|  |
| --- |
| **INFORME DE MONITOREO**  **ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS**  **CPF CUPIAGUA - CAMPO CUPIAGUA**  **Gerencia General de Producción de Gas (GGS) – Regional Piedemonte** |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Presentado a:**  Ecopetrol S.A.  Ing. Juan Carlos Barrera | **Revisado por:**  Andrea Carolina Barragán  Profesional de proyectos | **Autorizado por:**  Claudia Calderón  Directora de Proyectos | |
| INFORME NÚMERO: 127921 |
| **Confiabilidad, Compromiso y Calidad.**  Fecha de monitoreo: 2025-04-11  Fecha de emisión de informe: 2025-10-15 |

**TABLA DE CONTENIDO**

[1. OBJETIVOS 1](#_Toc190841165)

[1.1. OBJETIVO GENERAL 1](#_Toc190841166)

[1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1](#_Toc190841167)

[2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA 2](#_Toc190841168)

[2.1. MARCO NORMATIVO 2](#_Toc190841169)

[2.2. DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD 2](#_Toc190841170)

[2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO 4](#_Toc190841171)

[2.4. METODOLOGÍA DE MONITOREO FISICOQUÍMICO 8](#_Toc190841172)

[2.4.1. Metodología de muestreo simple 8](#_Toc190841173)

[2.4.2. Metodología de muestreo compuesto 8](#_Toc190841174)

[2.4.3. Aforo volumétrico 9](#_Toc190841175)

[2.4.4. Preservación y transporte de muestras 9](#_Toc190841176)

[2.4.5. Metodología de medición y análisis de variables. 11](#_Toc190841177)

[3. RESULTADOS Y ANÁLISIS 15](#_Toc190841178)

[3.1. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES IN SITU 15](#_Toc190841179)

[3.2. RESULTADOS DE LABORATORIO 17](#_Toc190841180)

[3.3. ANÁLISIS DE MEDICIONES IN SITU 25](#_Toc190841181)

[3.3.1. Caudal 25](#_Toc190841182)

[3.3.2. pH 26](#_Toc190841183)

[3.3.3. Sólidos sedimentables 28](#_Toc190841184)

[3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO 29](#_Toc190841185)

[3.4.1. Acidez y alcalinidad 29](#_Toc190841186)

[3.4.2. Cianuro total 30](#_Toc190841187)

[3.4.3. Cloruros y sulfatos 31](#_Toc190841188)

[3.4.4. Color Verdadero 33](#_Toc190841189)

[3.4.5. Compuestos orgánicos volátiles (BTEX) 34](#_Toc190841190)

[3.4.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de   
oxígeno (DQO) 35](#_Toc190841191)

[3.4.7. Dureza Total y Dureza Cálcica 36](#_Toc190841192)

[3.4.8. Fenoles 38](#_Toc190841193)

[3.4.9. Fluoruros 39](#_Toc190841194)

[3.4.10. Sulfuros 40](#_Toc190841195)

[3.4.11. Compuestos fosforados 41](#_Toc190841196)

[3.4.12. Grasas y aceites e Hidrocarburos 42](#_Toc190841197)

[3.4.13. Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX) 44](#_Toc190841198)

[3.4.14. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´S) 44](#_Toc190841199)

[3.4.15. Metales, metaloides y no metales 45](#_Toc190841200)

[3.4.16. Compuestos nitrogenados 53](#_Toc190841201)

[3.4.17. Sólidos suspendidos totales 55](#_Toc190841202)

[3.4.18. Surfactantes Aniónicos como SAAM 56](#_Toc190841203)

[4. CONCLUSIONES 57](#_Toc190841204)

[5. BIBLIOGRAFÍA 70](#_Toc190841205)

[6. ACLARACIONES 73](#_Toc190841206)

[7. CONTROL DE MODIFICACIONES 73](#_Toc190841207)

[8. ANEXOS 74](#_Toc190841208)

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

[**Gráfica 1**. Comportamiento de las precipitaciones en la fecha de monitoreo en el municipio de Aguazul, Casanare. 4](#_Toc190784503)

[**Gráfica 2.** Comportamiento del Caudal en el Afluente y el Efluente 25](#_Toc190784504)

[**Gráfica 3.** Comportamiento del Caudal 26](#_Toc190784505)

[**Gráfica 4**. Comportamiento del pH en el Afluente y Efluente 27](#_Toc190784506)

[**Gráfica 5.** Comportamiento del pH 27](#_Toc190784507)

[**Gráfica 6.** Comportamiento de los Sólidos Sedimentables. 28](#_Toc190784508)

[**Gráfica 7**. Comportamiento de la Acidez y la Alcalinidad Total. 30](#_Toc190784509)

[**Gráfica 8.** Comportamiento del Cianuro Total. 31](#_Toc190784510)

[**Gráfica 9**. Comportamiento de los Cloruros. 32](#_Toc190784511)

[**Gráfica 10.** Comportamiento de los Sulfatos. 33](#_Toc190784512)

[**Gráfica 11.** Comportamiento de la DBO5 y DQO. 36](#_Toc190784513)

[**Gráfica 12**. Comportamiento de la Dureza Cálcica y Dureza Total. 38](#_Toc190784514)

[**Gráfica 13.** Comportamiento de los Fenoles. 39](#_Toc190784515)

[**Gráfica 14.** Comportamiento de los Sulfuros. 41](#_Toc190784516)

[**Gráfica 15**. Comportamiento de las Grasas y Aceites e Hidrocarburos. 43](#_Toc190784517)

[**Gráfica 16.** Comportamiento del Arsénico Total. 46](#_Toc190784518)

[**Gráfica 17.** Comportamiento del Cadmio Total. 47](#_Toc190784519)

[**Gráfica 18.** Comportamiento del Mercurio total. 47](#_Toc190784520)

[**Gráfica 19.** Comportamiento del Níquel Total. 48](#_Toc190784521)

[**Gráfica 20.** Comportamiento del Plomo Total. 48](#_Toc190784522)

[**Gráfica 21.** Comportamiento del Selenio Total. 49](#_Toc190784523)

[**Gráfica 22.** Comportamiento del Vanadio Total. 49](#_Toc190784524)

[**Gráfica 23.** Comportamiento del Zinc Total. 50](#_Toc190784525)

[**Gráfica 24.** Comportamiento del Cobre Total. 51](#_Toc190784526)

[**Gráfica 25.** Comportamiento del Cromo Total 52](#_Toc190784527)

[**Gráfica 26.** Comportamiento del Hierro Total. 53](#_Toc190784528)

