|  |
| --- |
| **INFORME DE MONITOREO**  **CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE**  **AGUA SUPERFICIAL** |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Presentado a:** | **Revisado por:** | **Autorizado por:** | |
| **INFORME NÚMERO:** |
| **Confiabilidad, Compromiso y Calidad.**  Fecha de monitoreo:  Fecha de emisión de informe: |

**TABLA DE CONTENIDO**

[1. OBJETIVOS 1](#_Toc184129537)

[1.1. OBJETIVO GENERAL 1](#_Toc184129538)

[1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1](#_Toc184129539)

[2. DESCRIPCIÓN MÉTODOLÓGICA 2](#_Toc184129540)

[2.1. MARCO NORMATIVO 2](#_Toc184129541)

[2.2. DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD 3](#_Toc184129542)

[2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO 4](#_Toc184129543)

[2.4. MÉTODOLOGÍA DE MONITOREO FISICOQUÍMICO 8](#_Toc184129544)

[2.4.1. Métodología de muestreo simple 8](#_Toc184129545)

[2.4.2. Aforo de caudal de un cuerpo de agua superficial implementando un flujómetro 8](#_Toc184129546)

[2.4.3. Preservación y transporte de muestras 10](#_Toc184129547)

[2.4.4. Métodología de medición y análisis de variables. 10](#_Toc184129548)

[3. RESULTADOS Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS 13](#_Toc184129549)

[3.1. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES IN SITU 13](#_Toc184129550)

[3.2. RESULTADOS DE LABORATORIO 15](#_Toc184129551)

[3.3. ANÁLISIS DE MEDICIONES IN SITU 19](#_Toc184129552)

[3.3.1. Caudal 19](#_Toc184129553)

[3.3.2. Conductividad 22](#_Toc184129554)

[3.3.3. Oxígeno Disuelto 24](#_Toc184129555)

[3.3.4. pH 25](#_Toc184129556)

[3.3.5. Temperatura 26](#_Toc184129557)

[3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO 28](#_Toc184129558)

[3.4.1. Metales Totales 28](#_Toc184129559)

[3.4.2. Cloruros y Sulfatos 33](#_Toc184129560)

[3.4.3. Color Verdadero 35](#_Toc184129561)

[3.4.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) 36](#_Toc184129562)

[3.4.5. Fenoles 37](#_Toc184129563)

[3.4.6. Grasas y aceites 38](#_Toc184129564)

[3.4.7. Hidrocarburos 39](#_Toc184129565)

[3.4.8. Nitratos y Nitritos 40](#_Toc184129566)

[3.4.9. Turbidez y Sólidos Totales 42](#_Toc184129567)

[3.4.10. Surfactantes: Aniónicos como SAAM 45](#_Toc184129568)

[4. CONCLUSIONES 47](#_Toc184129569)

[5. BIBLIOGRAFÍA 56](#_Toc184129570)

[6. ACLARACIONES 59](#_Toc184129571)

[7. CONTROL DE MODIFICACIONES 60](#_Toc184129572)

[8. ANEXOS 61](#_Toc184129573)

[**ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO**](#A1)

[**ANEXO 2. REPORTE DE RESULTADOS**](#A2)

[**ANEXO 3. RESOLUCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO**](#A3)

[**ANEXO 4. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN**](#A4)

[**ANEXO 5. DOCUMENTOS DE CAMPO**](#A5)

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

[**Gráfica 1.** Perfil NACEDERO EL ACEITE 19](#_Toc184129574)

[**Gráfica 2.** Perfil NACEDERO TROPEZÓN 19](#_Toc184129575)

[**Gráfica 3.** Perfil QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF 20](#_Toc184129576)

[**Gráfica 4.** Perfil QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA 20](#_Toc184129577)

[**Gráfica 5.** Comportamiento de la precipitación en la fecha de monitoreo en el municipio de Tauramena, Casanare. 21](#_Toc184129578)

[**Gráfica 6.** Comportamiento del Caudal 22](#_Toc184129579)

[**Gráfica 7.** Comportamiento de la Conductividad 23](#_Toc184129580)

[**Gráfica 8.** Comportamiento del Oxígeno Disuelto 25](#_Toc184129581)

[**Gráfica 9.** Comportamiento de pH. 26](#_Toc184129582)

[**Gráfica 10.** Comportamiento de la Temperatura 27](#_Toc184129583)

[**Gráfica 11.** Comportamiento del Bario Total 29](#_Toc184129584)

[**Gráfica 12.** Comportamiento del Cadmio Total 29](#_Toc184129585)

[**Gráfica 13.** Comportamiento del Cobre Total 30](#_Toc184129586)

[**Gráfica 14.** Comportamiento del Mercurio Total 30](#_Toc184129587)

[**Gráfica 15.** Comportamiento de la Plata Total 31](#_Toc184129588)

[**Gráfica 16.** Comportamiento del Plomo Total 31](#_Toc184129589)

[**Gráfica 17.** Comportamiento del Selenio Total 32](#_Toc184129590)

[**Gráfica 18.** Comportamiento del Zinc Total 32](#_Toc184129591)

[**Gráfica 19.** Comportamiento de Cloruros 34](#_Toc184129592)

[**Gráfica 20.** Comportamiento de Sulfatos 35](#_Toc184129593)

[**Gráfica 21.** Comportamiento de Nitratos 42](#_Toc184129594)

[**Gráfica 22.** Comportamiento de Nitritos 42](#_Toc184129595)

[**Gráfica 23.** Comportamiento de Turbidez 44](#_Toc184129596)

[**Gráfica 24.** Comportamiento de Surfactantes: Aniónicos como SAAM 46](#_Toc184129597)

**ÍNDICE DE TABLAS**

[**Tabla 1.** Puntos de monitoreo. Aguas superficiales 5](#_Toc184129598)

[**Tabla 2.** Preservación de muestras 10](#_Toc184129599)

[**Tabla 3.** Métodología de medición y análisis de variables. 11](#_Toc184129600)

[**Tabla 4.** Resultados In Situ. 13](#_Toc184129601)

[**Tabla 5.** Resultados de laboratorio. 15](#_Toc184129602)

[**Tabla 6.** Mineralización según reporte de Conductividad 22](#_Toc184129603)

[**Tabla 7.** Índice de aceptación para Oxígeno Disuelto 24](#_Toc184129604)

[**Tabla 8.** Colores reflejados y visibles por el ojo humano de acuerdo con la longitud de onda absorbida. 36](#_Toc184129605)

[**Tabla 9.** Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) 37](#_Toc184129606)

**ÍNDICE DE FIGURAS**

[**Figura 1.** Evaluación de conformidad para rangos normativos. 3](#_Toc184129607)

[**Figura 2.** Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo de agua superficial Ocensa CPF Cusiana – Campo Cusiana 7](#_Toc184129608)

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Determinar las características fisicoquímicas del agua superficial en cuatro (4) puntos de muestreo ubicados en el área de influencia de Ocensa CPF Cusiana – Campo Cusiana de Ecopetrol S.A., en el municipio de Tauramena, departamento de Casanare.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

* Realizar el análisis fisicoquímico del agua superficial de los cuatro (4) puntos de monitoreo ubicados en el área de influencia de Ocensa CPF Cusiana – Campo Cusiana de Ecopetrol S.A., por medio de las mediciones in situ y los resultados de laboratorio, obtenidos en la caracterización para aguas superficiales.
* Presentar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola), 2.2.3.3.9.6. (Criterios de calidad para uso pecuario) y 2.2.3.3.9.10 (Criterios de calidad para preservación de flora y fauna).

# DESCRIPCIÓN MÉTODOLÓGICA

## MARCO NORMATIVO

Para la realización del siguiente estudio, se tiene en cuenta la siguiente normatividad:

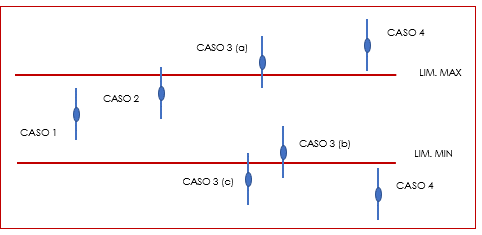
**Decreto 1076 de 2015 (MADS).** Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

* **Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional.
* **Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere sólo desinfección.
* **Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.
* **Artículo 2.2.3.3.9.6. Criterios de calidad para uso pecuario.** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario.
* **Artículo 2.2.3.3.9.10. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna.** Los criterios de calidad admisibles para la preservación de flora y fauna.

## DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

A continuación, se describe el procedimiento para aplicar la regla de decisión en la declaración de la conformidad del presente informe técnico, acorde a los lineamientos NTC ISO/IEC 17025/2017.

**Figura 1.** Evaluación de conformidad para rangos normativos.



**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2024)

**CASO 1.** Cuando el resultado obtenido más o menos la incertidumbre de la medición no sobrepasa el límite o se encuentra dentro de rango especificado de la norma, el laboratorio realiza la declaración de conformidad para el analito en cuestión en el respectivo informe técnico.

**CASO 2.** Cuando el resultado obtenido más la incertidumbre de la medición supera el límite especificado en la norma, NO es posible realizar la declaración de conformidad, por lo tanto, ChemiLab S.A.S. debe incluir en el informe técnico una declaración indicando que “No es posible establecer el cumplimiento del analito utilizando la estimación de incertidumbre a un 95% de probabilidad de cobertura, aunque el resultado de la medición se encuentra dentro del rango de límites o límite permisible.

**CASO 3.** Cuando el resultado obtenido menos la incertidumbre de la medición es inferior o está fuera de rango especificado en la norma, NO es posible realizar la declaración de conformidad, por lo tanto, ChemiLab S.A.S. debe incluir en el informe técnico una declaración indicando que:

1. “No es posible establecer el cumplimiento del analito utilizando la estimación de incertidumbre a un 95% de probabilidad de cobertura, aunque el resultado de la medición menos la incertidumbre se encuentre por debajo del límite máximo permisible”.
2. “No es posible establecer el cumplimiento del analito utilizando la estimación de incertidumbre a un 95% de probabilidad de cobertura, aunque el resultado de la medición se encuentre dentro del rango permisible”.
3. “No es posible establecer el cumplimiento del analito utilizando la estimación de incertidumbre a un 95% de probabilidad de cobertura, aunque el resultado de la medición más la incertidumbre se encuentre dentro del rango permisible”.

**CASO 4.** Cuando el resultado obtenido más o menos la incertidumbre de la medición sobrepasa el límite o se encuentra fuera de rango especificado en la norma, el laboratorio declara no conformidad para el analito en cuestión en el respectivo informe técnico.

## DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

El muestreo se realiza en el lugar previamente determinado por Ecopetrol S.A., en este caso se realizó el monitoreo en cuatro (4) puntos localizados en el área de influencia de Ocensa CPF Cusiana – Campo Cusiana de Ecopetrol S.A. La caracterización se llevó a cabo el día **18 de octubre de 2024.**

En la **Tabla 1**, se presentan las coordenadas Magna Sirgas origen único nacional de cada punto monitoreado, el código asignado en laboratorio a la muestra, fecha y hora de muestreo, y registro fotográfico. En la **Figura 2** se representan geográficamente los puntos muestreados.

