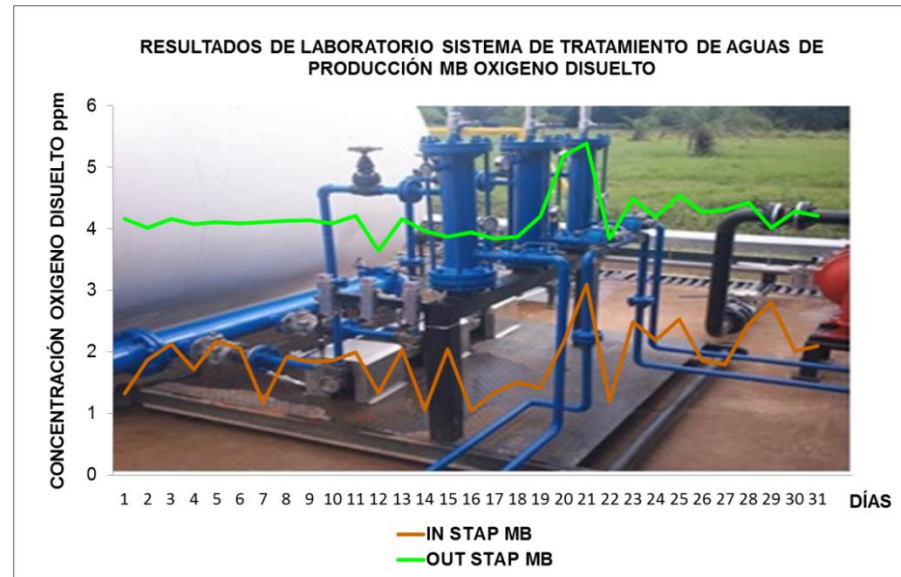


Tabla 16. Resultados de laboratorio de TURBIEDAD MB AIRE

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO TURBIEDAD JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|----------|
| DIAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | NTU | 82 | 201 | 82,7 | 101 | 121 | 162 | 116 | 178 | 95,3 | 110 | 160 | 157 | 82,5 | 109 | 94,3 | 178 | 169 | 123 | 188 | 144 | 194 | 202 | 121 | 148 | 133 | 137 | 164 | 141 | 104 | 253 | 209 | |
| OUT STAP MB | | 10,6 | 16 | 18,9 | 12 | 14,4 | 14,4 | 13,2 | 10,7 | 10,7 | 10,3 | 12,4 | 11,1 | 15,1 | 10,2 | 13,3 | 12,9 | 15 | 16 | 16 | 10,6 | 12,2 | 9,1 | 10 | 8,1 | 8,1 | 11,9 | 11,2 | 10,6 | 13,6 | 6,4 | 6,6 | 11,98 |

Figura 26. Resultados laboratorio TURBIEDAD MB AIRE



Tabla 17. Resultados de laboratorio de CONDUCTIVIDAD MB AIRE

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO CONDUCTIVIDAD JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| DIAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | µs/cm | 1227 | 1203 | 1195 | 1264 | 1238 | 1209 | 1315 | 1271 | 1315 | 1271 | 1172 | 1185 | 1164 | 1131 | 1137 | 1200 | 1178 | 1216 | 1237 | 1234 | 1315 | 1297 | 1325 | 1345 | 1208 | 1211 | 1214 | 1200 | 1178 | 1315 | 1297 | 1234 |
| OUT STAP MB | | 1151 | 1171 | 1094 | 1251 | 1227 | 1203 | 1195 | 1264 | 1238 | 1209 | 1315 | 1271 | 1172 | 1185 | 1164 | 1131 | 1137 | 1205 | 1200 | 1178 | 1216 | 1237 | 1234 | 1315 | 1297 | 1325 | 1345 | 1208 | 1211 | 1214 | 1192 | 1218 |