[**Gráfica 27.** Comportamiento del Nitrógeno Total 54](#_Toc190784529)

[**Gráfica 28.** Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales. 55](#_Toc190784530)

**ÍNDICE DE TABLAS**

[**Tabla 1.** Puntos de monitoreo. Aguas lluvia ocasionalmente aceitosas 5](#_Toc190784531)

[**Tabla 2.** Preservación de muestras 9](#_Toc190784532)

[**Tabla 3.** Metodología de medición y análisis de variables. 11](#_Toc190784533)

[**Tabla 4.** Resultados In Situ del AFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA. 15](#_Toc190784534)

[**Tabla 5.** Resultados In Situ del EFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA. 16](#_Toc190784535)

[**Tabla 6.** Resultados In Situ del PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA 17](#_Toc190784536)

[**Tabla 7.** Resultados de laboratorio 18](#_Toc190784537)

[**Tabla 8.** Clasificación de la dureza. 37](#_Toc190784538)

**ÍNDICE DE FIGURAS**

[**Figura 1**.Evaluación de conformidad para rangos normativos. 3](#_Toc190784542)

[**Figura 2**. Ubicación de los puntos de monitoreo de aguas lluvias ocasionalmente aceitosas en el CPF Cupiagua – Campo Cupiagua. 7](#_Toc190784543)

1. OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características fisicoquímicas de las aguas lluvias ocasionalmente aceitosas en tres (3) puntos del sistema de tratamiento, ubicados en el CPF Cupiagua del Campo Cupiagua; en el municipio de Aguazul, departamento de Casanare.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

* Efectuar los análisis de resultados de los parámetros in situ y de laboratorio, obtenidos en la caracterización para las aguas lluvias ocasionalmente aceitosas.
* Evaluar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles establecidos en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

## MARCO NORMATIVO

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

**Resolución 0631 de 2015 (MADS).** Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

* **Artículo 11***.* Parámetros fisicoquímicos de los puntos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados).

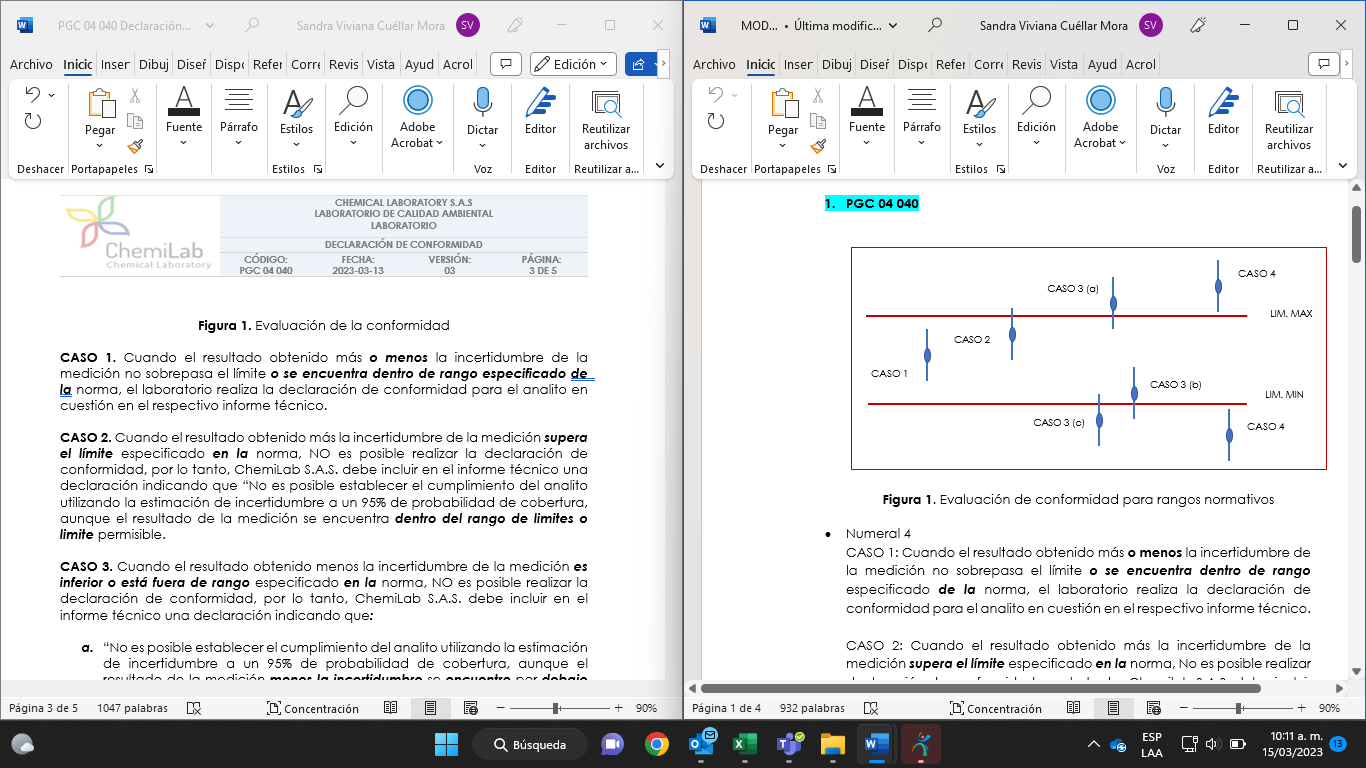
## DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

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.

**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.

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

 **Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**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 los lugares previamente determinados por Ecopetrol S.A., en este caso se realizó el monitoreo en el Afluente, Efluente y Punto de descarga al Río Unete de las Aguas Lluvias Ocasionalmente Aceitosas del CPF Cupiagua. La caracterización se llevó a cabo el **11 de Abril de 2025**

En la **Tabla 1**, se presenta el nombre de cada punto monitoreado, las coordenadas magna sirgas de origen único nacional, el código asignado en laboratorio a cada muestra, fecha y hora de muestreo, registro fotográfico y la descripción de los puntos de monitoreo. En la **Figura 2,** se enseña la ubicación geográfica de los puntos de muestreo.

En la **Gráfica 1** se presentan las precipitaciones durante el mes de Abril, evidenciando que en la fecha de monitoreo 11 de Abril de 2025.