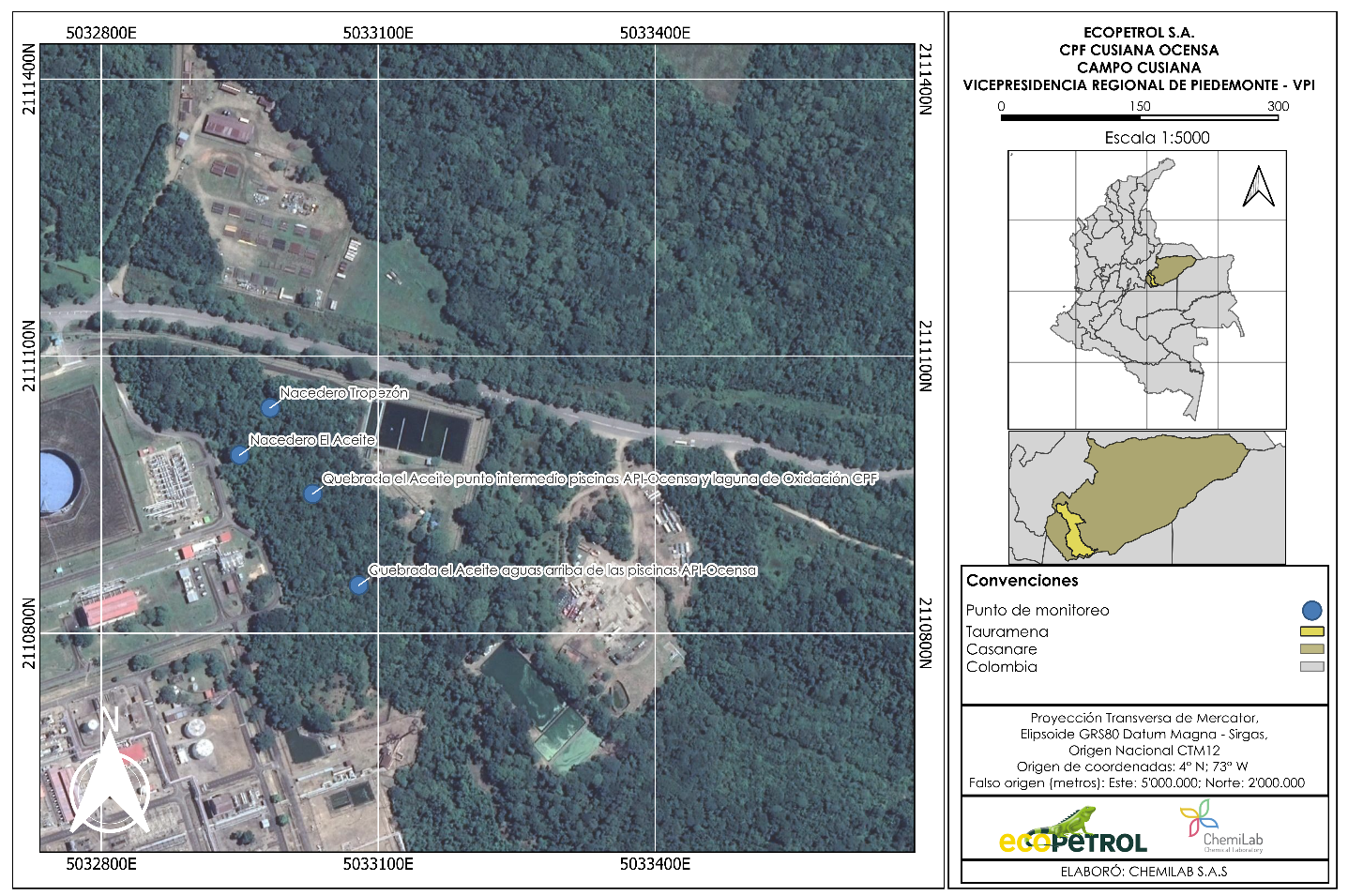
**Tabla 1.** Puntos de monitoreo. Aguas superficiales

| **NO. MUESTRA** | **FECHA DE MONITOREO** | **HORA TOMA DE MUESTRA** | **NOMBRE DEL PUNTO** | **COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL** | | **FOTOGRAFÍA** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Este** | **Norte** |
| **PLAN DE MUESTREO: 17662** | | | | | | |
| MN477577 | 2024-10-18 | 8:40 | **NACEDERO EL ACEITE** | 5032950 | 2110993 |  |
| **Descripción del punto:** El punto de monitoreo está ubicado aproximadamente a 60 metros de la vía de acceso interna de OCENSA y a unos 20 metros del puente vehicular. Presenta márgenes irregulares de tipo rocoso y vegetativo en ambos costados, con un lecho rocoso-arenoso, mayormente rocoso, y presencia de gravas finas. Se identifica vegetación circundante de tipo arbórea, herbácea y arbustiva abundante, lo que reduce la incidencia de luz solar. La muestra se apreció con una tonalidad traslúcida, sin olores característicos ni iridiscencia visible. Se evidencia material flotante.  **Condiciones ambientales:** Día Soleado - Temperatura ambiente 29,8 °C - Humedad relativa 65,0%. - Altitud: 464 m.s.n.m. | | | | | | |
| **NO. MUESTRA** | **FECHA DE MONITOREO** | **HORA TOMA DE MUESTRA** | **NOMBRE DEL PUNTO** | **COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL** | | **FOTOGRAFÍA** |
| **Este** | **Norte** |
| **PLAN DE MUESTREO: 17662** | | | | | | |
| MN477578 | 2024-10-18 | 9:49 | **NACEDERO TROPEZÓN** | 5032983 | 2111044 |  |
| **Descripción del punto:** El punto de monitoreo está ubicado aproximadamente a 100 metros de la portería principal de OCENSA en dirección norte y a 70 metros de la vía de acceso. Presenta márgenes irregulares de tipo arenoso y vegetativo en ambos costados, con un lecho de granulometría arenosa. Se evidencian peces de menor tamaño y sedimentos de color naranja. Se identifica vegetación circundante de tipo herbácea, arbustiva y arbórea abundante, lo cual brinda un alto porcentaje de sombra al punto. La muestra se apreció con una tonalidad traslúcida, sin olores característicos ni iridiscencia visible.  **Condiciones ambientales:** Día Soleado - Temperatura ambiente 30,2 °C - Humedad relativa 65,0%. - Altitud: 463 m.s.n.m. | | | | | | |

| **NO. MUESTRA** | **FECHA DE MONITOREO** | **HORA TOMA DE MUESTRA** | **NOMBRE DEL PUNTO** | **COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL** | | **FOTOGRAFÍA** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Este** | **Norte** |
| **PLAN DE MUESTREO: 17662** | | | | | | |
| MN477579 | 2024-10-18 | 10:59 | **QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF** | 5033029 | 2110951 |  |
| **Descripción del punto:** El punto de monitoreo está ubicado aproximadamente a 80 metros de las piscinas API y a 40 metros de la vía de acceso. Presenta márgenes irregulares de tipo rocoso y vegetativo en ambos costados, con un lecho rocoso-arenoso. Se identifica vegetación circundante tipo bosque de galería, compuesta por árboles de gran dosel, arbustos y herbáceas, los cuales brindan un alto porcentaje de sombra al punto. La muestra se apreció con una tonalidad traslúcida, sin olores característicos ni iridiscencia visible.  **Condiciones ambientales:** Día Soleado - Temperatura ambiente 31,2 °C - Humedad relativa 65,0%. - Altitud: 462 m.s.n.m. | | | | | | |
| **NO. MUESTRA** | **FECHA DE MONITOREO** | **HORA TOMA DE MUESTRA** | **NOMBRE DEL PUNTO** | **COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL** | | **FOTOGRAFÍA** |
| **Este** | **Norte** |
| **PLAN DE MUESTREO: 17662** | | | | | | |
| MN477580 | 2024-10-18 | 12:10 | **QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA** | 5033079 | 2110852 |  |
| **Descripción del punto:** El punto de monitoreo está ubicado aproximadamente a 12 metros de la malla perimetral y del puente peatonal de OCENSA. Presenta márgenes irregulares de tipo arenoso y vegetativo en ambos costados. Cuenta con un lecho de granulometría arenosa. Se evidencian peces de menor tamaño y sedimentos de color naranja. Se identifica vegetación circundante de tipo herbácea, arbustiva y arbórea abundante, compuesta por arbustos y árboles de gran dosel, los cuales brindan sombra parcial sobre el punto de monitoreo. La muestra se apreció con una tonalidad traslúcida, sin olores característicos ni iridiscencia visible.  **Condiciones ambientales:** Día Soleado - Temperatura ambiente 32,0 °C - Humedad relativa 65,0%. - Altitud: 460 m.s.n.m. | | | | | | |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2024)

**Figura 2.** Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo de agua superficial Ocensa CPF Cusiana – Campo Cusiana



**Fuente:** ChemiLab S.A.S (2024).

## MÉTODOLOGÍA DE MONITOREO FISICOQUÍMICO

En el estudio de calidad fisicoquímica de agua superficial efectuada en los puntos de monitoreo establecidos en el área de influencia de Ocensa CPF Cusiana, Campo Cusiana - de Ecopetrol S.A., se tomaron las muestras a través de la recolección directa a una hora determinada, reflejando así las características físicas y químicas instantáneas de los cuerpos de agua; para esto se siguió el Procedimiento de Toma de Muestras de Aguas establecido en el Laboratorio ChemiLab (PGC 04 004), el cual se encuentra acreditado según Resolución 1042 de 26 de septiembre de 2024 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por la cual se dictan unas disposiciones con respecto a la vigencia de la acreditación para los laboratorios ambientales.

### Métodología de muestreo simple

La toma de muestras se realizó de manera puntual, con mediciones *In situ* de caudal, pH,temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. Se efectuó la verificación de los equipos de campo, los cuales hacen parte del listado maestro de equipos de laboratorio y cuentan con un programa de mantenimiento y calibración (FOR 04 103) según lo establece la Norma NTC-ISO/IEC 17025:2017.

Para realizar el muestreo puntual se determinó el volumen necesario para la muestra. La muestra se tomó directamente de la fuente en un balde teniendo en cuenta el volumen establecido. Con agitación se van tomando en los frascos rotulados las alícuotas para los diferentes análisis. Las muestras para aceites y grasas e hidrocarburos se toman directamente de la fuente que se está muestreando.

### Aforo de caudal de un cuerpo de agua superficial implementando un flujómetro

La medición se realizó contando el número de revoluciones del rotor de un flujómetro durante un periodo de tiempo por lo general entre 30 a 50 segundos, las revoluciones se registran en un contador, el cual por cada giro recibe un impulso eléctrico. Se deben seleccionar el número de verticales apropiado ya que la precisión de las mediciones de caudal depende en gran parte del número de verticales en que se hagan mediciones de profundidad y velocidad. Para realizar la medición del ancho se utilizó una cinta métrica que se tendió provisionalmente a través del sitio de muestreo. Es importante medir la profundidad del sitio por lo cual se puede usar también la cinta métrica o el medidor de flujómetro. La velocidad se determina en uno o más puntos de la vertical.

* Determinación de la velocidad media en la vertical: Las observaciones de velocidad se hicieron en cada vertical colocando el flujómetro al 60% de la profundidad total por debajo de la superficie en profundidades inferiores a un (1) metro, para profundidades mayores a un (1) metro se toma velocidad al 20% y al 80% de la profundidad total, donde el promedio de los dos valores puede considerarse como velocidad media en la vertical.
* Determinación de la velocidad media de la selección: Se tomó el valor de la velocidad de dos verticales adyacentes, obtenida por alguno de los métodos mencionados y se promedian. La ecuación que se uso es:
* Medida de la profundidad: Para la medida de la profundidad se tuvo en cuenta la distancia en metros que existe en cada una de las verticales de medición entre la superficie y el lecho de la corriente, siendo p1 y p2 las profundidades totales medidas en las verticales 1 y 2, respectivamente.
* Cálculo de caudal parcial (q): El producto de la profundidad media en la sección parcial multiplicado por el ancho parcial produce el área parcial entre verticales y este valor multiplicado por la velocidad media de la sección parcial define el caudal parcial, así
* Cálculo de caudal total: Del promedio de los caudales parciales se obtuvo el dato del caudal total y de la división de éste por el área total de la sección da como resultado la velocidad media (Del promedio de los anchos parciales se obtuvo el ancho total).

### Preservación y transporte de muestras

Se utilizan recipientes nuevos para trasladar las muestras al laboratorio, las cuales fueron preservadas de acuerdo con lo establecido en el “Formato de Preservación de Aguas para Análisis (FOR 04 106)” y cuya tabla se muestra a continuación **Tabla 2**.

Las muestras durante el transporte mantienen la cadena de frío requerida y en el ANEXO 5. DOCUMENTOS DE CAMPO, se establece la fecha de recepción de las muestras en el laboratorio para su respectivo análisis.