Figura 27. Resultados laboratorio CONDUCTIVIDAD MB AIRE

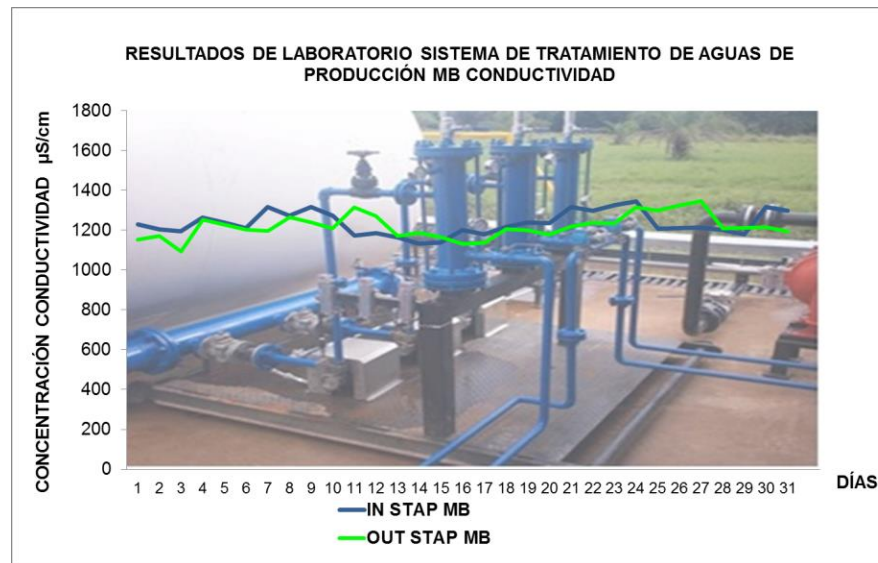


Tabla 18. Resultados de laboratorio de pH MB AIRE

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO pH JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|--|
| DÍAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO | |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | UNIDADES | 6,44 | 6,96 | 6,97 | 6,83 | 7,06 | 6,98 | 7,13 | 6,94 | 7,08 | 6,85 | 6,87 | 6,96 | 7,5 | 7,2 | 7,16 | 7,1 | 7,22 | 6,91 | 7,01 | 7,18 | 7,1 | 6,98 | 6,96 | 6,98 | 7,13 | 6,94 | 7,08 | 6,44 | 6,96 | 6,97 | 7,16 | 7,0 | |
| OUT STAP MB | UNIDADES | 7,16 | 7,16 | 6,96 | 6,93 | 6,97 | 7,17 | 7,06 | 6,98 | 7,13 | 6,94 | 7,08 | 6,44 | 6,96 | 6,97 | 6,83 | 6,82 | 6,85 | 6,87 | 6,96 | 7,5 | 7,4 | 7,2 | 7,16 | 7,1 | 7,22 | 6,91 | 7,01 | 7,18 | 7,1 | 6,98 | 6,96 | 7,03 | |

Figura 28. Resultados laboratorio pH MB AIRE



6.1.1 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja aire remoción sólidos suspendidos, grasas y aceites

Figura 29. Eficiencia del sistema para retirar SST

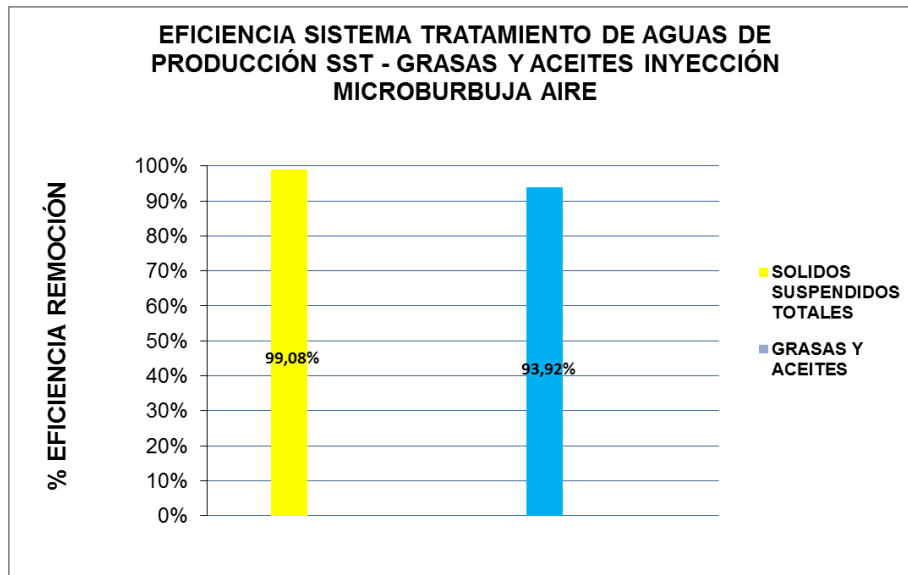


Figura 30. Eficiencia del sistema para recuperar GRASAS Y ACEITES



6.1.2 eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja aire remoción sólidos suspendidos, grasas y aceites¹³

Figura 31. Eficiencia porcentaje de remoción STAP sólidos suspendidos totales, grasas y aceites; Inyección microburbuja de aire.



¹³ GALQUI Resultados de laboratorio de sistema de tratamiento de aguas de producción Bloque Cubiro – Pozo Copa 1 - 2014.

6.2 RESULTADOS SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN - INYECCIÓN DE MICROBURBUJA NITROGENO

Tabla 19. Resultados de laboratorio de SST MB NITROGENO

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES - ABRIL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----------|--|
| DÍAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | PROMEDIO | |
| PUNTO DE MUESTREO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB + N | 492 | 477 | 516 | 421 | 441 | 357 | 351 | 303 | 1731 | 282 | 355 | 473 | 381 | 343 | 1389 | 362 | 762 | 483 | 502 | 374 | 413 | 490 | 496 | 479 | 294 | 338 | 346 | 333 | 305 | 443 | 491 | |
| OUT STAP MB + N | 17,7 | 16,4 | 15,6 | 21,1 | 19,7 | 14,3 | 162 | 135 | 1029 | 140 | 164 | 210 | 215 | 161 | 481 | 143 | 330 | 187 | 207 | 137 | 166 | 163 | 253 | 1,8 | 2,2 | 2 | 1,5 | 1,5 | 0,6 | 13,4 | 146,9 | |