**Gráfica 1**. Comportamiento de las precipitaciones en la fecha de monitoreo en el municipio de Aguazul, Casanare.

**Fuente:** (Meteoblue, 2025)

**Tabla 1.** Puntos de monitoreo. Aguas lluvia ocasionalmente aceitosas

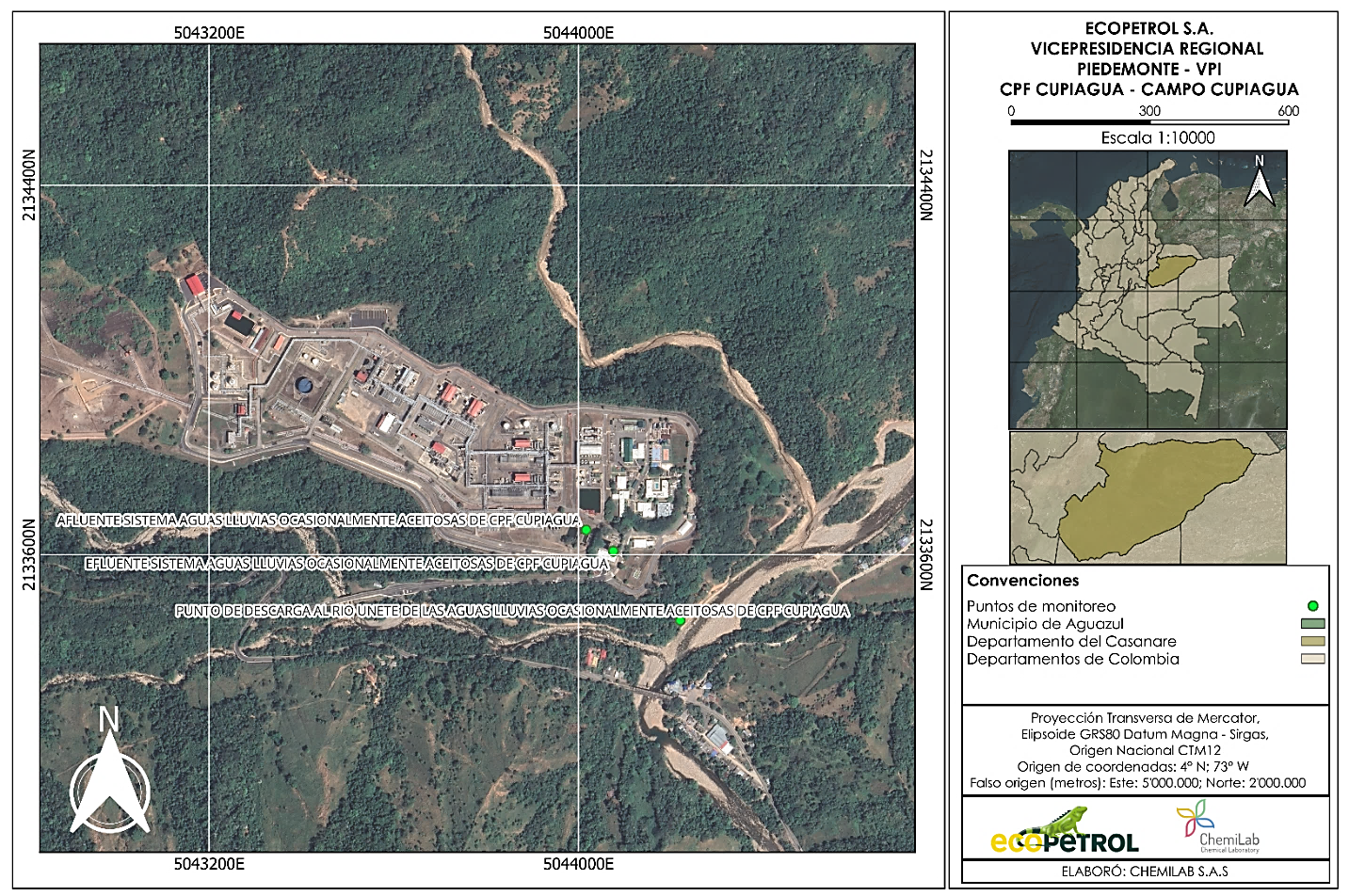
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No. MUESTRA** | **FECHA DE MONITOREO** | **HORA TOMA DE MUESTRA** | **NOMBRE DEL PUNTO** | **COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL** | | **FOTOGRAFÍA** |
| **Este** | **Norte** |
| **PLAN DE MUESTREO: 20164** | | | | | | |
| MI513129 | 11/04/25 | 13:06 | AFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA | 5044016 | 2133674 |  |
| **Descripción del punto:** Punto de monitoreo ubicado a 50 m del área contraincendios y a 120 m de la portería interna del CPF Cupiagua. Presenta una vegetación circundante escasa, compuesta por herbáceas y arbustos de mediano dosel. El sistema se observa dentro de una estructura en concreto, señalizado por barandas metálicas. La muestra se apreció de una tonalidad amarillo claro, con olor característico del sistema y se percibió iridiscencia.  **Condiciones ambientales:** Dia Soleado - Temperatura ambiente: 30,8° C°C - Humedad relativa: 0.48% - Altitud: 397 m.s.n.m | | | | | | |
| MI513130 | 11/04/25 | 13:08 | EFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA | 5044075 | 2133608 |  |
| **Descripción del punto:** Punto de monitoreo ubicado a 50 m de la portería interna del CPF Cupiagua. Presenta una vegetación circundante escasa, compuesta por ejemplares de mediano y gran dosel. El sistema se encuentra dentro de una estructura en concreto a cielo abierto, señalizado con barandas metálicas. La muestra se apreció de una tonalidad amarillo claro, con olor característico del sistema y no se percibió iridiscencia.  **Condiciones ambientales:** Dia Soleado - Temperatura ambiente: 30,5°C°C - Humedad relativa: 0.51% - Altitud: 395 m.s.n.m | | | | | | |

**…continuación de la Tabla 1**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No. MUESTRA** | **FECHA DE MONITOREO** | **HORA TOMA DE MUESTRA** | **NOMBRE DEL PUNTO** | **COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL** | | **FOTOGRAFÍA** |
| **Este** | **Norte** |
| **PLAN DE MUESTREO: 20164** | | | | | | |
| MI513131 | 11/04/25 | 13:06 | PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA | 5044220 | 2133458 |  |
| **Descripción del punto:** nto de monitoreo ubicado al costado derecho de la vía que conduce a la bocatoma del CPF Cupiagua y 100 m antes de la confluencia con el Río Unete. Se evidencia topografía irregular, compuesta por vegetación arbórea y arbustiva. Se observa punto de salida por tubería metálica con presencia de corrosión. La muestra se apreció de una tonalidad amarillo claro, sin olor, ni iridiscencia.  **Condiciones ambientales:** Dia Soleado - Temperatura ambiente: 31,7°C°C - Humedad relativa: 0.57% - Altitud: None m.s.n.m | | | | | | |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Figura 2**. Ubicación de los puntos de monitoreo de aguas lluvias ocasionalmente aceitosas en el CPF Cupiagua –  
Campo Cupiagua.