**Tabla 2.** Preservación de muestras

| **PARÁMETRO** | **PRESERVACIÓN** | **ENVASE** | **MIN CANTIDAD (mL)** |
| --- | --- | --- | --- |
| Cloruros | No requiere preservantes, ni refrigeración. | Plástico, Vidrio | 100 |
| Color verdadero | Refrigerar < 6 °C | Plástico, Vidrio | 500 |
| DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) | Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 1000 sin presencia de burbujas |
| Fenoles | H2SO4 pH < 2. Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 1000 |
| Grasas y Aceites | H2SO4 o HCl pH < 2. Refrigerar ≤ 6 °C | Vidrio boca ancha | 1000 |
| Hidrocarburos | H2SO4 o HCl pH < 2. Refrigerar ≤ 6°C | Vidrio boca ancha | 1000 |
| Metales totales | Acidular con HNO3 pH < 2. | Plástico, Vidrio | 1000 |
| Nitratos | Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 300 |
| Nitritos | Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 300 |
| Sólidos totales | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 200 |
| Sulfatos | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 200 |
| Surfactantes: Aniónicos como SAAM | Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 250 |
| Turbidez | Almacenar en la oscuridad (24 h) Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 200 |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

### Métodología de medición y análisis de variables.

Las determinaciones fisicoquímicas tanto en campo como en el laboratorio se efectuaron siguiendo estrictamente las Métodologías y técnicas aprobadas y estandarizadas por el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23rd Edition 2017, las Normas Técnicas Colombianas (NTC), las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), la Environmental Protection Agency – EPA y las Normas ISO - Organismo Internacional de Estandarización, tal como se muestra en la **Tabla 3.**

**Tabla 3.** Métodología de medición y análisis de variables.

| **Parámetro** | **Método** | **Técnica** | **Límite de Cuantificación del método** | **Unidad** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|
|
| Bario Total\* | SM 3030 E, SM 3111 D, Ed.23 2017 | Absorción Atómica- Llama Oxido Nitroso -Acetileno | 0,500 | mg Ba/L |
| Cadmio Total E\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,000250 | mg Cd/L |
| Caudal\* | Protocolo del monitoreo de agua y seguimiento del agua 2021 del IDEAM Numeral 8.1.2 | Área x Velocidad | N.A | L/s |
| Cloruros\* | SM 4500 Cl-B Ed.23 2017 | Volumetría | 9,90 | mg Cl-/L |
| Cobre Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Cu/L |
| Color verdadero\* | ISO 7887-2011 Método B | Espectrofotometría | N.A | a(436nm)m- 1 |
| Color verdadero\* | ISO 7887-2011 Método B | Espectrofotometría | N.A | a(525nm)m- 1 |
| Color verdadero\* | ISO 7887-2011 Método B | Espectrofotometría | N.A | a(620nm)m- 1 |
| Conductividad (In situ)\* | SM 2510B Ed.23 2017 | Electrometría | 14,9 | µS/cm |
| Cromo Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Cr/L |
| DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)\* | SM 5210 B Ed.23 2017, ASTM D 888 MÉTODO C 2018 | Fotometría | 2,00 | mg O2/L |
| Fenoles\* | SM 5530 B,D, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,100 | mg Fenol /L |
| Grasas y Aceites\* | NTC 3362, Método C, 2011 | Espectrofotometría | 0,200 | mg/L |
| Hidrocarburos \* | NTC 3362:2005, Métodos C, F | Espectrofotometría | 0,200 | mg/L |
| Mercurio Total\* | SM 3112 B Ed.23 2017 | Absorción Atómica - Vapor Frío | 0,00100 | mg Hg/L |
| Nitratos\* | SM 4500 NO3 D Ed.23 2017 | Electrometría | 1,00 | mg N-NO3/L |
| Nitritos\* | SM 4500 NO2- B, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,00608 | mg N-NO2/L |
| Oxígeno Disuelto (In situ)\* | ASTM D 888: 2018 | Fotometría | 0,100 | mg O2/L |
| pH (In situ)\* | SM 4500 H+B, Ed. 23 2017 | Electrometría | 1,679 | Unidades de pH |
| Plata Total\* | SM 3030 E, SM 3111 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Llama Aire Acetileno | 0,0500 | mg Ag/L |
| Plomo Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Pb/L |
| Selenio Total\* | EPA 7742 1994, SM 3114 C Ed. 23 2017 | Absorción Atómica- Generación de hidruros | 0,00250 | mg /L |
| Sólidos totales\* | SM 2540B, Ed.23 2017 | Gravimetría | 10,0 | mg/L |
| Sulfatos\* | SM 4500-SO4-2 E, Ed.23 2017 | Turbidimetría | 5,00 | mg SO4/L |
| Surfactantes Aniónicos como SAAM\* | SM 5540C, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,500 | mg SAAM /L... |
| Temperatura (In situ)\* | SM 2550B, Ed. 23 2017 | Termométrico | N.A | °C |
| Turbidez\* | SM 2130B Ed. 23 2017 | Nefelometría | 1,00 | NTU |
| Zinc Total\* | SM 3030 E, SM 3111 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Llama Aire Acetileno | 0,0500 | mg Zn/L |

\*ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante la Resolución 1042 de 2024 del IDEAM.

**N.A:** no aplica

**Parámetros:** Surfactantes: Aniónicos como SAAM (DEF)\*(Aguas)

**Unidad:** mg SAAM /L como LAS de peso molecular 288.38 g/mol

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

# RESULTADOS Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

## RESULTADOS DE LAS MEDICIONES IN SITU

En la **Tabla 4** se presentan los resultados obtenidos de los parámetros *in situ* en los puntos de monitoreo, con el respectivo análisis e identificación de los límites o rangos permisibles con la norma de referencia, correspondiente al Decreto 1076 de 2015 (MADS), vinculado al Decreto 1594 de 1984.

**Tabla 4.** Resultados In Situ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Unidad** | **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)** | **NACEDERO EL ACEITE** | | **NACEDERO TROPEZÓN** | | **NORMATIVIDAD** | | | | |
| **MN477577** | | **MN477578** | | **Decreto 1076 de 2015 (MADS)** | | | | |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Art. 2.2.3.3.9.3** | **Art. 2.2.3.3.9.4** | **Art. 2.2.3.3.9.5** | **Art. 2.2.3.3.9.6** | **Art. 2.2.3.3.9.10** |
| Caudal\* | L/S | 2024-10-18 | 4,65 | N.A. | 5,40 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Conductividad (In situ)\* | µS/cm | 2024-10-18 | 32,2 | ±0,458 | <14,9 | N.A. | - | - | Medición | - | - |
| Oxígeno Disuelto (In situ)\* | mg O2/L | 2024-10-18 | 5,68 | ±0,212 | 5,90 | ±0,220 | - | - | - | - | 4,0 |
| pH (In situ)\* | Unidades de pH | 2024-10-18 | 6,94 | ±0,0694 | 5,36 | ±0,0536 | 5,0 a 9,0 | 6,5 a 8,5 | 4,5 a 9,0 | - | 4,5 - 9,0 |
| Temperatura (In situ)\* | °C | 2024-10-18 | 27,0 | ±0,208 | 26,0 | ±0,200 | - | - | - | - | - |

**…continuación Tabla 4**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Unidad** | **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)** | **QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF** | | **QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA** | | **NORMATIVIDAD** | | | | |
| **MN477579** | | **MN477580** | | **Decreto 1076 de 2015 (MADS)** | | | | |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Art. 2.2.3.3.9.3** | **Art. 2.2.3.3.9.4** | **Art. 2.2.3.3.9.5** | **Art. 2.2.3.3.9.6** | **Art. 2.2.3.3.9.10** |
| Caudal\* | L/S | 2024-10-18 | 10,1 | N.A. | 13,8 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Conductividad (In situ)\* | µS/cm | 2024-10-18 | 16,3 | ±0,232 | <14,9 | N.A. | - | - | Medición | - | - |
| Oxígeno Disuelto (In situ)\* | mg O2/L | 2024-10-18 | 6,62 | ±0,247 | 6,75 | ±0,252 | - | - | - | - | 4,0 |
| pH (In situ)\* | Unidades de pH | 2024-10-18 | 6,21 | ±0,0621 | 5,79 | ±0,0579 | 5,0 a 9,0 | 6,5 a 8,5 | 4,5 a 9,0 | - | 4,5 - 9,0 |
| Temperatura (In situ)\* | °C | 2024-10-18 | 26,2 | ±0,202 | 25,8 | ±0,199 | - | - | - | - | - |

**\*** ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante Resolución 1042 de 2024 del IDEAM.

**(-)** Parámetro no reglamentado por la norma de referencia.

**(N.A.)** No aplica incertidumbre.

**NOTA:** La incertidumbre reportada se calcula para un nivel de confianza del 95%, con un factor de cubrimiento k=2

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

## RESULTADOS DE LABORATORIO

En la **Tabla 5** se presentan los resultados de laboratorio correspondientes a las muestras analizadas. Adicionalmente, se presentan los límites o rangos permisibles establecidos en la norma de referencia, correspondiente al Decreto 1076 de 2015 (MADS), vinculado al Decreto 1594 de 1984.

**Tabla 5.** Resultados de laboratorio.

| **Parámetro** | **Unidad** | **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)** | **NACEDERO EL ACEITE** | | **NACEDERO TROPEZÓN** | | **NORMATIVIDAD** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **MN477577** | | **MN477578** | | **Decreto 1076 de 2015 (MADS)** | | | | |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Art. 2.2.3.3.9.3** | **Art. 2.2.3.3.9.4** | **Art. 2.2.3.3.9.5** | **Art. 2.2.3.3.9.6** | **Art. 2.2.3.3.9.10** |
| Bario Total\* | mg Ba/L | 2024-10-22 | <0,500 | N.A. | <0,500 | N.A. | 1,0 | 1,0 | - | - | - |
| Cadmio Total E\* | mg Cd/L | 2024-10-23 | <0,000250 | N.A. | <0,000250 | N.A. | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | - |
| Cloruros\* | mg Cl-/L | 2024-10-24 | <9,90 | N.A. | <9,90 | N.A. | 250 | 250 | - | - | - |
| Cobre Total\* | mg Cu/L | 2024-10-22 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | 1,0 | 1,0 | 0,2 | 0,5 | - |
| Color verdadero\* | a(436nm)m-1 | 2024-10-19 | 0,324 | ±0,0106 | 0,143 | ±0,00469 | - | - | - | - | - |
| Color verdadero\* | a(525nm)m-1 | 2024-10-19 | 0,132 | ±0,00433 | 0,068 | ±0,00223 | - | - | - | - | - |
| Color verdadero\* | a(620nm)m-1 | 2024-10-19 | 0,047 | ±0,00154 | 0,044 | ±0,00144 | - | - | - | - | - |
| Cromo Total\* | mg Cr/L | 2024-10-21 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | - | - | - | - | - |
| DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)\* | mg O2/L | 2024-10-19 - 2024-10-24 | <2,00 | N.A. | <2,00 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Fenoles\* | mg Fenol /L | 2024-10-23 | <0,100 | N.A. | <0,100 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Grasas y Aceites\* | mg/L | 2024-10-24 | <0,200 | N.A. | 0,316 | ±0,0177 | sin película  visible | sin película  visible | - | - | - |
| Hidrocarburos \* | mg/L | 2024-10-24 | <0,200 | N.A. | <0,200 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Mercurio Total\* | mg Hg/L | 2024-10-24 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | 0,002 | 0,002 | - | 0,01 | - |
| Nitratos\* | mg NO3/L | 2024-10-19 | <1,00 | N.A. | <1,00 | N.A. | 10 | 10 | - | - | - |
| Nitritos\* | mg NO2/L | 2024-10-19 | 0,0110 | ±0,000423 | 0,00803 | ±0,000309 | 1,0 | 1,0 | - | 10 | - |
| Plata Total\* | mg Ag/L | 2024-10-22 | <0,0500 | N.A. | <0,0500 | N.A. | 0,05 | 0,05 | - | - | - |
| Plomo Total\* | mg Pb/L | 2024-10-24 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | 0,05 | 0,05 | 5,0 | 0,1 | - |
| Selenio Total\* | mg /L | 2024-10-24 | <0,00250 | N.A. | <0,00250 | N.A. | 0,01 | 0,01 | 0,02 | - | - |
| Sólidos totales\* | mg/L | 2024-10-22 | 36,0 | ±1,75 | 14,0 | ±0,680 | - | - | - | - | - |
| Sulfatos\* | mg SO4/L | 2024-10-25 | 7,36 | ±0,365 | 6,78 | ±0,336 | 400 | 400 | - | - | - |
| Surfactantes Aniónicos como SAAM\* | mg  SAAM /L | 2024-10-19 | <0,500 | N.A. | <0,500 | N.A. | 0,5 | 0,5 | - | - | - |
| Turbidez\* | NTU | 2024-10-19 | 4,10 | ±0,0886 | 9,60 | ±0,207 | - | 190 | - | - | - |
| Zinc Total\* | mg Zn/L | 2024-10-22 | <0,0500 | N.A. | <0,0500 | N.A. | 15 | 15 | 2,0 | 25 | - |