Figura 32. Resultados laboratorio SST MB NITROGENO

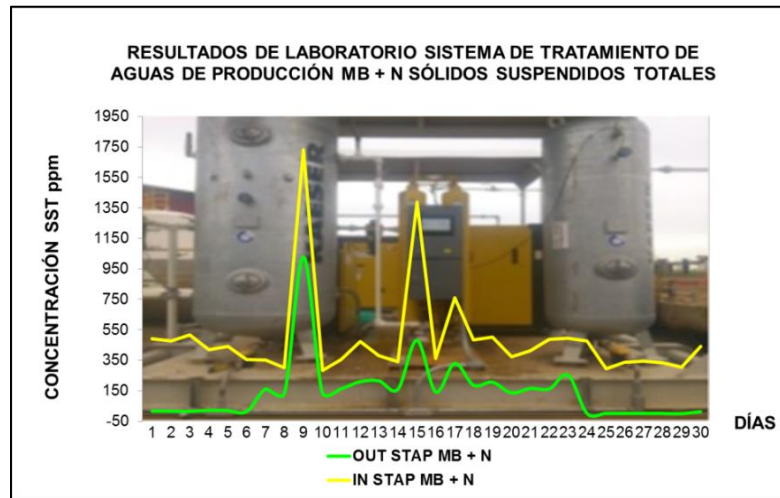


Tabla 20. Resultados de laboratorio de GRASAS Y ACEITES MB NITROGENO

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO GRASAS Y ACEITES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| DIAS PUNTO DE MUESTREO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | PROMEDIO |
| | IN STAP MB + N | 574 | 532 | 645 | 1164 | 425 | 357 | 469 | 564 | 1597 | 601 | 429 | 583 | 348 | 462 | 1125 | 702 | 846 | 643 | 748 | 444 | 719 | 418 | 624 | 595 | 326 | 310 | 464 | 422 | 311 | 363 |
| OUT STAP MB + N | 120 | 123 | 145 | 716 | 88,1 | 79,1 | 38,3 | 32 | 112 | 40 | 39,4 | 58,2 | 59,8 | 26,6 | 60,9 | 81,5 | 135 | 103 | 120 | 50 | 52 | 61 | 81 | 67 | 3 | 3 | 1 | 1 | 4 | 23 | 84,1 |

Figura 33. Resultados laboratorio GRASAS Y ACEITES MB NITROGENO



Tabla 21. Resultados de laboratorio de OXIGENO DISUELTO MB NITROGENO

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO OXIGENO DISUELTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| PUNTO DE MUESTREO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | PROMEDIO |
| IN STAP MB + N | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,7 | 1,3 | 1,6 | 0,9 | 1,4 | 1 | 1,7 | 2,1 | 1,2 | 1,5 | 0,8 | 1,3 | 1,6 | 0,9 | 1,4 | 1 | 1,6 | 2 | 1,6 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,7 | 2,1 | 1,6 | 1,2 |
| OUT STAP MB + N | 2,2 | 3 | 3,2 | 2,5 | 2,2 | 3 | 3,2 | 2,5 | 3,2 | 2,5 | 1,5 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,2 | 3 | 3,2 | 2,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 2 | 1,3 | 2,5 | 2,2 | 3 | 3,2 | 2,5 | 1,5 | 1,4 | 2,4 |

Figura 34. Resultados laboratorio OXIGENO DISUELTO MB NITROGENO



Tabla 22. Resultados de laboratorio de TURBIEDAD MB NITROGENO

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO TURBIEDAD JULIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|----------|
| DIAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | PROMEDIO |
| PUNTO DE MUESTREO | UNIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IN STAP MB | NTU | 82 | 201 | 82,7 | 101 | 121 | 162 | 116 | 178 | 95,3 | 110 | 160 | 157 | 82,5 | 109 | 94,3 | 178 | 169 | 123 | 188 | 144 | 194 | 202 | 121 | 148 | 133 | 137 | 164 | 141 | 104 | 253 | 209 | 143,8 |
| OUT STAP MB | | 10,6 | 16 | 18,9 | 12 | 14,4 | 14,4 | 13,2 | 10,7 | 10,7 | 10,3 | 12,4 | 11,1 | 15,1 | 10,2 | 13,3 | 12,9 | 15 | 16 | 16 | 10,6 | 12,2 | 9,1 | 10 | 8,1 | 8,1 | 11,9 | 11,2 | 10,6 | 13,6 | 6,4 | 6,6 | 11,98 |