**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

## METODOLOGÍA DE MONITOREO FISICOQUÍMICO

### Metodología de muestreo simple

En el estudio de calidad fisicoquímica de las aguas lluvia ocasionalmente aceitosas, se tomaron las muestras a través de la recolección directa a una hora determinada, reflejando así las características físicas y químicas instantáneas del agua residual no doméstica; para esto se sigue el Procedimiento de Toma de Muestras de Aguas establecido en el Laboratorio ChemiLab (PGC 04 004), el cual se encuentra acreditado según la Resolución 1042 del 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.

La toma de muestras se realizó de manera puntual en el punto de descarga al río Unete, con mediciones In situ de caudal, pH,y sólidos sedimentables. 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. Esta se debe tomar directamente de la fuente en un balde, teniendo en cuenta el volumen establecido.

### Metodología de muestreo compuesto

Para la realización del muestreo de aguas lluvia ocasionalmente aceitosas requerido en los puntos ubicados en el CPF Cupiagua, se siguió el Procedimiento de toma de muestras de agua establecido en el Laboratorio ChemiLab (PGC 04 004), el cual se encuentra acreditado según Resolución 1042 del 26 de septiembre de 2024 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Se realizó un monitoreo compuesto en un período comprendido de cuatro horas, llevado a cabo en los puntos del Afluente y Efluente sistema aguas lluvias ocasionalmente aceitosas del CPF Cupiagua. Tomando alícuotas y realizando mediciones de parámetros in situ (caudal, pH y sólidos sedimentables) en ambos puntos cada media hora, al final de la jornada se realizó un compuesto en donde las alícuotas se toman de las muestras almacenadas y dependen directamente del caudal medido, finalmente se realiza el envasado de las muestras acorde a los requerimientos para cada analito. Las muestras para aceites y grasas e hidrocarburos se toman directamente de la fuente que se está muestreando.

### Aforo volumétrico

Este método se aplica para tubería o canal abierto, cuando el vertimiento presenta una caída de agua en la cual se pueda interponer un recipiente; se requiere un cronómetro y un recipiente aforado (balde de 10 litros o 20 litros con graduaciones de 1L, o caneca de 55 galones con graduaciones de 1 galón a 5 galones). Se utiliza un balde para caudales bajos o una caneca cuando se deban manejar grandes caudales.

El recipiente se purgó dos o tres veces con porciones de aproximadamente 1L (para el balde) o 10L (para la caneca) del efluente, que se desechan. Luego se colocó el recipiente bajo la descarga de tal manera que reciba todo el flujo; de manera simultánea se activa el cronómetro. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella.

### Preservación y transporte de muestras

Se utilizaron 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 mantuvieron la cadena de frío requerida y en el Anexo No. 5 (Documentos de campo), se estableció 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)** |
| --- | --- | --- | --- |
| Acidez | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 100 |
| Alcalinidad total | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 500 |
| Cianuro Total | NaOH pH >12 a 12,5 Refrigerar  ≤ 6 °C en oscuridad Adicionar tiosulfato de sodio si hay presencia de Cloro residual. 1 | Plástico, Vidrio ámbar | 1000 |
| Cloruros | No requiere preservantes, ni refrigeración. | Plástico, Vidrio | 100 |
| Color verdadero | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 500 |
| Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX) | Refrigerar 4±2 °C, adicionar 2 mL de ácido nítrico (HNO3) por litro de muestra pH < 2. Muestras con agentes oxidantes 10 mL de sulfito de sodio 1 M por litro de muestra | Plástico, Vidrio, ámbar con tapa PTFE o cubrimiento de papel aluminio | 1000 o 500 mL sin espacio de cabeza |
| Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX) | Refrigerar ≤ 6°C | Vidrio, Vial ámbar HeadSpace o Frasco Ámbar de vidrio. Mínimo dos muestras con tapa Politetrafluoroetileno o cubrimiento papel aluminio | 40 mL o 90 mL sin espacio de cabeza. |
| DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) | Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 1000  sin presencia de burbujas |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | H2SO4 pH < 2. Refrigerar ≤ 6 °C | Vidrio, Plástico | 100 |
| Dureza Cálcica | HNO3 o H2SO4 pH < 2 | Plástico, Vidrio | 100 |
| Dureza Total | HNO3 o H2SO4 pH < 2 | Plástico, Vidrio | 100 |
| Fenoles | H2SO4 pH < 2. Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 1000 |
| Fluoruros | No requiere | Plástico | 500 |
| Fósforo Reactivo Disuelto (Leído como Ortofosfato) | Refrigerar ≤ 6 °C | Vidrio | 300 |
| Fósforo total | H2SO4 pH < 2. Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 100 |
| Grasas y Aceites | H2SO4 o HCl pH < 2. Refrigerar ≤ 6 °C | Vidrio boca ancha | 1000 |
| HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) | Refrigerar a ≤ 6°C, si la muestra contiene cloro residual adicionar 0,8 mL de tiosulfato de sodio al 10 % en el litro de muestra | Vidrio, ámbar con tapa Politetrafluoroetileno o cubrimiento de papel aluminio | 1000 sin espacio de cabeza |
| 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 |
| Nitrógeno Amoniacal | H2SO4 pH < 2. Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 500 |
| Nitrógeno total | Temperatura de transporte (5 ± 3 ° C) Temperatura de conservación (3 ± 2°C) preserve pH ≤ 2. HCl o H2SO4 | Recipientes de Polietileno o Vidrio. | 500 |
| Sólidos Suspendidos Totales | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 1000 |
| Sulfatos | Refrigerar ≤ 6 °C | Plástico, Vidrio | 200 |
| Sulfuros | 4 gotas Acetato de Zinc 2N por cada 100 mL NaOH a pH > 9. Refrigerar ≤6°C | Plástico, Vidrio | 100 |
| Surfactantes: Aniónicos como SAAM | Refrigerar ≤ 6°C | Plástico, Vidrio | 250 |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025)

### Metodología de medición y análisis de variables.

Las determinaciones fisicoquímicas tanto en campo como en el laboratorio se efectuaron siguiendo estrictamente las metodologías 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), tal como se muestra en la **Tabla 3**.