**…continuación Tabla 5**

| **Parámetro** | **Unidad** | **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)** | **QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF** | | **QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA** | | **NORMATIVIDAD** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **MN477579** | | **MN477580** | | **Decreto 1076 de 2015 (MADS)** | | | | |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Art. 2.2.3.3.9.3** | **Art. 2.2.3.3.9.4** | **Art. 2.2.3.3.9.5** | **Art. 2.2.3.3.9.6** | **Art. 2.2.3.3.9.10** |
| Bario Total\* | mg Ba/L | 2024-10-22 | <0,500 | N.A. | <0,500 | N.A. | 1,0 | 1,0 | - | - | - |
| Cadmio Total E\* | mg Cd/L | 2024-10-23 | <0,000250 | N.A. | <0,000250 | N.A. | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | - |
| Cloruros\* | mg Cl-/L | 2024-10-24 | <9,90 | N.A. | <9,90 | N.A. | 250 | 250 | - | - | - |
| Cobre Total\* | mg Cu/L | 2024-10-22 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | 1,0 | 1,0 | 0,2 | 0,5 | - |
| Color verdadero\* | a(436nm)m-1 | 2024-10-19 | 0,276 | ±0,00905 | 0,095 | ±0,00312 | - | - | - | - | - |
| Color verdadero\* | a(525nm)m-1 | 2024-10-19 | 0,094 | ±0,00308 | 0,016 | ±0,000525 | - | - | - | - | - |
| Color verdadero\* | a(620nm)m-1 | 2024-10-19 | 0,037 | ±0,00121 | 0,009 | ±0,000295 | - | - | - | - | - |
| Cromo Total\* | mg Cr/L | 2024-10-21 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | - | - | - | - | - |
| DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)\* | mg O2/L | 2024-10-19 - 2024-10-24 | 3,56 | ±0,328 | 2,89 | ±0,266 | - | - | - | - | - |
| Fenoles\* | mg Fenol /L | 2024-10-23 | <0,100 | N.A. | <0,100 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Grasas y Aceites\* | mg/L | 2024-10-24 | 0,378 | ±0,0211 | <0,200 | N.A. | sin película  visible | sin película  visible | - | - | - |
| Hidrocarburos \* | mg/L | 2024-10-24 | <0,200 | N.A. | <0,200 | N.A. | - | - | - | - | - |
| Mercurio Total\* | mg Hg/L | 2024-10-24 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | 0,002 | 0,002 | - | 0,01 | - |
| Nitratos\* | mg NO3/L | 2024-10-19 | <1,00 | N.A. | <1,00 | N.A. | 10 | 10 | - | - | - |
| Nitritos\* | mg NO2/L | 2024-10-19 | 0,0120 | ±0,000461 | 0,00770 | ±0,000296 | 1,0 | 1,0 | - | 10 | - |
| Plata Total\* | mg Ag/L | 2024-10-22 | <0,0500 | N.A. | <0,0500 | N.A. | 0,05 | 0,05 | - | - | - |
| Plomo Total\* | mg Pb/L | 2024-10-24 | <0,00100 | N.A. | <0,00100 | N.A. | 0,05 | 0,05 | 5,0 | 0,1 | - |
| Selenio Total\* | mg /L | 2024-10-24 | <0,00250 | N.A. | <0,00250 | N.A. | 0,01 | 0,01 | 0,02 | - | - |
| Sólidos totales\* | mg/L | 2024-10-22 | 16,0 | ±0,778 | 24,0 | ±1,17 | - | - | - | - | - |
| Sulfatos\* | mg SO4/L | 2024-10-25 | <5,00 | N.A. | <5,00 | N.A. | 400 | 400 | - | - | - |
| Surfactantes Aniónicos como SAAM\* | mg  SAAM /L | 2024-10-19 | <0,500 | N.A. | <0,500 | N.A. | 0,5 | 0,5 | - | - | - |
| Turbidez\* | NTU | 2024-10-19 | 6,10 | ±0,132 | 4,80 | ±0,104 | - | 190 | - | - | - |
| Zinc Total\* | mg Zn/L | 2024-10-22 | <0,0500 | N.A. | <0,0500 | N.A. | 15 | 15 | 2,0 | 25 | - |

**\*** ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante Resolución 1042 de 2024 del IDEAM

**(-)** Parámetro no reglamentado por la norma de referencia;

**(N.A.)** Para los parámetros que se encuentran por debajo del límite de cuantificación no se especifica la incertidumbre.

**NOTA:** La incertidumbre reportada se calcula para un nivel de confianza del 95%, con un factor de cubrimiento k=2

**Parámetros:** Surfactantes: Aniónicos como SAAM (DEF)\*(Aguas); **Unidad:** mg SAAM /L como LAS de peso molecular 288,38 g/mol

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

## ANÁLISIS DE MEDICIONES IN SITU

### Caudal

En las siguientes gráficas se presentan los perfiles de las secciones longitudinales obtenidas a partir del aforo de caudal para los puntos de monitoreo evaluados.

**Gráfica 1.** Perfil NACEDERO EL ACEITE

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

**Gráfica 2.** Perfil NACEDERO TROPEZÓN

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

**Gráfica 3.** Perfil QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF

**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

**Gráfica 4.** Perfil QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA

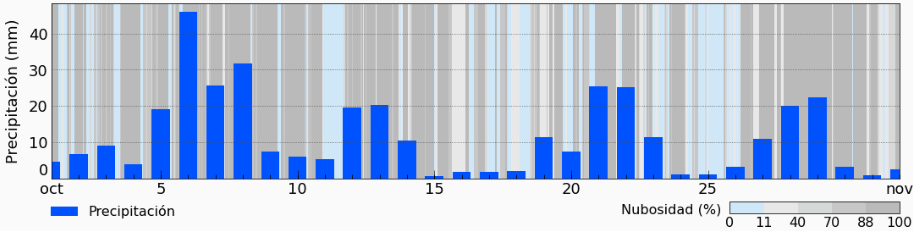
**Fuente:** ChemiLab S.A.S, (2024)

Se denomina caudal a la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo.

El *caudal* en los puntos de monitoreo evaluados presentó valores que oscilan entre ***4,65 L/s*** en el NACEDERO EL ACEITE y ***13,8 L/s*** en la QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA, como se observa en la **Gráfica 6**. Estos valores se ajustan a los perfiles registrados para cada punto, donde el comportamiento de estos sistemas hídricos puede ser ocasionado por las condiciones geomorfológicas de cada cuerpo de agua y por las precipitaciones presentadas días previos a la fecha de monitoreo, el cual se ejecutó el 18 de octubre de 2024 según la **Gráfica 5**. Además, las condiciones microclimáticas que influyen en la tasa de evaporación, siendo estas variables características de cada punto, logrando explicar los resultados de caudal en los cuerpos de agua evaluados. De esta manera, se concluye que estos factores son externos y ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece criterios o valores de referencia en los artículos objeto de comparación del presente informe, por lo que no es posible emitir un juicio de cumplimiento.

**Gráfica 5.** Comportamiento de la precipitación en la fecha de monitoreo en el municipio de Tauramena, Casanare.



**Fuente:** (Meteoblue 2024).

**Gráfica 6.** Comportamiento del Caudal



**Fuente:** ChemiLab S.A.S (2024)

### Conductividad

La conductividad eléctrica indica la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica, relacionándose directamente con el contenido, movilidad y valencia de los iones presentes y de la temperatura de la medición. Generalmente es medida en microsiemens por centímetro (µS/cm), y a través de la conductividad es posible obtener el contenido de sólido disueltos, a partir de un factor comprendido entre 0,55 y 0,75, que puede ser determinado para cada cuerpo de agua, sin embargo, permanece relativamente constante, de acuerdo con las proporciones iónicas en el cuerpo de agua y si estas permanecen constantes. En aguas superficiales, los intervalos de conductividad varían de 10 µS/cm a 1000 µS/cm, pero pueden exceder los 1000 µS/cm en casos donde se presenten descargas en gran cantidad de aguas residuales (IDEAM 2001).

**Tabla 6.** Mineralización según reporte de Conductividad

| **CONDUCTIVIDAD** | **MINERALIZACIÓN** |
| --- | --- |
| < 100 µS/cm | Mineralización muy débil |
| 100 µS/cm - 200 µS/cm | Mineralización débil |
| 200 µS/cm - 333 µS/cm | Mineralización media |
| 333 µS/cm - 666 µS/cm | Mineralización media acentuada |
| 666 µS/cm - 1000 µS/cm | Mineralización importante |
| > 1000 µS/cm | Mineralización excesiva |

**Fuente:** (Rodier 2009)

Los registros para la *conductividad* en las muestras evaluadas reportaron valores entre el límite mínimo de cuantificación del método empleado (***<14,9 µS/cm***) en el NACEDERO TROPEZÓN y QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA, hasta ***32,2 µS/cm*** en el punto NACEDERO EL ACEITE (**Gráfica 7**)**,** indicando una “*mineralización muy débil*” en todos los puntos de monitoreo, de acuerdo con la clasificación de la **Tabla 6**, encontrándose dentro del rango normal de conductividad para aguas superficiales, las cuales suelen presentar concentraciones entre *10 µS/cm y 1000 µS/cm* (IDEAM 2001)*,* donde las variaciones de la conductividad generalmente se relacionan con la dinámica de movimientos en los cuerpos hídricos, lo que disminuye o aumenta la interacción de estos con los sustratos (rocosos y arenosos) que los contienen, así como las condiciones de la zona, los suelos y afluentes sobre las fuentes hídricas, correspondiendo de esta manera a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en el Artículo 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola) establece el criterio de “Medición”, condición que se cumple durante la realización del muestreo.

**Gráfica 7.** Comportamiento de la Conductividad



**Fuente:** ChemiLab S.A.S (2024).

### Oxígeno Disuelto

El oxígeno gaseoso se disuelve en el agua por diversos procesos como la difusión entre la atmósfera y el agua, oxigenación por el flujo del agua sobre las rocas y otros detritos, la agitación del agua por las olas y el viento y la fotosíntesis de plantas acuáticas. Hay muchos factores que afectan la concentración del oxígeno disuelto en un ambiente acuático.

**Tabla 7.** Índice de aceptación para Oxígeno Disuelto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **OD (mg O2/L)** | **CONDICIÓN** | **CONSECUENCIAS** |
| 0 | Anoxia | Muerte masiva de organismos aerobios |
| 0,1 – 5,0 | Hipoxia | Desaparición de organismos y especies sensibles |
| 5,1 - 8,0 | Aceptable | Adecuada para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos |
| 8,1 - 12,0 | Buena |
| >12,1 | Sobresaturada | Sistemas en plena producción fotosintética |

**Fuente**: (RED MAPSA 2007)

Los resultados de *oxígeno disuelto* arrojaron valores que oscilan entre ***5,68 mg O2/L*** en el punto de monitoreo NACEDERO EL ACEITE hasta ***6,75 mg O2/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA (**Gráfica 8**), denotando una condición “*aceptable*” en la totalidad de los puntos, indicando que los niveles de oxígeno disuelto registrados son “adecuados para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos” (RED MAPSA 2007), de acuerdo con los rangos establecidos en la **Tabla 7,** cuyo comportamiento posiblemente está relacionado con la difusión de oxígeno gaseoso de la atmósfera a partir del rompimiento de la tensión superficial producto de las turbulencias que se presenten a lo largo del cauce, dependiendo del flujo constante de agua y en general de las características físicas del sistema.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en el Artículo 2.2.3.3.9.10. (criterios de calidad para la preservación de flora y fauna) establece un límite mínimo permisible de 4,0 mg O2/L, por lo que todos los puntos de monitoreo presentan cumplimiento.

**Gráfica 8.** Comportamiento del Oxígeno Disuelto



**Fuente:** ChemiLab S.A.S (2024)

### pH

El pH es controlado por el balance entre el dióxido de carbono, los iones bicarbonato y carbonato, así como los ácidos húmicos y fúlvicos. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH en el ámbito de 6,5 a 8,0 y es controlado principalmente por el sistema carbonato – bicarbonato (Stum y Morgan 1996). La mayoría de las aguas tienen cierta capacidad de amortiguar (o resistir) los cambios de pH. Esta capacidad es a menudo medida en términos de la alcalinidad del sistema. En los ríos esta capacidad se debe, sobre todo, a la presencia de iones bicarbonato (HCO3-), aportados al sistema por la disolución de rocas y suelos (Drever 1998).