Figura 35. Resultados laboratorio TURBIEDAD MB NITROGENO

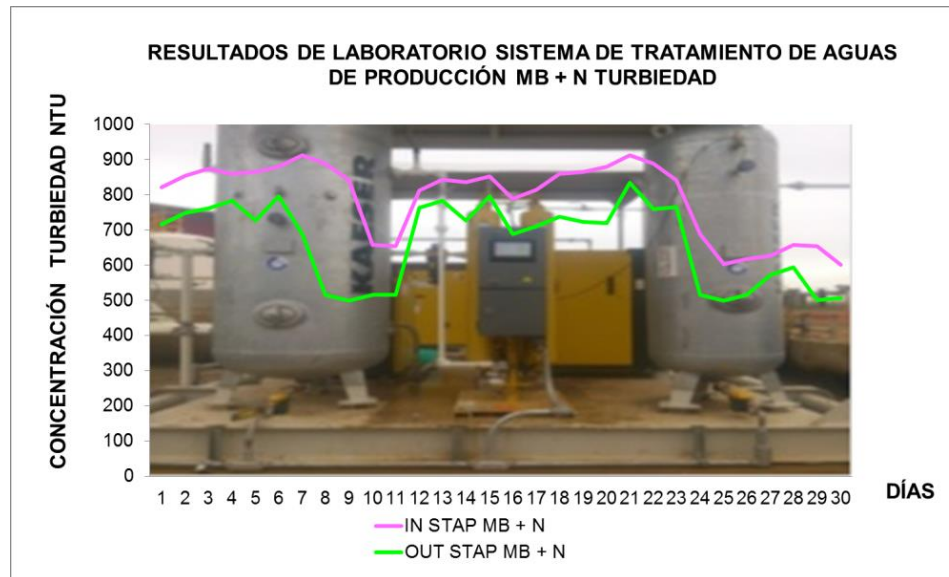


Tabla 23. Resultados de laboratorio de CONDUCTIVIDAD MB NITROGENO

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO CONDUCTIVIDAD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| PUNTO DE MUESTREO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | PROMEDIO |
| IN STAP MB + N | 725 | 724 | 751 | 710 | 845 | 812 | 733 | 756 | 746 | 755 | 758 | 712 | 775 | 752 | 625 | 742 | 715 | 710 | 801 | 712 | 703 | 755 | 764 | 654 | 630 | 625 | 590 | 613 | 659 | 827 | 522,2 |
| OUT STAP MB + N | 642 | 613 | 685 | 689 | 715 | 701 | 640 | 710 | 696 | 645 | 684 | 681 | 738 | 734 | 524 | 713 | 700 | 689 | 715 | 694 | 620 | 705 | 712 | 512 | 499 | 365 | 310 | 345 | 545 | 698 | 442,3 |

Figura 36. Resultados laboratorio CONDUCTIVIDAD MB NITROGENO

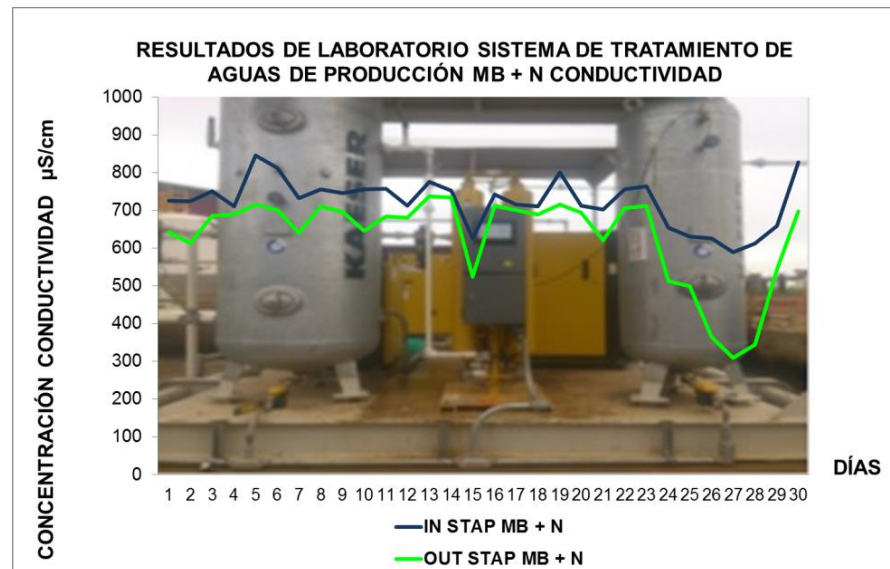
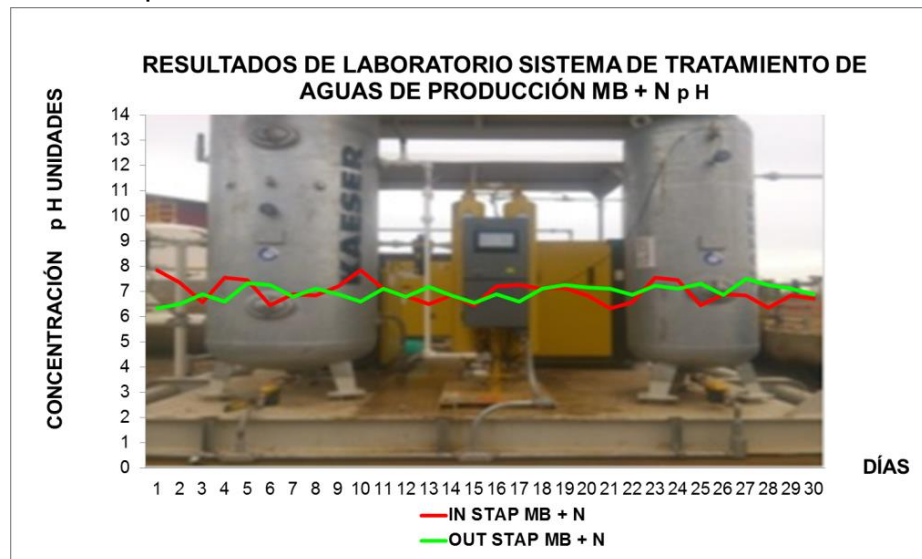