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

| **Item** | **Parámetro** | **Método** | **Técnica** | **Límite de**  **Cuantificación** | **Unidad** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Acidez\* | SM 2310 B, Ed.23 2017 | Volumetría | 5,00 | mg CaCO3/L |
| 2 | Alcalinidad total\* | SM 2320 B, Ed. 23 2017 | Volumetría | 6,04 | mg CaCO3/L |
| 3 | Arsénico Total\* | EPA 7062, SM 3114 C, Ed.23 2017 | Absorción Atómica- Generación de hidruros | 0,00250 | mg As/L |
| 4 | Bario Total\* | SM 3030 E, SM 3111 D, Ed.23 2017 | Absorción Atómica- Llama Óxido Nitroso -Acetileno | 0,500 | mg Ba/L |
| 5 | Cadmio Total E\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,000250 | mg Cd/L |
| 6 | Caudal\* | Protocolo del monitoreo de agua y seguimiento del agua 2021 del IDEAM Numeral 8.1.2 | Volumétrico | N.A | L/S |
| 7 | Cianuro Total\* | ASTM D7511, 2017 | Electrometría | 0,0100 | mg CN-/L |
| 8 | Cloruros\* | SM 4500 Cl-B Ed.23 2017 | Volumetría | 9,90 | mg Cl-/L |
| 9 | Cobre Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Cu/L |
| 10 | Color verdadero\* | ISO 7887-2011 Método B | Espectrofotometría | N.A | a(436nm)m-1 |
| 10 | Color verdadero\* | ISO 7887-2011 Método B | Espectrofotometría | N.A | a(525nm)m-1 |
| 10 | Color verdadero\* | ISO 7887-2011 Método B | Espectrofotometría | N.A | a(620nm)m-1 |
| 11 | Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX) \* | ISO 9562:2004 | Microcolumbiometria | 0,0500 | mg/L |
| 12 | Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX)\* | | | | |
| 12.1 | Benceno\* | EPA 5021A:2014 / EPA 8015C:2007 | Cromatografía HeadSpace-CG/FID | 0,0100 | mg/L |
| 12.2 | Tolueno\* | EPA 5021A:2014 / EPA 8015C:2007 | Cromatografía HeadSpace-CG/FID | 0,0100 | mg/L |
| 12.3 | Etilbenceno\* | EPA 5021A:2014 / EPA 8015C:2007 | Cromatografía HeadSpace-CG/FID | 0,0100 | mg/L |
| 12.4 | o-xileno\* | EPA 5021A:2014 / EPA 8015C:2007 | Cromatografía HeadSpace-CG/FID | 0,0100 | mg/L |
| 12.5 | m+p-xileno\* | EPA 5021A:2014 / EPA 8015C:2007 | Cromatografía HeadSpace-CG/FID | 0,0200 | mg/L |
| 13 | Cromo Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Cr/L |
| 14 | DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)\* | SM 5210 B Ed.23 2017, ASTM D 888 METODO C 2018 | Fotometría | 2,00 | mg O2/L |
| 15 | Demanda Química de Oxígeno (DQO)\* | SM 5220D, Ed. 23 2017 | Espectrofotometría | 0,500 | mg O2/L |
| 16 | Dureza Cálcica\* | SM 3500 Ca-B, Ed.23 2017 | Volumetría | 5,00 | mg CaCO3/L |
| 17 | Dureza Total\* | SM 2340 C Ed.23 2017 | Volumetría | 5,00 | mg CaCO3/L |
| 18 | Fenoles\* | SM 5530 B,D, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,100 | mg Fenol/L |
| 19 | Fluoruros\* | SM 4500 F- B,C, Ed.23 2017 | Electrometría | 0,100 | mg F-/L |
| 20 | Fósforo Reactivo Disuelto (Leído como Ortofosfato)\* | SM 4500-P B.1, E, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,0700 | mg/L P-PO4 |
| 21 | Fósforo total\* | SM 4500-P B.5,E, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,0700 | mg P/L |
| 22 | Grasas y Aceites\* | NTC 3362, Método C, 2011 | Espectrofotometría | 0,200 | mg/L |
| 23 | HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)\* | | | | |
| 23.1 | Naftaleno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.2 | Acenafteno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.3 | Acenaftileno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.4 | Antraceno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.5 | Benzo (a)antraceno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.6 | Benzo (a)pireno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.7 | Benzo (b)fluoranteno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.8 | Benzo (g,h,i)perileno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.9 | Criseno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.10 | Dibenzo(a,h) antraceno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.11 | Fluoranteno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.12 | Fluoreno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.13 | Indenol (1,2,3-cd)pireno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.14 | Fenantreno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.15 | Pireno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 23.16 | Benzo(k) fluoranteno\* | EPA 3510C 1996/EPA 8100 1986 | Cromatografía, CG/FID | 0,00200 | mg/L |
| 24 | Hidrocarburos \* | NTC 3362:2005, Métodos C, F | Espectrofotometría | 0,200 | mg/L |
| 25 | Hierro Total\* | SM 3030 E, SM 3111 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Llama Aire Acetileno | 0,200 | mg Fe/L |
| 26 | Mercurio Total\* | SM 3112 B Ed.23 2017 | Absorción Atómica - Vapor Frío | 0,00100 | mg Hg/L |
| 27 | Níquel Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Ni/L |
| 28 | Nitratos\* | SM 4500 NO3 D Ed.23 2017 | Electrometría | 1,00 | mg N-NO3/L |
| 29 | Nitrógeno Amoniacal\* | SM 4500 NH3 B, C, Ed.23 2017 | Volumetría | 1,00 | mg/L NH3-N |
| 30 | Nitrógeno Total\* | UNE EN ISO 20236:2022 | Combustión | 0,500 | mg/L |
| 31 | pH\* In situ | SM 4500 H+B, Ed. 23 2017 | Electrometría | 1,679 | Unidades de pH |
| 32 | Plata Total\* | SM 3030 E, SM 3111 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Llama Aire Acetileno | 0,0500 | mg Ag/L |
| 33 | Plomo Total\* | SM 3030 E, SM 3113 B, Ed. 23 2017 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,00100 | mg Pb/L |
| 34 | Selenio Total\* | EPA 7742 1994, SM 3114 C Ed. 23 2017 | Absorción Atómica- Generación de hidruros | 0,00250 | mg/L |
| 35 | Sólidos sedimentables\*  (In situ) | SM 2540 F, Ed.23 2017 | Volumetría | 0,100 | mL/L |
| 36 | Sólidos Suspendidos Totales\* | SM 2540 D, Ed.23 2017 | Gravimetría | 10,0 | mg/L |
| 37 | Sulfatos\* | SM 4500-SO4-2 E, Ed.23 2017 | Turbidimetría | 5,00 | mg SO4/L |
| 38 | Sulfuros\* | SM 4500 S2 CF, Ed.23 2017 | Volumetría | 1,00 | mg S2-/L |
| 39 | Surfactantes Aniónicos como SAAM\* | SM 5540C, Ed.23 2017 | Espectrofotometría | 0,500 | mg SAAM/L... |
| 40 | Vanadio Total\* | EPA 3020A:1992, EPA 7010:2007 | Absorción Atómica-Horno de Grafito (Electrotérmico) | 0,0100 | mg V/L |
| 41 | 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 XX\_RESOLUCION\_XX

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. (2025).