El *pH* para las aguas superficiales monitoreadas presentó valores que oscilan entre ***5,36 unidades de pH*** (NACEDERO TROPEZÓN) y ***6,94 unidades de* pH** (NACEDERO EL ACEITE), como se observa en la **Gráfica *9***, evidenciando un carácter “*ligeramente ácido*” en la mayoría de los cuerpos de agua evaluados, a excepción del punto NACEDERO TROPEZÓN, el cual reportó una condición “*neutra*”. De esta manera, los valores registrados en los puntos de monitoreo evaluados se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola) y 2.2.3.3.9.10. (Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna), en consecuencia, generándose cumplimiento normativo.

Sin embargo, los puntos NACEDERO TROPEZÓN, QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF y QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA, indicaron valores menores al rango mínimo permisible estipulado en el artículo 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico). No obstante, este comportamiento puede relacionarse con la dinámica del suelo y el tipo de cuerpo de agua, ya que históricamente, se ha reportado que los suelos de los llanos orientales de Colombia presentan tendencia a la acidez (Delgado, Rangel y Silva 2018), lo cual podría explicar las características del pH observadas en las muestras de agua superficiales analizadas, correspondiendo a factores externos que son ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia del CPF Cusiana – Campo Cusiana.

**Gráfica 9.** Comportamiento de pH.



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

### Temperatura

La temperatura es un parámetro físico descriptivo de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Desde un punto de vista microscópico, es una medida de la energía cinética asociada al movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema. Afecta tanto los procesos físicos (volatilización, solubilidad de sales y gases, estratificación de estanques), como los procesos químicos (pH, equilibrio de ionización, velocidad de reacción). Altas temperaturas favorecen una mayor tasa de crecimiento, lo cual permite que cierto tipo de biota alcance poblaciones significativas. Bajo condiciones naturales la temperatura del agua que fluye varía entre 0º C y 30ºC; sin embargo, los valores recomendados para la conservación de la vida acuática dependerán del caso en particular de que se trate, debido a que la temperatura depende entre otros factores, de la hora del día y época del año, condiciones del tiempo, flujo y profundidad de la corriente (Beita 2008).

La *temperatura* en las muestras evaluadas presentó valores en un rango entre ***25,8°C*** en el QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA y ***27,0°C*** en el NACEDERO EL ACEITE (**Gráfica 10**). Dichos valores se encuentran dentro del rango normal para aguas superficiales en condiciones naturales, lo que permite inferir que las temperaturas están determinadas por las condiciones climáticas del sitio, día y hora de monitoreo que influencian directamente el recurso hídrico.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece criterios de calidad respecto al parámetro en los artículos de interés, por ende, no es posible emitir un juicio de cumplimiento.

**Gráfica 10.** Comportamiento de la Temperatura



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO

### Metales Totales

Los metales pesados son considerados como elementos de alta densidad (> 4 g/cm3), masa y peso atómico superior a 20 y son tóxicos en bajas concentraciones. Entre los elementos más comunes son el Aluminio, Berilio, Cobre, Hierro, Manganeso, Cadmio, Mercurio y Plomo (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, P. T y Muñoz-García, F. G 2016). La contaminación acuática por elementos traza es un problema actual recurrente y normalmente está asociado con actividades antrópicas, esto supone un grave problema de salubridad que acarrea sobrecostos médicos en el tratamiento de enfermedades relacionadas, así como afectación directa al medio ambiente y los organismos que lo habitan (Pabón, y otros 2020). Los metales se definen con base en sus propiedades físicas en el estado sólido, como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “*metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión*” (Cornelis y Nordberg 2007).

Los parámetros **Bario Total, Cadmio Total, Cobre Total, Cromo Total, Mercurio Total, Plata Total, Plomo Total, Selenio Total y Zinc Total,** reportaron concentraciones inferiores a los límites mínimos de cuantificación de los métodos analíticos (***<0,500 mg Ba/L, <0,000250 mg Cd/L, <0,00100 mg Cu/L, <0,00100 mg Cr/L, <0,00100 mg Hg/L, <0,0500 mg Ag/L, <0,00100 mg Pb/L, <0,00250 mg /L*** y ***<0,0500 mg Zn/L,*** respectivamente) en las muestras analizadas, reflejando un bajo o nulo contenido de estos metales en los puntos de monitoreo evaluados. Adicionalmente, los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles estipulados en el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola) y 2.2.3.3.9.6. (Criterios de calidad para uso pecuario) según aplique en cada caso, por lo que no se identifican restricciones según los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso a los diferentes usos establecidos en la norma, no obstante, se aclara que el Cromo total no se encuentra reglamentado en la norma de referencia, por lo cual no es posible emitir un juicio de cumplimiento respecto a este parámetro.

**Gráfica 11.** Comportamiento del Bario Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 12.** Comportamiento del Cadmio Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 13.** Comportamiento del Cobre Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 14.** Comportamiento del Mercurio Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 15.** Comportamiento de la Plata Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 16.** Comportamiento del Plomo Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 17.** Comportamiento del Selenio Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 18.** Comportamiento del Zinc Total



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

### Cloruros y Sulfatos

La presencia de los iones Cloruros y Sulfatos en el agua está relacionada directamente con la Conductividad y la Dureza, cuando estos iones se asocian con el Calcio y el Magnesio, la característica principal de estas dos sales radica más en el gusto que le imparten al agua que en motivos de salubridad (Romero, 2009).

El cloruro es un elemento esencial para la biota terrestre y acuática y debido a su alta solubilidad presenta pocas reacciones de precipitación y solubilización, por los que su patrón de distribución está relacionado con el movimiento del agua (Osorio y Césped 2002). La presencia de concentraciones elevadas o fluctuantes puede tener un efecto adverso en las funciones fisiológicas normales de los organismos acuáticos, lo que causa afectaciones en la regulación de la presión osmótica, y eventualmente interfiere con el crecimiento y la reproducción. No obstante, debido a que la mayoría del cloruro es excretado del tejido animal por medio de los riñones u órganos renales equivalentes, los potenciales efectos por bioacumulación son muy bajos (Nagpal, Levy y MacDonald 2003). La toxicidad del cloruro puede estar afectada por diferentes variables, entre ellas, la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura (Beita y Barahona 2011).

Como se observa en la **Gráfica 19**, los *cloruros* reportaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<9,90 mg Cl-/L***)en la totalidad de las muestras analizadas***,*** indicandoun bajo contenido de este parámetro en los puntos de monitoreo evaluados***.*** En aguas naturales, las concentraciones típicas de cloruros están en el orden de 1 mg/L a 100 mg/L (Beita y Barahona 2011), evidenciando que las concentraciones reportadas se encuentran dentro de los valores normales para aguas superficiales, infiriendo que no se presenta alguna alteración de los cuerpos de agua frente a este parámetro.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) establece como límite máximo permisible una concentración de 250 mg Cl-/L en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico); de acuerdo con los resultados obtenidos, se presenta cumplimiento.

**Gráfica 19.** Comportamiento de Cloruros



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

Para los *sulfatos* se registraron concentraciones en los puntos QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF, así como en QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA, que se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<5,00 mg SO4/L***), mientras que, el punto NACEDERO EL ACEITE, reportó la mayor concentración con ***7,36 mg SO4/L*** (**Gráfica 20**). Indicando la baja y/o nula presencia de este analito en los puntos de monitoreo evaluados, teniendo en cuenta que en ríos (aguas superficiales) los sulfatos suelen oscilar entre 20 mg/L y 50 mg/L, generalmente asociados con la disolución de yesos y a la oxidación bacteriana de sulfuros (Marín 2010), siendo estos factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.

Adicionalmente, los valores presentados son inferiores al límite máximo permisible de 400 mg SO4/L, estipulado en el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico); por ende, se presenta un ajuste al criterio normativo.

**Gráfica 20.** Comportamiento de Sulfatos



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

### Color Verdadero

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al+++ o el Fe+++ (J. Romero 2009).

El *color verdadero analizado a tres (3) longitudes de onda* obtuvo resultados entre valores mínimos de ***0,095 a(436nm)m-1,0,016 a(525nm)m-1*** y ***0,009 a(620nm)m-1*** (QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA) y valores máximos de ***0,324 a(436nm)m-1***, ***0,132 a(525nm)m-1*** y ***0,047 a(620nm)m-1*** (NACEDERO EL ACEITE). De manera general se evidencia que las muestras analizadas presentaron valores mayores a una longitud de onda (436nm)m-1, lo cual según la **Tabla 8**, indica una mayor absorbancia de colores azul-violeta y una mayor reflectancia de color amarillo en todos los puntos de muestreo. Normativamente, el parámetro Color verdadero a tres (3) longitudes de onda no se encuentra regulado en los artículos de interés del Decreto 1076 de 2015 (MADS), en consecuencia, no es posible emitir un juicio de cumplimiento.

**Tabla 8.** Colores reflejados y visibles por el ojo humano de acuerdo con la longitud de onda absorbida.

| **λ (longitud de onda) (nm)** | **Color absorbido** | **Color reflejado** |
| --- | --- | --- |
| 380-420 | Violeta | Amarillo-Verde |
| 420-440 | Azul-Violeta | Amarillo |
| 440-470 | Azul | Anaranjado |
| 470-500 | Verde-Azul | Rojo |
| 500-520 | Verde | Purpura |
| 520-550 | Amarillo-Verde | Violeta |
| 550-580 | Amarillo | Azul-Violeta |
| 580-620 | Anaranjado | Azul |
| 620-628 | Rojo | Verde-Azul |
| 680-780 | Púrpura | Verde |

**Fuente:** (Martínez y Osorio 2018).

### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

La DBO5 permite determinar la concentración de la materia orgánica biodegradable por un grupo de microorganismos en aguas naturales y residuales (J. Romero 1999). Los vertimientos de materia orgánica biodegradable, expresados como DBO5, al ser degradados por la microbiota aeróbica generan una reducción del oxígeno disponible en los sistemas hídricos superficiales, lo cual puede afectar el desarrollo de especies deseables de peces que sirven como fuente de alimento.

Un incremento de la DBO conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego agrícola se ha realizado con agua contaminada (Orjuela, y otros 2010).

La determinación de la DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) reportó valores por debajo del límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<2,00 mg O2/L***)en los puntos NACEDERO EL ACEITE y NACEDERO TROPEZÓN, alcanzando hasta ***3,56 mg O2/L*** en el punto QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF*,* indicando criterios de “*excelente*” y “*buena calidad*” según la **Tabla 9**, evidenciando aguas superficiales “*no contaminadas*” (Instituto Nacional de Ecologia 2007). Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece valores de referencia en los artículos objeto de comparación del presente informe, por lo cual no es posible emitir juicio de cumplimiento.

**Tabla 9.** Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

| **DBO** | **Criterio** | **Descripción** |
| --- | --- | --- |
| Menor o igual a 3 mg/L | Excelente | No contaminada. |
| Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L | Buena Calidad | Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable. |
| Mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L | Aceptable | Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente |
| Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L | Contaminada | Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. |
| Mayor de 120 mg/L | Fuertemente contaminada | Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Ecologia 2007)

### Fenoles

Los fenoles son compuestos aromáticos caracterizados por la presencia de uno o varios grupos hidroxilo unidos directamente al anillo aromático; aunque normalmente se conocen por el nombre del miembro más sencillo de este grupo de compuestos (fenol) (Amado-Piña 2014). Del total de los compuestos fenólicos, aproximadamente el 4% son producidos naturalmente y el 96% restante son de origen sintético (Forum 1998). Los fenoles en el medio ambiente se obtienen a través de procesos antrópicos, como la agricultura y la industria (Amado-Piña 2014). Los fenoles son compuestos que llegan al agua a través de residuos provenientes de la industria química y agrícola principalmente, donde se generan a partir de la degradación de plaguicidas y desinfectantes; en este aspecto, la presencia en fuentes naturales está directamente relacionada con la actividad antrópica. Son residuos tóxicos para el ser humano por inhalación, ingestión y contacto con la piel; además, generan efectos nocivos sobre los organismos acuáticos (Universidad de Burgos 2019).