Tabla 24. Resultados de laboratorio de pH MB NITRÓGENO

| RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO pH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| PUNTO DE MUESTREO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | PROMEDIO |
| IN STAP MB + N | 7,84 | 7,35 | 6,58 | 7,56 | 7,45 | 6,45 | 6,89 | 6,84 | 7,2 | 7,85 | 7,12 | 6,83 | 6,5 | 6,85 | 6,45 | 7,2 | 7,25 | 7,12 | 7,14 | 6,84 | 6,32 | 6,58 | 7,56 | 7,45 | 6,45 | 6,89 | 6,84 | 6,35 | 6,85 | 6,73 | 7,0 |
| OUT STAP MB + N | 6,32 | 6,5 | 6,89 | 6,59 | 7,32 | 7,26 | 6,8 | 7,12 | 6,89 | 6,59 | 7,12 | 6,8 | 7,18 | 6,84 | 6,55 | 6,89 | 6,59 | 7,12 | 7,26 | 7,15 | 7,1 | 6,88 | 7,23 | 7,1 | 7,3 | 6,88 | 7,5 | 7,25 | 7,1 | 6,9 | 7,0 |

Figura 37. Resultados laboratorio pH MB NITRÓGENO



6.2.1 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja aire para retirar sólidos suspendidos, grasas y aceites ¹⁴

Figura 38. Eficiencia del sistema para retirar SST

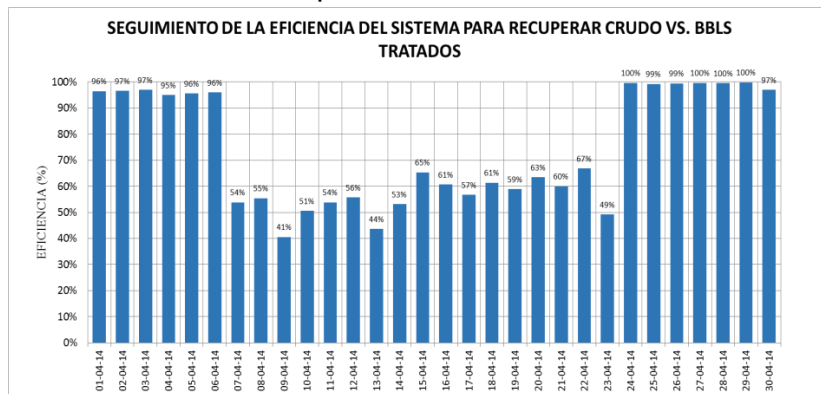
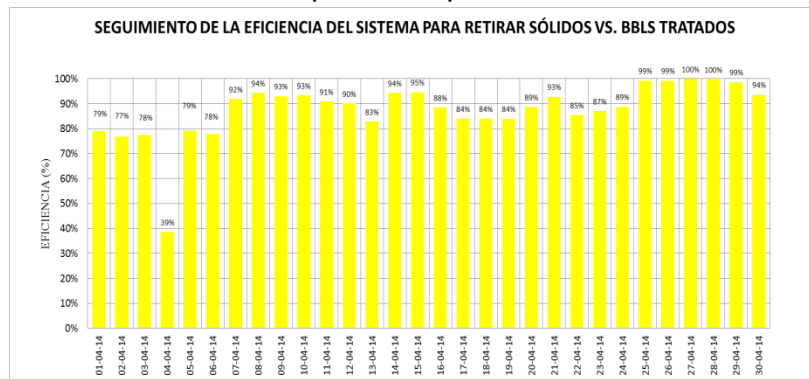