1. RESULTADOS Y ANÁLISIS

## RESULTADOS DE LAS MEDICIONES IN SITU

En la **Tabla 4** y **Tabla 5** se presentan los resultados de las alícuotas obtenidas en los puntos de monitoreo Afluente y Efluente sistema aguas lluvias ocasionalmente aceitosas del CPF Cupiagua. Cabe resaltar que en el Punto de descarga al Río Unete se realizó medición puntual de estos parámetros, los cuales son presentados en la **Tabla 6**.

**Tabla 4.** Resultados In Situ del AFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD): 2xxx-xx-xx** | | | **Código de la muestra: MIXXXXXX** | | | |
| **Hora** | **pH (Unidades de pH) \*** | | | **Sólidos sedimentables (mL/L) \*** | | **Caudal (L/s) \*** |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | | **Valor reportado** | **Incertidumbre** |
| 08:00 | 4.85 | ±0.0485 | | <0,1 | N.E. | 3.46 |
| 08:30 | 4.99 | ±0.0499 | | - | - | 3.84 |
| 09:00 | 6.31 | ±0.0631 | | <0,1 | N.E. | 4.34 |
| 09:30 | 6.23 | ±0.0623 | | - | - | 3.84 |
| 10:00 | 6.45 | ±0.0645 | | <0,1 | N.E. | 4.11 |
| 10:30 | 6.32 | ±0.0632 | | - | - | 4 |
| 11:00 | 5.98 | ±0.0598 | | <0,1 | N.E. | 3.84 |
| 11:30 | 5.88 | ±0.0588 | | - | - | 4.44 |
| 12:00 | 5.79 | ±0.0579 | | <0,1 | N.E. | 4.32 |
| **Promedio** | **5.8** | 4.85 | | **<0,1** | N.E. | **4.03** |
| **Valor mínimo** | 4.85 | | | <0,1 | | 3.46 |
| **Valor Máximo** | 6.45 | | | <0,1 | | 4.44 |
| **Resolución 0631/2015- Art. 11. Lím. Mín.** | 6,0 | | | - | | - |
| **Resolución 0631/2015- Art. 11. Lím. Máx.** | 9,0 | | | 1,00 | | - |

\* ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante XX\_RESOLUCION\_XX

(-) Parámetro no regulado por la normativa.

(N.E.); 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.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Tabla 5.** Resultados In Situ del EFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD): 2xxx-xx-xx** | | | **Código de la muestra: MIXXXXXX** | | | |
| **Hora** | **pH (Unidades de pH) \*** | | | **Sólidos sedimentables (mL/L) \*** | | **Caudal (L/s) \*** |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | | **Valor reportado** | **Incertidumbre** |
| 08:15 | 7.21 | ±0.0721 | | <0,1 | N.E. | 3.93 |
| 08:45 | 7.31 | ±0.0731 | | - | - | 3.70 |
| 09:15 | 7.42 | ±0.0742 | | <0,1 | N.E. | 4 |
| 09:45 | 7.13 | ±0.0713 | | - | - | 3.57 |
| 10:15 | 7.28 | ±0.0728 | | <0,1 | N.E. | 3.96 |
| 10:45 | 7.31 | ±0.0731 | | - | - | 4.04 |
| 11:15 | 7.26 | ±0.0726 | | <0,1 | N.E. | 3.12 |
| 11:45 | 7.45 | ±0.0745 | | - | - | 3.17 |
| 12:15 | 7.14 | ±0.0714 | | <0,1 | N.E. | 2.93 |
| **Promedio** | **7.2** | 7.13 | | **<0,1** | N.E. | **3.61** |
| **Valor mínimo** | 7.13 | | | <0,1 | | 2.93 |
| **Valor Máximo** | 7.45 | | | <0,1 | | 4.04 |
| **Resolución 0631/2015- Art. 11. Lím. Mín.** | 6,0 | | | - | | - |
| **Resolución 0631/2015- Art. 11. Lím. Máx.** | 9,0 | | | 1,00 | | - |

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

(-) Parámetro no regulado por la normativa.

(N.E.); 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.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Tabla 6.** Resultados In Situ del PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Unidad** | **Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)** | **PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA** | | **Resolución 0631/2015** |
| **MIXXXXXX** | |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Artículo 11** |
| Caudal\* | L/S | 2025-04-11 | 0,431 | N.A. | - |
| pH\* In situ | Unidades de pH | 2025-04-11 | 7,21 | +/- 0,0721 | 6 - 9 |
| Sólidos sedimentables\*  (In situ) | mL/L | 2025-04-11 | <0,100 | N.E. | 1,00 |

\* ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante XX\_RESOLUCION\_XX

(-) Parámetro no regulado por la normativa.

(N.A.): No aplica.

(N.E.): 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.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025)

## RESULTADOS DE LABORATORIO

En la **Tabla 7**, se presentan los resultados del análisis de laboratorio en los puntos de monitoreo XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXXX XXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX X XXXXX XX XXXXXXXX XX XXX XXXXX XX XXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XX XXX XXXXXXXX.

Adicionalmente, se presenta la comparación normativa con lo definido en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015, el cual establece los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de agua superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo, crudo, gas natural y derivados).