El parámetro *fenoles* reportó valores inferiores al límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,100 mg Fenol/L***) en la totalidad de las muestras analizadas, infiriendo concentraciones nulas y/o bajas en los puntos de monitoreo, descartando cualquier tipo de afectación por parte de este tipo de compuestos en los cuerpos de agua evaluados. El Decreto 1076 de 2015 (MADS) en los artículos objeto de comparación del presente informe, no presenta valores de referencia para este parámetro, por lo que no es posible emitir un juicio de cumplimiento normativo.

### Grasas y aceites

La condición de interfase entre la biósfera (biomasa terrestre, biomasa marina y hombre), la litosfera (corteza, suelo y sedimentos), la hidrosfera (agua dulce y agua de mar) y la atmósfera lo convierte en una “estación de tránsito” de los contaminantes, en la que pueden permanecer retenidos grandes períodos de tiempo (lo que aumenta la posibilidad de que puedan ser degradados y perder su naturaleza contaminante) o ser tan móviles que se incorporen a los demás medios y, de ahí, a las redes tróficas con los consecuentes problemas que ello acarrearía (Enel-Codensa 2019). Dentro de los componentes asociados a actividades que involucran el uso de combustible se encuentran las grasas y aceites, las cuales son compuestos orgánicos estables y no son fácilmente biodegradables. Las grasas son compuestos orgánicos que se forman de carbono, hidrógeno y oxígeno. Pertenecen al grupo de las sustancias llamadas lípidos y vienen en forma líquida o sólida. Todas las grasas son combinaciones de los ácidos grasos saturados y no saturados (T 1992).

Las *grasas y aceites* reportaron valores donde los puntos NACEDERO EL ACEITE y QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,200 mg/L***) hasta ***0,378 mg/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API – OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACION CPF. De esta manera, las concentraciones reportadas se consideran bajas y pueden relacionarse con el rompimiento de paredes y membranas celulares de material vegetal y animal en proceso de descomposición; debido a la baja densidad, solubilidad y biodegradabilidad de estos compuestos, es normal que se presente acumulación de estos compuestos en las superficies de los cuerpos de agua (Toapanta Vera 2009), correspondiendo a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) determina que no debe existir película visible de grasas y aceites en el agua, por lo que no es posible emitir juicio de cumplimiento normativo, debido a que se establece límites cualitativos y los resultados de ChemiLab S.A.S. son cuantitativos, sin embargo, en los documentos de campo no se indica la presencia de iridiscencia en los cuerpos de agua monitoreados.

### Hidrocarburos

Los cuerpos de agua como lagos, ríos y humedales ofrecen una variedad de recursos y comunidades acuáticas que pueden ser amenazadas por derrames de hidrocarburos. Los hidrocarburos tienden a flotar debido a la diferencia de densidad que presentan con respecto al agua, bloqueando de esta manera la penetración de la luz y el intercambio de gases. Estudios reportan que dicho bloqueo favorece la solubilización de materiales que afectan a las distintas poblaciones, como el plancton o los macroinvertebrados que viven en el fondo de ríos y pantanos (Adams, Zabala y F 2008).

Los *hidrocarburos* registraron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,200 mg/L***) en la totalidad de los puntos; indicando, un bajo contenido de este tipo de compuestos en los puntos de monitoreo evaluados.

Donde, este comportamiento puede estar relacionado con factores externos que no determinan la relación directa con hidrocarburos de origen petroquímico, lo cual, posiblemente obedece al método empleado por ChemiLab S.A.S., correspondiente al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 RD Edition, el cual como definición de estos compuestos menciona lo siguiente: Los hidrocarburos se definen como cualquier material recuperado que es soluble en un disolvente de naturaleza orgánica y formada por enlaces carbono-hidrogeno. Por ello, las grasas y aceites tienen dos componentes principales: material graso de origen animal y vegetales e hidrocarburos petrogénicos. La porción de aceite y grasa de cada uno de estos dos componentes principales se puede determinar teniendo en cuenta su solubilidad y su naturaleza polar, en este sentido, los hidrocarburos y las grasas y aceites debido a su naturaleza no polar no reaccionan frente a la absorción con sílice gel (que tiene la capacidad de absorber materiales polares), por lo cual, los materiales no absorbidos mediante la técnica son llamados hidrocarburos (NTC 3362, 2005), en pocas palabras los hidrocarburos totales pueden ser compuestos obtenidos a partir de grasas y aceites de origen petroquímico como los combustibles o de residuos naturales como el rompimiento de paredes y membranas celulares de plantas y animales en descomposición (González-Pineda 2013).

Por otro lado, en la naturaleza existen microorganismos capaces de sintetizar biopolímeros a partir de precursores como el carbono en ambientes con desbalances de nitrógeno, fósforo y/o azufre (Reddy, y otros 2003). Estos compuestos se caracterizan por la presencia de moléculas desde tres carbonos a más de 14; razón por la que en la industria se han usado como sustitutos de poliésteres de origen petroquímico, aunque presentan la ventaja de ser biodegradables (Stubbe y Tian, J 2003). Por lo que molecularmente son muy similares a los hidrocarburos derivados del petróleo y pueden confundirse en su determinación a través de los mecanismos de detección tradicionales.

De este modo, se debe tener en cuenta que no todos los hidrocarburos presentes en el medio natural tienen un origen geoquímico, pues los organismos vivos también producen este tipo de compuestos en concentraciones importantes. Por ello, la presencia de hidrocarburos en las aguas naturales no necesariamente significa que provienen de actividades antropogénicas y más aún, que están allí a causa de la industria del petróleo (Ramírez y Viña-Vizcaíno 1998).

Entendiendo lo anterior y considerando que los resultados presentados reflejan el bajo o nulo contenido de hidrocarburos en los cuerpos de agua evaluados, es posible descartar la afectación de este tipo de compuestos en los puntos monitoreados a partir de las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece criterios o valores de referencia para el parámetro Hidrocarburos en los artículos objeto de comparación del presente informe, por lo cual no es posible emitir un juicio de cumplimiento.

### Nitratos y Nitritos

Los nitratos NO-3 en aguas proceden de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materias vegetales y animales, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras de labor en donde se utilizan abonos que los contienen profusamente como componentes en sus formulaciones.

Por otra parte, a presencia de nitritos en el agua es indicativa de contaminación de carácter fecal reciente o de compuestos nitrogenados provenientes de la industria agrícola principalmente, como lo son fertilizantes o plaguicidas. En aguas superficiales, bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0,1 mg/L. Asimismo, cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato. Valores por encima de 1,0 mg/L son totalmente tóxicos y representan un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones (Ortiz 2018).

Para los *nitratos* se reportaron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<1,00 mg N-NO3/L***) en las cuatro (4) muestras analizadas (**Gráfica 21**)***,*** encontrándose dentro de los valores normales para aguas superficiales, ya que estas no suelen contener más de 10 mg/L (Sierra 2011).

A su vez, los *nitritos* reportaron concentraciones que fueron desde ***0,00770 mg N-NO2/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA hasta ***0,0120 mg N-NO2/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API – OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACION CPF (**Gráfica 22**), reflejando un bajo contenido de este ion en los cuerpos de agua evaluados, indicando que no se presenta un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones, al no reportar concentraciones superiores a 1,0 mg N-NO2/L (Ortiz 2018) en los puntos de monitoreo.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) establece un valor límite máximo de 10 mg/L para nitratos y 1,0 mg/L para Nitritos; mientras que el Artículo 2.2.3.3.9.6. (Criterios de calidad de uso pecuario) establece un valor límite máximo de 10 mg/L para nitritos; los cuales son cumplidos por la totalidad de los puntos analizados.

**Gráfica 21.** Comportamiento de Nitratos



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

**Gráfica 22.** Comportamiento de Nitritos



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

### Turbidez y Sólidos Totales

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida en vez de transmitida sin cambios en la dirección del nivel de flujo a través de la muestra. A mayor intensidad de dispersión de la luz, la turbiedad será mayor. La correlación de la turbiedad con el peso o concentración del número de partículas de material suspendido es difícil debido a que el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas afecta las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión. (IDEAM 2015).

Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua puesto que limita el paso de luz a través de ella (Roldán 2003).

Los ensayos efectuados de *turbidez* reportaron valores que oscilan entre ***4,10 NTU*** en el punto de monitoreo NACEDERO EL ACEITE hasta ***9,60 NTU*** en el punto de monitoreo NACEDERO EL TROPEZÓN (**Gráfica 23**), evidenciando condiciones normales para aguas superficiales, ya que en la región de la Orinoquía se presentan en su mayoría valores de turbidez inferiores a 300 NTU, donde su comportamiento suele depender de la época del año, la actividad biológica y el transporte de partículas de suelos (sustratos arenosos y rocosos) por escorrentía y/o por erosión (IDEAM 2001), de esta manera, correspondiendo a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en los puntos de monitoreo no exceden el límite máximo permisible (190 NTU) establecido en el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en el Artículo 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), en consecuencia, generándose cumplimiento normativo.

**Gráfica 23.** Comportamiento de Turbidez



**Fuente**: ChemiLab S.A.S (2024)

En cuanto a los *sólidos totales*, en las muestras analizadas se reportaron valores que oscilan entre ***14,0 mg/L*** en el NACEDERO TROPEZÓN y ***36,0 mg/L*** en el NACEDERO EL ACEITE. Estas condiciones pueden encontrarse sujetas a variaciones climáticas, tales como las precipitaciones presentadas días previos al periodo de estudio (**Gráfica 5**), ya que al conllevar variaciones en el caudal y en los procesos de escorrentía, propician el arrastre de sólidos desde las márgenes de los cauces y la resuspensión de los sólidos en los lechos (arenosos y rocosos) de los cuerpos de agua, de esta manera, correspondiendo a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.

Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece valores de referencia en los artículos objeto de análisis, por lo que no es posible emitir un juicio de cumplimiento, sin embargo, las concentraciones reportadas pueden ser consideradas bajas, tomando como referencia que las aguas con un contenido de sólidos totales menor a 500 mg/L, se consideran adecuadas (Sawyer, McCarty y Parkin 2001), por lo cual se descartan problemáticas relacionadas con los sólidos en los cuerpos de agua evaluados.

### Surfactantes: Aniónicos como SAAM

Los agentes tensoactivos o surfactantes se encuentran presentes en una gran cantidad de productos con los que los individuos tienen contacto diario, estos compuestos se encuentran en distintas dosificaciones incorporados en detergentes, champús, lubricantes, pinturas, entre otros. Se caracterizan por contener en su composición un grupo hidrofóbico y otro hidrofílico haciendo que posean diversas características y propiedades a una misma molécula que suelen manifestarse a condiciones Inter superficiales determinantes y caracterizadas por la solubilización adherencia, adsorción y emulsificación de modo que puede dársele múltiples usos industriales (Dolkemeyer 2000). Dentro de los efectos más importantes de los tensoactivos son el incremento de pH, aumento de nutrientes, aumenta las concentraciones de cloro y compuestos organoclorados, algunos tensoactivos son tóxicos y por último contaminan las aguas subterráneas (Karpinska y Moskal 2004).

El parámetro *Surfactantes Aniónicos como SAAM* reportó concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,500 mg SAAM/L***) en las muestras analizadas (**Gráfica 24**), indicando un bajo o nulo contenido de este tipo de compuestos en los puntos monitoreados, descartando posibles problemáticas asociadas con los tensoactivos en los cuerpos de agua evaluados.

Adicionalmente, los resultados obtenidos se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 0,5 mg/L establecido en el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), en consecuencia, generándose cumplimiento normativo.