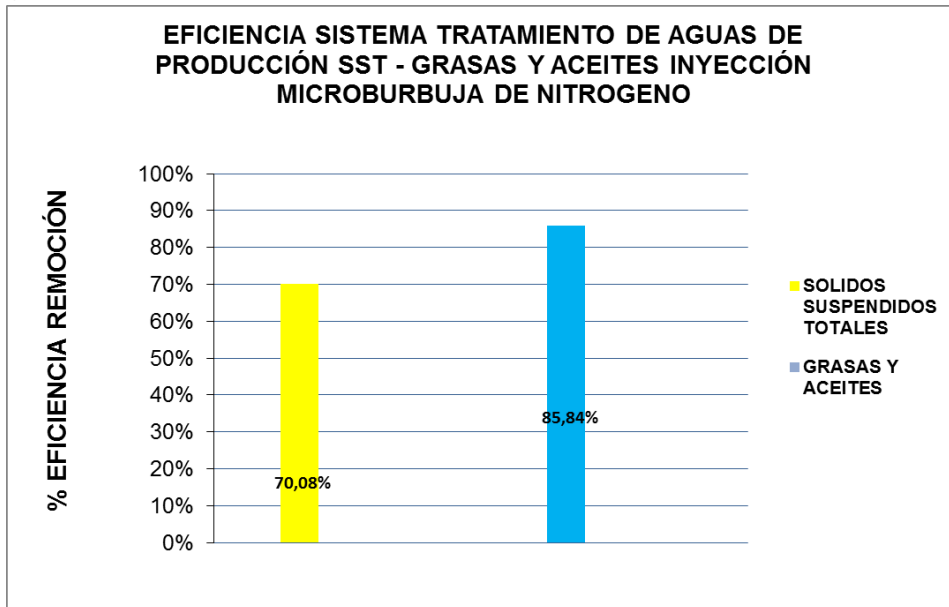
Figura 39. Eficiencia del sistema para recuperar GRASAS Y ACEITES



¹⁴ GALQUI Resultados de laboratorio de sistema de tratamiento de aguas de producción Bloque Cubiro –Petirrojo - 2014.

6.2.2 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de producción - inyección de microburbuja nitrógeno remoción sólidos suspendidos, grasas y aceites¹⁵

Figura 40. Gráfica de porcentaje de remoción del STAP en sólidos suspendidos totales, grasas y aceites; con inyección de microburbuja de aire.



¹⁵ GALQUI Resultados de laboratorio de sistema de tratamiento de aguas de producción Bloque Cubiro – Petirrojo - 2014.

6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EFICIENCIA SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN SÓLIDOS SUSPENDIDOS – GRASAS Y ACEITES

Figura 41. Comparación de remoción STAP en sólidos suspendidos totales, mediante inyección de microburbuja aire y microburbuja nitrógeno.

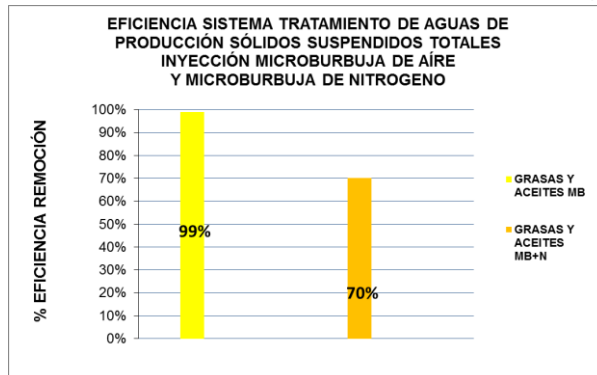
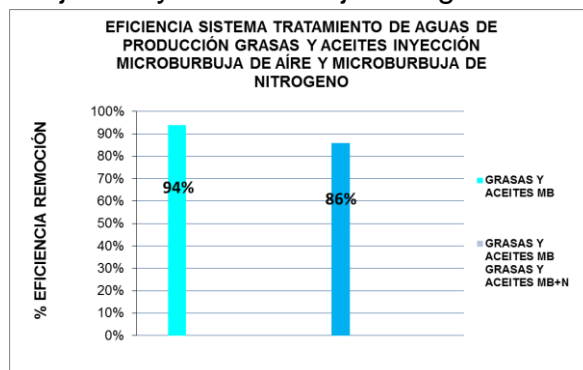


Figura 42. Comparación de remoción STAP en grasas y aceites, mediante inyección de microburbuja aire y microburbuja nitrógeno.



6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN POR INYECCIÓN DE MICROBURBUJA AÍRE E INYECCIÓN DE MICROBURBUJA NITROGENO

El sistema de tratamiento de aguas de producción: inyección de microburbuja aire, se realizan mediciones en diferentes periodos de tiempo los cuales varían las concentraciones del agua. El sistema de tratamiento de aguas de producción que trabaja inyección microburbuja **aire**, presenta una eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales de 99%. La remoción de las grasas y aceites la remoción de 94%.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales a la entrada del sistema es de 373 ppm, la salida del sistema es de 3.4 ppm. Siendo este muy eficiente. Las concentraciones de grasas y aceites a la entrada del sistema 98 ppm, la salida del sistema es de 6.1 ppm, estos son valores promedio del mes de julio de 2016. Esta información corresponde al sistema de tratamiento de aguas de producción mediante inyección microburbuja de **aire**.