**Tabla 7.** Resultados de laboratorio

| **PARÁMETRO** | **UNIDAD** | **FECHA DE ANÁLISIS**  **(AAAA-MM-DD)** | **AFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA** | | **Resolución 0631/2015** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **MI513129** | |
| **Valor reportado** | **Incertidumbre** | **Artículo 11** |
| Acidez\* | mg CaCO3/L | 2025-04-12 | 32,1 | +/- 0,994 | Análisis y reporte |
| Alcalinidad total\* | mg CaCO3/L | 2025-04-12 | 14,0 | +/- 0,0985 | Análisis y reporte |
| Arsénico Total\* | mg As/L | 2025-04-16 | <0,00250 | N.E. | 0,10 |
| Bario Total\* | mg Ba/L | 2025-04-24 | <0,500 | N.E. | Análisis y reporte |
| Cadmio Total E\* | mg Cd/L | 2025-04-22 | <0,000250 | N.E. | 0,10 |
| Cianuro Total\* | mg CN-/L | 2025-04-16 | <0,0100 | N.E. | 1,00 |
| Cloruros\* | mg Cl-/L | 2025-04-16 | 14,7 | +/- 0,154 | 1200 |
| Cobre Total\* | mg Cu/L | 2025-04-24 | <0,00100 | N.E. | 1,00 |
| Color verdadero\* | a(436nm)m-1 | 2025-04-12 | 0,475 | +/- 0,0156 | Análisis y reporte |
| Color verdadero\* | a(525nm)m-1 | 2025-04-12 | 0,242 | +/- 0,00794 | Análisis y reporte |
| Color verdadero\* | a(620nm)m-1 | 2025-04-12 | 0,144 | +/- 0,00472 | Análisis y reporte |
| Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX) \* | mg/L | 2025-04-14 | <0,0500 | N.E. | Análisis y reporte |
| Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX)\* | |  |  |  |  |
| Benceno\* | mg/L | 2025-05-05 | <0,01 | N.E. | Análisis y reporte |
| Tolueno\* | mg/L | 2025-05-05 | 0,04104 | +/- 0,000111 | Análisis y reporte |
| Etilbenceno\* | mg/L | 2025-05-05 | <0,01 | N.E. | Análisis y reporte |
| o-xileno\* | mg/L | 2025-05-05 | 0,0247 | +/- 0,0000625 | Análisis y reporte |
| m+p-xileno\* | mg/L | 2025-05-05 | 0,05366 | +/- 0,000145 | Análisis y reporte |
| Cromo Total\* | mg Cr/L | 2025-04-22 | <0,00100 | N.E. | 0,50 |
| DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)\* | mg O2/L | 2025-04-12 - 2025-04 -17 | 36,1 | +/- 3,32 | 60 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)\* | mg O2/L | 2025-04-15 | 72,2 | +/- 6,16 | 180 |
| Dureza Cálcica\* | mg CaCO3/L | 2025-04-16 | 21,0 | +/- 0,415 | Análisis y reporte |
| Dureza Total\* | mg CaCO3/L | 2025-04-16 | 22,2 | +/- 0,202 | Análisis y reporte |
| Fenoles\* | mg Fenol /L | 2025-04-15 | <0,100 | N.E. | 0,20 |
| Fluoruros\* | mg F-/L | 2025-04-15 | <0,100 | N.E. | Análisis y reporte |
| Fósforo Reactivo Disuelto (Leído como Ortofosfato)\* | mg/L P-PO4 | 2025-04-12 | <0,0700 | N.E. | Análisis y reporte |
| Fósforo total\* | mg P/L | 2025-04-15 | 0,171 | +/- 0,00922 | Análisis y reporte |
| Grasas y Aceites\* | mg/L | 2025-04-16 | 3,33 | +/- 0,219 | 15,0 |
| HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)\* | |  |  |  |  |
| Naftaleno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Acenafteno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Acenaftileno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Antraceno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Benzo (a)antraceno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Benzo (a)pireno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Benzo (b)fluoranteno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Benzo (g,h,i)perileno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Criseno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Dibenzo(a,h) antraceno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Fluoranteno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Fluoreno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Indenol (1,2,3-cd)pireno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Fenantreno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Pireno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Benzo(k) fluoranteno\* | mg/L | 2025-05-08 | <0,002 | N.E. | Análisis y reporte |
| Hidrocarburos \* | mg/L | 2025-04-16 | 1,81 | +/- 0,102 | 10,0 |
| Hierro Total\* | mg Fe/L | 2025-04-23 | 3,78 | +/- 0,197 | 3,00 |
| Mercurio Total\* | mg Hg/L | 2025-04-26 | <0,00100 | N.E. | 0,01 |
| Níquel Total\* | mg Ni/L | 2025-04-15 | <0,00100 | N.E. | 0,50 |
| Nitratos\* | mg N-NO3/L | 2025-04-12 | 1,06 | +/- 0,0918 | Análisis y reporte |
| Nitrógeno Amoniacal\* | mg/L NH3-N | 2025-04-16 | <1,00 | N.E. | Análisis y reporte |
| Nitrógeno Total\* | mg /L | 2025-04-22 | 1,75 | +/- 0,0623 | 10,0 |
| Plata Total\* | mg Ag/L | 2025-04-24 | <0,0500 | N.E. | Análisis y reporte |
| Plomo Total\* | mg Pb/L | 2025-04-22 | <0,00100 | N.E. | 0,20 |
| Selenio Total\* | mg /L | 2025-04-21 | <0,00250 | N.E. | 0,20 |
| Sólidos Suspendidos Totales\* | mg/L | 2025-04-14 | 18,5 | +/- 0,481 | 50,0 |
| Sulfatos\* | mg SO4/L | 2025-04-19 | 7,98 | +/- 0,396 | 300 |
| Sulfuros\* | mg S2-/L | 2025-04-16 | <1,00 | N.E. | 1,00 |
| Surfactantes Aniónicos como SAAM\* | mg SAAM /L... | 2025-04-12 | <0,500 | N.E. | Análisis y reporte |
| Vanadio Total\* | mg V/L | 2025-04-24 | <0,0100 | N.E. | 1,00 |
| Zinc Total\* | mg Zn/L | 2025-04-23 | 0,137 | +/- 0,00938 | 3,00 |

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

(-) Parámetro no regulado por la normativa.

(N.A.): No aplica.

(N.E.): 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.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

## ANÁLISIS DE MEDICIONES IN SITU

### Caudal

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.

Las mediciones de *Caudal* presentaron en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, valores que oscilan entre X, XX L/S (XX: XX horas) y X, XX L/S (XX: XX horas), reportando un valor promedio de ***X,XX L/S***. Por otro lado, el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX registró valores desde X, XX L/S (XX: XX horas) hasta X, XX L/S (XX: XX horas) reportando un valor promedio de ***X,XX L/S***(**Gráfica 2**). Entre tanto, el XXXXX XX XXXXXXXX XX XXX XXXXX XX XXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX reportó un caudal de ***X,XXX L/S***(**Gráfica 3**). Normativamente, este parámetro no se encuentra regulado en el marco legal aplicable, por lo tanto, no es posible emitir un juicio de cumplimiento.

**Gráfica 2.** Comportamiento del Caudal en el Afluente y el Efluente

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 3.** Comportamiento del Caudal

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025)

### pH

El término pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno, o más exactamente, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez o alcalinidad totales (Romero, 2009).