**Gráfica 24.** Comportamiento de Surfactantes: Aniónicos como SAAM



**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2024)

# CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica realizada en los puntos de monitoreo, localizados en el área de influencia de Ocensa CPF Cusiana – Campo Cusiana, perteneciente a la empresa Ecopetrol S.A., en el municipio de Tauramena, departamento de Casanare, permiten afirmar lo siguiente:

* El **caudal** en los puntos de monitoreo evaluados presentó valores que oscilan entre ***4,65 L/s*** en el NACEDERO EL ACEITE y ***13,8 L/s*** en la QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA. Estos valores se ajustan a los perfiles registrados para cada punto, donde el comportamiento de estos sistemas hídricos puede ser ocasionado por las condiciones geomorfológicas de cada cuerpo de agua y por las precipitaciones presentadas días previos a la fecha de monitoreo como se evidencia en la gráfica de precipitaciones del mes de octubre de 2024. Además, las condiciones microclimáticas que influyen en la tasa de evaporación, siendo estas variables características de cada punto, logrando explicar los resultados de caudal en los cuerpos de agua evaluados. De esta manera, se concluye que estos factores son externos y ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.
* Los registros para la **conductividad** en las muestras evaluadas reportaron valores entre el límite mínimo de cuantificación del método empleado (***<14,9 µS/cm***) en el NACEDERO TROPEZÓN y QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA, hasta ***32,2 µS/cm*** en el punto NACEDERO EL ACEITE, indicando una “*mineralización muy débil*” en los puntos de monitoreo, encontrándose dentro del rango normal de conductividad para aguas superficiales, las cuales suelen presentar concentraciones entre *10 µS/cm y 1000 µS/cm,* donde las variaciones de la conductividad generalmente se relacionan con la dinámica de movimientos en los cuerpos hídricos, lo que disminuye o aumenta la interacción de estos con los sustratos (rocosos y arenosos) que los contienen, así como las condiciones de la zona, los suelos y afluentes sobre las fuentes hídricas, correspondiendo de esta manera a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en el Artículo 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola) establece el criterio de “Medición”, condición que se cumple durante la realización del muestreo.
* Los resultados de **oxígeno disuelto** arrojaron valores que oscilan entre ***5,68 mg O2/L*** en el punto de monitoreo NACEDERO EL ACEITE hasta ***6,75 mg O2/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA, denotando una condición “*aceptable*” en la totalidad de los puntos, indicando que los niveles de oxígeno disuelto registrados son “adecuados para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos”, cuyo comportamiento posiblemente está relacionado con la difusión de oxígeno gaseoso de la atmósfera a partir del rompimiento de la tensión superficial producto de las turbulencias que se presenten a lo largo del cauce, dependiendo del flujo constante de agua y en general de las características físicas del sistema. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en el Artículo 2.2.3.3.9.10. (criterios de calidad para la preservación de flora y fauna) establece un límite mínimo permisible de 4,0 mg O2/L, por lo que todos los puntos de monitoreo presentan cumplimiento.
* El **pH** para las aguas superficiales monitoreadas presentó valores que oscilan entre ***5,36 unidades de pH*** (NACEDERO TROPEZÓN) y ***6,94 unidades de* pH** (NACEDERO EL ACEITE), evidenciando un carácter “*ligeramente ácido*” en la mayoría de los cuerpos de agua evaluados, a excepción del punto NACEDERO TROPEZÓN, el cual reportó una condición “*neutra*”. De esta manera, los valores registrados en los puntos de monitoreo evaluados se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola) y 2.2.3.3.9.10. (Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna), en consecuencia, generándose cumplimiento normativo. Sin embargo, los puntos NACEDERO TROPEZÓN, QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF y QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA, indicaron valores menores al rango mínimo permisible estipulado en el artículo 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico). No obstante, este comportamiento puede relacionarse con la dinámica del suelo y el tipo de cuerpo de agua, ya que históricamente, se ha reportado que los suelos de los llanos orientales de Colombia presentan tendencia a la acidez, lo cual podría explicar las características del pH observadas en las muestras de agua superficiales analizadas, correspondiendo a factores externos que son ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia del CPF Cusiana – Campo Cusiana.
* La **temperatura** en las muestras evaluadas presentó valores en un rango entre ***25,8°C*** en el QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA y ***27,0°C*** en el NACEDERO EL ACEITE. Dichos valores se encuentran dentro del rango normal para aguas superficiales en condiciones naturales, lo que permite inferir que las temperaturas están determinadas por las condiciones climáticas del sitio, día y hora de monitoreo que influencian directamente el recurso hídrico. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece criterios de calidad respecto al parámetro en los artículos de interés, por ende, no es posible emitir un juicio de cumplimiento.
* Los parámetros **Bario Total, Cadmio Total, Cobre Total, Cromo Total, Mercurio Total, Plata Total, Plomo Total, Selenio Total y Zinc Total,** reportaron concentraciones inferiores a los límites mínimos de cuantificación de los métodos analíticos (***<0,500 mg Ba/L, <0,000250 mg Cd/L, <0,00100 mg Cu/L, <0,00100 mg Cr/L, <0,00100 mg Hg/L, <0,0500 mg Ag/L, <0,00100 mg Pb/L, <0,00250 mg /L*** y ***<0,0500 mg Zn/L,*** respectivamente) en las muestras analizadas, reflejando un bajo o nulo contenido de estos metales en los puntos de monitoreo evaluados. Adicionalmente, los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles estipulados en el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola) y 2.2.3.3.9.6. (Criterios de calidad para uso pecuario) según aplique en cada caso, por lo que no se identifican restricciones según los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso a los diferentes usos establecidos en la norma, no obstante, se aclara que el Cromo total no se encuentra reglamentado en la norma de referencia, por lo cual no es posible emitir un juicio de cumplimiento respecto a este parámetro.
* Los **cloruros** reportaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<9,90 mg Cl-/L***)en la totalidad de las muestras analizadas***,*** indicandoun bajo contenido de este parámetro en los puntos de monitoreo evaluados***.*** En aguas naturales, las concentraciones típicas de cloruros están en el orden de 1 mg/L a 100 mg/L, evidenciando que las concentraciones reportadas se encuentran dentro de los valores normales para aguas superficiales, infiriendo que no se presenta alguna alteración de los cuerpos de agua frente a este parámetro. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) establece como límite máximo permisible una concentración de 250 mg Cl-/L en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico); de acuerdo con los resultados obtenidos, se presenta cumplimiento.
* Para los **sulfatos** se registraron concentraciones en los puntos QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF, así como en QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA, que se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<5,00 mg SO4/L***), mientras que, el punto NACEDERO EL ACEITE, reportó la mayor concentración con ***7,36 mg SO4/L***. Indicando la baja y/o nula presencia de este analito en los puntos de monitoreo evaluados, teniendo en cuenta que en ríos (aguas superficiales) los sulfatos suelen oscilar entre 20 mg/L y 50 mg/L, generalmente asociados con la disolución de yesos y a la oxidación bacteriana de sulfuros, siendo estos factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Adicionalmente, los valores presentados son inferiores al límite máximo permisible de 400 mg SO4/L, estipulado en el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico); por ende, se presenta un ajuste al criterio normativo.
* El **color verdadero** *analizado a tres (3) longitudes de onda* obtuvo resultados que oscilan entre valores mínimos de ***0,095 a(436nm)m-1,0,016 a(525nm)m-1*** y ***0,009 a(620nm)m-1*** (QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA) y valores máximos de ***0,324 a(436nm)m-1***, ***0,132 a(525nm)m-1*** y ***0,047 a(620nm)m-1*** (NACEDERO EL ACEITE). De manera general se evidencia que las muestras analizadas presentaron valores mayores a una longitud de onda (436nm)m-1, lo cual indica una mayor absorbancia de colores azul-violeta y una mayor reflectancia de color amarillo en todos los puntos de muestreo. Normativamente, el parámetro Color verdadero a tres (3) longitudes de onda no se encuentra regulado en los artículos de interés del Decreto 1076 de 2015 (MADS), en consecuencia, no es posible emitir un juicio de cumplimiento.
* La determinación de la **DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)** reportó valores por debajo del límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<2,00 mg O2/L***)en los puntos NACEDERO EL ACEITE y NACEDERO TROPEZÓN, alcanzando hasta ***3,56 mg O2/L*** en el punto QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF*,* indicando criterios de “*excelente*” y “*buena calidad*”*,* evidenciando aguas superficiales “*no contaminadas*”. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece valores de referencia en los artículos objeto de comparación del presente informe, por lo cual no es posible emitir juicio de cumplimiento.
* El parámetro **fenoles** reportó valores inferiores al límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,100 mg Fenol/L***) en la totalidad de las muestras analizadas, infiriendo concentraciones nulas y/o bajas en los puntos de monitoreo, descartando cualquier tipo de afectación por parte de este tipo de compuestos en los cuerpos de agua evaluados. El Decreto 1076 de 2015 (MADS) en los artículos objeto de comparación del presente informe, no presenta valores de referencia para este parámetro, por lo que no es posible emitir un juicio de cumplimiento normativo.
* Las **grasas y aceites** reportaron valores donde los puntos NACEDERO EL ACEITE y QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,200 mg/L***) hasta ***0,378 mg/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API – OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACION CPF. De esta manera, las concentraciones reportadas se consideran bajas y pueden relacionarse con el rompimiento de paredes y membranas celulares de material vegetal y animal en proceso de descomposición; debido a la baja densidad, solubilidad y biodegradabilidad de estos compuestos, es normal que se presente acumulación de estos compuestos en las superficies de los cuerpos de agua, correspondiendo a factores externos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) determina que no debe existir película visible de grasas y aceites en el agua, por lo que no es posible emitir juicio de cumplimiento normativo, debido a que se establece límites cualitativos y los resultados de ChemiLab S.A.S. son cuantitativos, sin embargo, en los documentos de campo no se indica la presencia de iridiscencia en los cuerpos de agua monitoreados.
* Los **hidrocarburos** registraron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,200 mg/L***) en la totalidad de los puntos; indicando, un bajo contenido de este tipo de compuestos en los puntos de monitoreo evaluados. Donde, este comportamiento puede estar relacionado con factores externos que no determinan la relación directa con hidrocarburos de origen petroquímico, lo cual, posiblemente obedece al método empleado por ChemiLab S.A.S., correspondiente al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 RD Edition, el cual como definición de estos compuestos menciona lo siguiente: Los hidrocarburos se definen como cualquier material recuperado que es soluble en un disolvente de naturaleza orgánica y formada por enlaces carbono-hidrogeno. Por ello, las grasas y aceites tienen dos componentes principales: material graso de origen animal y vegetales e hidrocarburos petrogénicos. La porción de aceite y grasa de cada uno de estos dos componentes principales se puede determinar teniendo en cuenta su solubilidad y su naturaleza polar, en este sentido, los hidrocarburos y las grasas y aceites debido a su naturaleza no polar no reaccionan frente a la absorción con sílice gel (que tiene la capacidad de absorber materiales polares), por lo cual, los materiales no absorbidos mediante la técnica son llamados hidrocarburos (NTC 3362, 2005), en pocas palabras los hidrocarburos totales pueden ser compuestos obtenidos a partir de grasas y aceites de origen petroquímico como los combustibles o de residuos naturales como el rompimiento de paredes y membranas celulares de plantas y animales en descomposición. Por otro lado, en la naturaleza existen microorganismos capaces de sintetizar biopolímeros a partir de precursores como el carbono en ambientes con desbalances de nitrógeno, fósforo y/o azufre. Estos compuestos se caracterizan por la presencia de moléculas desde tres carbonos a más de 14; razón por la que en la industria se han usado como sustitutos de poliésteres de origen petroquímico, aunque presentan la ventaja de ser biodegradables. Por lo que molecularmente son muy similares a los hidrocarburos derivados del petróleo y pueden confundirse en su determinación a través de los mecanismos de detección tradicionales. De este modo, se debe tener en cuenta que no todos los hidrocarburos presentes en el medio natural tienen un origen geoquímico, pues los organismos vivos también producen este tipo de compuestos en concentraciones importantes. Por ello, la presencia de hidrocarburos en las aguas naturales no necesariamente significa que provienen de actividades antropogénicas y más aún, que están allí a causa de la industria del petróleo. Entendiendo lo anterior y considerando que los resultados presentados reflejan el bajo o nulo contenido de hidrocarburos en los cuerpos de agua evaluados, es posible descartar la afectación de este tipo de compuestos en los puntos monitoreados a partir de las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece criterios o valores de referencia para el parámetro Hidrocarburos en los artículos objeto de comparación del presente informe, por lo cual no es posible emitir un juicio de cumplimiento.
* Para los **nitratos** se reportaron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<1,00 mg N-NO3/L***) en las cuatro (4) muestras analizadas***,*** encontrándose dentro de los valores normales para aguas superficiales, ya que estas no suelen contener más de 10 mg/L. A su vez, los **nitritos** reportaron concentraciones que fueron desde ***0,00770 mg N-NO2/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API – OCENSA hasta ***0,0120 mg N-NO2/L*** en el punto de monitoreo QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API – OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACION CPF, reflejando un bajo y/o nulo contenido de este ion en los cuerpos de agua evaluados, indicando que no se presenta un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones, al no reportar concentraciones superiores a 1,0 mg N-NO2/L en los puntos de monitoreo. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) establece un valor límite máximo de 10 mg/L para nitratos y 1,0 mg/L para Nitritos; mientras que el Artículo 2.2.3.3.9.6. (Criterios de calidad de uso pecuario) establece un valor límite máximo de 10 mg/L para nitritos; los cuales son cumplidos por la totalidad de los puntos analizados.
* Los ensayos efectuados de **turbidez** reportaron valores que oscilan entre ***4,10 NTU*** en el punto de monitoreo NACEDERO EL ACEITE hasta ***9,60 NTU*** en el punto de monitoreo NACEDERO EL TROPEZÓN, evidenciando condiciones normales para aguas superficiales, ya que en la región de la Orinoquía se presentan en su mayoría valores de turbidez inferiores a 300 NTU, donde su comportamiento suele depender de la época del año, la actividad biológica y el transporte de partículas de suelos (sustratos arenosos y rocosos) por escorrentía y/o por erosión, de esta manera, correspondiendo a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Adicionalmente, los resultados obtenidos en los puntos de monitoreo no exceden el límite máximo permisible (190 NTU) establecido en el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en el Artículo 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), en consecuencia, generándose cumplimiento normativo.
* En cuanto a los **sólidos totales**, en las muestras analizadas se reportaron valores que oscilan entre ***14,0 mg/L*** en el NACEDERO TROPEZÓN y ***36,0 mg/L*** en el NACEDERO EL ACEITE. Estas condiciones pueden encontrarse sujetas a variaciones climáticas, tales como las precipitaciones presentadas días previos al periodo de estudio, ya que al conllevar variaciones en el caudal y en los procesos de escorrentía, propician el arrastre de sólidos desde las márgenes de los cauces y la resuspensión de los sólidos en los lechos (arenosos y rocosos) de los cuerpos de agua, de esta manera, correspondiendo a factores externos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana. Normativamente, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) no establece valores de referencia en los artículos objeto de análisis, por lo que no es posible emitir un juicio de cumplimiento, sin embargo, las concentraciones reportadas pueden ser consideradas bajas, tomando como referencia que las aguas con un contenido de sólidos totales menor a 500 mg/L, se consideran adecuadas, por lo cual se descartan problemáticas relacionadas con los sólidos en los cuerpos de agua evaluados.
* El parámetro **Surfactantes Aniónicos como SAAM** reportó concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método empleado por el laboratorio (***<0,500 mg SAAM/L***) en las muestras analizadas, indicando un bajo o nulo contenido de este tipo de compuestos en los puntos monitoreados, descartando posibles problemáticas asociadas con los tensoactivos en los cuerpos de agua evaluados. Adicionalmente, los resultados obtenidos se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 0,5 mg/L establecido en el Decreto 1076 de 2015 (MADS), en los artículos 2.2.3.3.9.3. (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico) y 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), en consecuencia, generándose cumplimiento normativo.
* En general, los parámetros regulados en el Decreto 1076 del 2015 (MADS) como son **Bario Total, Cadmio Total, Cloruros, Cobre Total, Mercurio Total, Nitratos, Nitritos, Oxígeno Disuelto, pH, Plata Total, Plomo total, Selenio Total, Sulfatos, Surfactantes: Aniónicos como SAAM, Turbidez** y **Zinc Total** presentaron valores que cumplen con los límites permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015 (MADS) en los artículos 2.2.3.3.9.3. (tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.4. (desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5. (criterios de calidad para uso agrícola), 2.2.3.3.9.6 (criterios de calidad para uso pecuario) y 2.2.3.3.9.10. (criterios de calidad para la preservación de flora y fauna), según aplique para cada parámetro.
* Para el parámetro **Conductividad**, el Decreto 1076 de 2015 (MADS) establece el requerimiento de “medición” en el Artículo 2.2.3.3.9.5. (Criterios de calidad para uso agrícola), condición que se cumple durante la realización del muestreo. Por otro lado, para las **Grasas y Aceites**, los artículos 2.2.3.3.9.3. y 2.2.3.3.9.4. establecen que no debe existir película de grasas y aceites flotantes en las aguas monitoreadas, dicha condición es verificada por los documentos de campo, en los cuales no se reporta la presencia de iridiscencia, sin embargo, dado el carácter exclusivamente cuantitativo de los resultados emitidos por ChemiLab no es posible emitir un juicio de cumplimiento referente a este parámetro.
* Los parámetros **Caudal**, **Color verdadero (en tres longitudes de onda)**, **Cromo total**, **DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**, **Fenoles**, **Hidrocarburos**, **Sólidos totales** y **Temperatura** no están regulados en el Decreto 1076 del 2015 (MADS) en los artículos de interés, por lo que no es posible la comparación y emisión de un juicio de cumplimiento, sin embargo, estos parámetros reportaron valores que se encuentran dentro de los rangos normales establecidos para aguas naturales, considerando los factores externos que influyen en la composición de los cuerpos de agua monitoreados, siendo estos ajenos a las actividades desarrolladas por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de Ocensa – Campo Cusiana.