El sistema de tratamiento de aguas de producción, inyección de microburbuja **nitrógeno**, se realiza mediciones para verificar los escenarios de funcionamiento del sistema de tratamiento en diferentes periodos de tiempo, las concentraciones del agua pueden variar de acuerdo a la operación, la planta presenta una eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales de 70%. La remoción de las grasas y aceites es una remoción de 85%.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales a la entrada del sistema es de 491 ppm, la salida del sistema es de 147 ppm. Las concentraciones de grasas y aceites a la entrada del sistema 594 ppm, la salida del sistema es de 84 ppm, incumpliendo los requerimientos de la compañía, estos son valores promedio del mes de abril de 2014. Esta información corresponde al sistema de tratamiento de aguas de producción mediante inyección microburbuja de **nitrógeno**.

7. ANÁLISIS ECONOMICO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN, INYECCIÓN MICROBURBUJA AÍRE E INYECCIÓN MICROBURBUJA NITRÓGENO

Tabla 25. Costos operativos STAP microburbuja aire.

| COSTOS OPERATIVOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN BLOQUE CUBIRO MICROBURBUJA INYECCIÓN AÍRE | |
|---|-------------------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO |
| SISTEMA DE BOMBEO NEUMATICO | \$ 188.750.000 |
| UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA | \$ 785.975.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO FILTRACIÓN | \$ 248.250.000 |
| FILTROS | \$ 550.250.000 |
| TANQUE DE AGUA FILTRADA / TANQUE DE PORTENCIA / TANQUE DE ACEITES | \$ 273.750.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO MICROBURBUJA | \$ 303.750.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO DE CRUDO RECUPERADO | \$ 97.250.000 |
| TANQUE DECANTADOR | \$ 143.750.000 |
| TANQUE DE LODOS | \$ 11.600.000 |
| TABLERO ELÉCTRICO COM-PLC-PV | \$ 503.500.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO QUÍMICOS | \$ 51.750.000 |
| INTERCONEXIÓN Y PRUEBAS ELECTRICAS E INSTRUMENTACIÓN | \$ 375.000.000 |
| INTERCONEXIÓN Y PRUEBAS DE TUBERIA | \$ 412.500.000 |
| COMPRESORES | \$ 124.750.000 |
| INSTRUMENTACIÓN ADICIONAL | \$ 18.500.000 |
| INGENIERIA | \$ 170.000.000 |
| COSTO TOTAL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN MICROBURBUJA AÍRE | \$ 4.259.325.000 |

Tabla 26. Costos operativos STAP microburbuja nitrógeno

| COSTOS OPERATIVOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN BLOQUE CUBIRO MICROBURBUJA INYECCIÓN NITROGENO | |
|--|-------------------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO |
| SISTEMA DE BOMBEO NEUMATICO | \$ 188.750.000 |
| UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA | \$ 785.975.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO FILTRACIÓN | \$ 248.250.000 |
| FILTROS | \$ 550.250.000 |
| TANQUE DE AGUA FILTRADA / TANQUE DE PORTENCIA / TANQUE DE ACEITES | \$ 273.750.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO MICROBURBUJA | \$ 303.750.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO DE CRUDO RECUPERADO | \$ 97.250.000 |
| TANQUE DECANTADOR | \$ 143.750.000 |
| TANQUE DE LODOS | \$ 11.600.000 |
| UNIDAD GENERADOR DE NITROGENO | \$ 499.000.000 |
| TABLERO ELÉCTRICO COM-PLC-PV | \$ 503.500.000 |
| SISTEMA DE BOMBEO QUÍMICOS | \$ 51.750.000 |
| INTERCONEXIÓN Y PRUEBAS ELECTRICAS E INSTRUMENTACIÓN | \$ 375.000.000 |
| INTERCONEXIÓN Y PRUEBAS DE TUBERIA | \$ 412.500.000 |
| COMPRESORES | \$ 124.750.000 |
| INSTRUMENTACIÓN ADICIONAL | \$ 18.500.000 |
| INGENIERIA | \$ 170.000.000 |
| SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN MICROBURBUJA NITROGENO | \$ 4.758.325.000 |

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO COSTO - BENEFICIO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN INYECCIÓN MICROBURBUJA AÍRE, INYECCIÓN MICROBURBUJA NITRÓGENO

De acuerdo con la información suministrada por GALQUI, las condiciones operativas del sistema de tratamiento de aguas de producción por inyección de microburbuja de aire, éste se encuentra funcionando al 100%, por lo que paradas técnicas en tiempo, no son necesarias al contar con equipos auxiliares de back up, que permiten mantenimientos preventivos o procesos de limpieza.

Los costos del sistema de tratamiento de aguas de producción con inyección de microburbuja de aire de 30000 BWPD de capacidad, es de COP \$ 4.259.325.000. Estos valores incluyen materiales, equipos, mano de obra, montaje y transporte.

Los costos del sistema de tratamiento de a de producción con inyección de microburbuja de nitrógeno de 30000 BWPD de capacidad, es de COP \$ 4.758.325.000. Estos valores incluyen materiales, equipos que incluyen unidad de generación de nitrógeno, mano de obra, montaje y transporte.