# BIBLIOGRAFÍA

Adams, R, J Zabala, y Morales F. *Concentración residual de hidrocarburos en el suelo del trópico II: Afectación a la fertilidad y su recuperación.* Interciencia, 2008.

Amado-Piña, D. *Degradación del fenol mediante un tratamiento electroquímico combiando con: ozono y electrodos de diamante dopados con boro (DDB).* Trabajo de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca: Maestría en Ciencias Ambientales, 2014, 109.

Beita, W. «Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica.» *http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/334/TFG%20\_%E2%80%9CCaracterizaci%C3%B3n%20fisicoqu%C3%ADmica%20de%20las%20aguas%20superficiales%20de%20la%20cuenca%20del%20r%C3%ADo%20Rinc%C3%B3n%20en%20la%20Pen%C3%ADnsula%20de%20Osa%2C%20Puntarenas%2C%2.* 2008.

Beita, W, y M Barahona. «Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa rica.» *UNED Research Journal*, 2011.

Cornelis, R, y M Nordberg. «General chemistry, sampling, analytical methods, and speciation.» *Handbook on the Toxicology of Metals (3a Ed.)*, 2007: 11-38.

Delgado, H, A Rangel, y A Silva. «Caracterización de la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la altillanura plana. Meta, Colombia.» *Luna Azul* 46 (2018): 54-69.

Dolkemeyer, W. «Surfactants on the eve of the Third Millennium: Challenges and opportunities.» *CESIO convention Firenze*, 2000.

Drever, J. L. *Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments.* 1998.

Enel-Codensa. «Análisis de suelos con énfasis en hidrocarburos.» Bogotá D.C., 2019.

Forum, R.A. *Guidelines for Ecological Risk Assessment.* Vol. 63. 1998.

González-Pineda, G. *Evaluación del contenidod e grasas y aceites en descargas de agua residual porcicola con diferentes fuentes energéticas en la dieta alimenticia.* 2013. https://www.porcicultura.com/destacado/Evaluaci%C3%B3n-del-contenido-de-grasas-y-aceites-en-descargas-de-agua-residual-porc%C3%ADcola-con-diferentes-fuentes-energ%C3%A9ticas-en-la-dieta-alimenticia.

IDEAM. *El medio ambiente en Colombia.* Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2001.

IDEAM. «Turbiedad por Nefelometría.» *Grupo de Fisicoquimica ambiental*, 2015.

Instituto Nacional de Ecologia. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México.* Hidalgo: Oscar Sánchez, 2007.

Karpinska, J, y J Moskal. «Toxic effect of non-ionic phosphoorganic surfactants on select organism representing aquatic biocenosis.» *Acta toxicologica*, 2004.

Londoño-Franco, L. F, Londoño-Muñoz, P. T, y Muñoz-García, F. G. «Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal.» *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* 14, nº 2 (2016): 145.

Marín, Rafae. *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas.* Cordoba, España, 2010.

Martínez y Osorio. «Validación de un método para el análisis de color real en agua. .» *Revista de la Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.* , 2018: Volumen 7, número 1: 143 – 155.

Meteoblue. *Archivo metereológico de Tauramena, Casanare.* 2024.

Nagpal, N, D Levy, y D MacDonald. «Ambient water quality guidelines for chloride.» *Victoria, Columbia britanica*, 2003.

Orjuela, L, G Saldarriaga, M García, y H Wilches. «Calidad del agua superficial el Colombia.» *Estudio Nacional del agua*, 2010.

Ortiz, M. «La biorremediación con microalgas (Spirulina máxima, Spirulina platensis y Chlorella vulgaris) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque.» 2018.

Osorio, A, y R Césped. «Efecto de Métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en Vid de Mesa: Conductividad Eléctrica, Sodio, Cloro y Boro en distintos puntos del perfil.» *Agricultura Técnica*, 2002.

Pabón, S. E, Benítez, R, Sarria-Villa, R. A, y Gallo, J. A. «Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión.» *Entre Ciencía e Ingeniería* 14, nº 27 (2020): 9-18.

Ramírez, Alberto, y Gerardo Viña-Vizcaíno. *Limnología Colombiana, aportes a su conocimiento y estadisticas de análisis.* Bogotá: Editorial Panamericana, Formas e Impresos S.A, 1998.

RED MAPSA . *Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos. Oxígeno disuelto.* 2007.

RED MAPSA. *Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos. Oxígeno disuelto.* 2007.

Reddy, C.S.K, Ghai, R, Rhasmi, R, y Kalia, V.C. «Polyhydroxyalkanoates: an overview.» *Bioresource Technology* 87, nº 2 (2003): 137-146.

Rodier, Jean. «Análisis de agua.» Omega, 2009.

Roldán, G. «Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia.» *Ed Universidad de Antioquia*, 2003.

Romero, J. «Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización.» *España: Alfaomega*, 1999.

Romero, Jairo. *Calidad del agua.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009.

Sawyer, Clair N., Perry L. McCarty, y Gene F. Parkin. *Química para Ingeniería Ambiental, 4a. Edición.* Bogotá, Colombia: McGraw-Hill InterAmericana, 2001.

Sierra, C. *Calidad del agua. Evaluación y Diagnostico.* Universidad de Medellín., 2011.

Stubbe, J, y Tian, J. «Polyhydroxyalkanoate (PHA) homeostasis: the role of the PHA sinthase.» *Natural Products Reports* 20, nº 5 (2003): 445-457.

Stum, W., y J. Morgan. *Aquatic chemestry wiley.* New York, 1996.

T, CLESCERI L. S. GREENEBERG A. & R. *Métodos Normalizados para Análisis de Aguas potables y residuales.* Madrid: Editoriales Díaz de Santos., 1992.

Toapanta Vera, Maria Isabel. «Calidad del agua: Grasas y aceites.» 2009. https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/2/GRASASYACEITES.doc.

Universidad de Burgos, España. *Detección de fenoles en el agua mediante sensores colorimétricos.* 2019. https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/deteccion-de-fenoles-en-el-agua-mediante-sensores-colorimetricos.

# ACLARACIONES

Los anteriores resultados corresponden únicamente al periodo del monitoreo y a las muestras de los puntos identificados en el numeral 2.3. del presente documento, cuyos registros de campo hacen parte integral del presente informe.

Sin la aprobación del Laboratorio ChemiLab S.A.S., este informe no se puede reproducir, a excepción de que se garantice la seguridad de las partes involucradas; así mismo este documento no puede ser modificado ni alterado en su contenido, en caso de que sea alterado, el Laboratorio ChemiLab S.A.S., se reserva las acciones legales que den a lugar.

# CONTROL DE MODIFICACIONES

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No. INFORME** | **SITUACIÓN** | **FECHA** |
| 10865 | Versión 1 | 2024-12-03 |

**-FIN DEL INFORME-**

# ANEXOS

**ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO**

|  |  |
| --- | --- |
| **NACEDERO EL ACEITE** | |
|  |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **NACEDERO TROPEZÓN** | |
|  |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **QUEBRADA EL ACEITE PUNTO INTERMEDIO PISCINAS API - OCENSA Y LAGUNA DE OXIDACIÓN CPF** | |
|  |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **QUEBRADA EL ACEITE AGUAS ARRIBA DE LAS PISCINAS API - OCENSA** | |
|  |  |
|  |  |

**ANEXO 2. REPORTES DE RESULTADOS**

**ANEXO 3. RESOLUCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO**

**ANEXO 4. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN**

**ANEXO 5. DOCUMENTOS DE CAMPO**