La diferencia en precio es de COP \$500.000.000 aproximadamente, este valor estimado en porcentaje es de 10.5%, por encima del valor del sistema de inyección por microburbuja de aire.

8. CONCLUSIONES

- El sistema de tratamiento de aguas de producción que trabaja inyección de microburbuja con **aíre**, presenta una eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales de 99%. La remoción de las grasas y aceites es de 94%. Indicando que está por encima de los niveles exigidos por la normatividad colombiana, Decreto 1594/84 del **MINISTERIO DE AGRICULTURA** que en el Artículo 72, establece que los niveles de remoción de estos dos parámetros para la disposición de agua residual industrial debe ser mayor o igual al 80%.
- El sistema de tratamiento de aguas de producción que trabaja inyección de microburbuja con **nitrógeno**, presenta una eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales del 70%. La remoción de las grasas y aceites, se encuentra por debajo de los límites exigidos por la normatividad Colombiana, Decreto 1594/84 **MINISTERIO DE AGRICULTURA**, artículo 72, de acuerdo a este resultado se encuentra incumpliendo el presente decreto en un porcentaje del 10%.
- Se evidencia que el sistema de tratamiento de aguas de producción con inyección de microburbuja con **aíre**, con los parámetros 3.4ppm de TSS y 6.1ppm de O/W, se mantuvieron bajos respecto a los valores promedio, comparados con los parámetros del sistema de tratamiento de aguas de producción con inyección de microburbuja con **nitrógeno** evidenciado mayor eficiencia. Dando cumplimiento de las especificaciones iniciales requeridas por la compañía: 5ppm de TSS, para el caso de las O/W, se deben hacer ajustes para dar los resultados de concentración que solicita el cliente.
- El seguimiento a los parámetros del efluente para el sistema de inyección de microburbuja **nitrógeno**, se evidencia que concentraciones de 147ppm de TSS y 84.1ppm de O/W a la salida del sistema, se encuentra por fuera de las especificaciones iniciales requeridas por la compañía: 5 ppm de TSS y 3 ppm de O/W.
- Los niveles que deben removerse por el sistema de microburbuja de **nitrógeno**, son bajos considerando el tipo de tecnología, por lo tanto es

necesario evaluar las condiciones de operación para lograr un buen rendimiento del sistema, sin embargo se evidencia que los parámetros del afluente tiene concentraciones de 491ppm de TSS y 594ppm de O/W, estas concentraciones comparadas con la carga que ingresa al sistema de microburbuja con **aire** que es de 373ppm de TSS y 98ppm de O/W puede en el caso de las grasas y aceites quintuplicar los valores, este puede ser un factor determinante en la eficiencia del sistema con microburbuja de **nitrógeno**.

- De acuerdo con el análisis económico y los costos asociados al sistema de tratamiento de aguas de producción con inyección de microburbuja con **nitrógeno**, el precio puede aumentar en \$ 500.000.000 COP, por lo que el sistema de tratamiento con microburbuja de **aire**, es una alternativa económicamente interesante, revelando mayor eficiencia y menor costo.

9. RECOMENDACIONES

El sistema de tratamiento de aguas de producción con inyección de microburbuja con nitrógeno, no presentó la eficiencia esperada, sin embargo se deben hacer pruebas en combinación con el sistema existente, para determinar qué condiciones técnicas operativas están afectando la eficiencia del sistema y contemplar que los equipos que conforman el proceso estén operativos al 100%.

La comparación de los dos sistemas evaluados en la presente monografía, está basada en un mes de mediciones, las cuales por ahora respaldan y cumplen una comparación sobre ésta condición, pero es conveniente tener periodos más amplios de comparación, sean trimestrales y semestrales, para lograr una evaluación más amplia del funcionamiento de los sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF TEST METHODS. Standar Test Methods for Test Dissolved in Water ASTM 2012.

CORPORINOQUIA, CORPOBOYACA 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pauto – capitulo 3 Climatología.

FORERO JE; DIAZ J; BLANDON V.R: Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. Ecopetrol – Instituto Nacional del Petróleo 1999.

GALQUI Manual de operación de planta de tratamiento de aguas de producción Bloque Cubiro – Pozo Copa 1 – 2014.

GALQUI Manual de operación y plan de mantenimiento sistema de tratamiento de agua de producción de 30000 BWPD Bloque Cubiro – Pozo Petirrojo.

GOOGLE EARTH, 2016 Ubicación bloque Cubiro.

INDUTRA. [En línea]. [citado el 07 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.indutra.com/turbinas_det.php>

MANCILLA, R. Metodología para el manejo de aguas de producción en un campo petrolero. Bucaramanga 2012. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleo). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

LEON, Y. Filosofía de control para la ampliación de tratamiento de agua industrial de producción para el campo Cravo Viejo – Estación Bastidas. Colombia, Oct. 2014. Pág. 5.

Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, Ed 22 th. , 2014.