El parámetro *pH* en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX presentó datos que oscilan entre X, XX Unidades de pH (XX: XX horas) y X,XX Unidades de pH (XX: XX horas), reportando un valor promedio de ***X,XX Unidades de pH***. Por su parte, el punto denominado XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX presentó valores que oscilan entre X,XX Unidades de pH (XX: XX horas) y X,XX Unidades de pH (XX: XX horas) reportando un valor promedio de ***X,XX Unidades de pH*** (**Gráfica 4**). Por último, el   
XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX registró un valor de ***X,XX Unidades de pH*** (**Gráfica 5**). De este modo, los valores promedios registrados en el Afluente y Efluente evidencian un carácter “*xxxxxx*”, mientras que el valor reportado en el punto de descarga refleja un carácter “xxxxxxxxxxx *xxxxx*”. Normativamente, el valor reportado en el   
XXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX se encuentra dentro del rango establecido en el   
Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), por lo tanto, es posible indicar que se presenta cumplimiento respecto al requerimiento.

**Gráfica 4**. Comportamiento del pH en el Afluente y Efluente

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 5.** Comportamiento del pH

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

### Sólidos sedimentables

Los sólidos se refieren a materia suspendida o disuelta en agua o aguas residuales; Los sólidos sedimentables son aquellos que tiene un tamaño de 10 mµ y que se desprenden de la suspensión en un tiempo determinado y están constituidos por partículas más densas que el agua, en relación con los sólidos sedimentables equivale al volumen de material que se deposita en la parte inferior del cono Imhoff en determinado tiempo (IDEAM, 2001).

Los *Sólidos Sedimentables* en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, reportaron valores inferiores al límite de cuantificación del método empleado en campo para su determinación (***X,XXX mL/L***), por lo cual se establece un xxxx volumen de material sedimentable (**Gráfica 6**). Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS), establece en su Artículo 11 un límite máximo permisible de 1,00 mL/L, el cual xx es excedido en el XXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, generándose cumplimiento.

**Gráfica 6.** Comportamiento de los Sólidos Sedimentables.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025)

## ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO

### Acidez y alcalinidad

La acidez es la capacidad de amortiguación de una sustancia de resistir un cambio de pH cuando se hace reaccionar con una base fuerte, se determina por valoración con hidróxido de sodio (NaOH). La acidez en el agua es originada por diversas fuentes: ácidos orgánicos débiles, tales como CO₂ disuelto en ácido carbónico, ácido acético, y ácido tánico; ácido mineral fuerte, tal como sulfúrico y clorhídrico; y sales de metales de hierro, aluminio y manganeso. Los altos niveles de ácidos minerales fuertes son indicativos de contaminación antropogénico (Hanna, 2019). La alcalinidad del agua es también conocida como capacidad buffer del agua. En general, la alcalinidad del agua se debe a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos en solución, los cuales son muy comunes en las aguas subterráneas debido al lavado de las rocas (Intagri, 2016).

El parámetro **Acidez** reportó en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX un valor de ***X,XX*** ***mg CaCO3/L***, mientras que los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX obtuvieron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XX mg CaCO3/L***) (**Gráfica 7**). Por otra parte, la **Alcalinidad Total** en los puntos de monitoreo XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX reportó concentraciones de ***X,XX mg CaCO3/L***, ***X,XX mg CaCO3/L*** y ***X,XX mg CaCO3/L***, respectivamente (**Gráfica 7**). Es importante mencionar, que los resultados obtenidos, son característicos del tipo de tratamiento realizado y son considerados aceptables, al indicar una baja acidez del medio y valores de alcalinidad que corresponden a concentraciones débiles al ser inferiores a 50 mg CaCO3/L (Metcalf & Eddy, 1995). Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS), en su Artículo 11, establece el “análisis y reporte” para estos dos analitos, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para estos parámetros, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

**Gráfica 7**. Comportamiento de la Acidez y la Alcalinidad Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

### Cianuro total

El cianuro es un grupo químico que consiste en un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno por tres enlaces (C=N). Los cianuros pueden ocurrir en forma natural o ser manufacturados; no obstante, algunas bacterias, hongos y algas pueden producir cianuro en bajas cantidades. Por lo que la mayoría de los cianuros en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero. Otras fuentes de cianuro son el tubo de escape de vehículos, liberaciones desde algunas industrias químicas, la incineración de basura municipal y el uso de plaguicidas que contienen cianuro (ATSDR , 2016).

El *Cianuro Total* reportó concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XXXX mg CN-/L***) en las muestras analizadas (**Gráfica 8**), por lo cual se puede inferir un bajo o nulo contenido de este compuesto en los puntos de monitoreo evaluados. De este modo, el resultado obtenido en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, se encuentra por debajo del límite máximo permisible de 1,00 mg/L establecido en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), generándose cumplimiento normativo y descartando la afectación por parte de este tipo de compuestos en el recurso hídrico.

**Gráfica 8.** Comportamiento del Cianuro Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025)

### 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 parámetro *Cloruros* reportó en los puntos de monitoreo XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XX mg Cl-/L***)(**Gráfica 9**).

Evidenciando de esta manera que las concentraciones reportadas no suponen niveles elevados, al presentar valores inferiores al límite máximo permisible estipulado por el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015, el cual establece un valor de 1200 mg/L. Por lo tanto, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

**Gráfica 9**. Comportamiento de los Cloruros.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025)

Por su parte, el parámetro *Sulfatos* registró concentraciones de ***27,8 mg SO4/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX,   
***XX,X mg SO4/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***XX,X mg SO4/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, como se observa en la**Gráfica 10**.

Normativamente, se observa que los valores en los tres (3) puntos de monitoreo nosuperan el valor máximo permisible de 300 mg SO4/L establecido en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), en especial el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA, el cual es objeto de aplicación a la norma, por lo tanto, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro. De manera análoga, los resultados obtenidos permiten descartar una afectación sobre la calidad del agua residual evaluada y el cuerpo de agua receptor del vertimiento (Río Unete).

**Gráfica 10.** Comportamiento de los Sulfatos.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### Color Verdadero

El color verdadero a tres longitudes de onda es una ayuda para obtener un indicio de qué tipo de contaminación por color está afectando la calidad del agua evaluada, ya que usa la relación de los colores primarios con las respectivas longitudes de onda propuestas (436 nm: amarillo, 525 nm: rojo, 620 nm: azul) (Martinez & Osorio, 2018).

El *Color verdadero* analizado a tres longitudes, en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, reportó valores de  
***X,XX a(436nm)m-1, X,XXX a(525nm)m-1*** y ***X,XXX a(620nm)m-1***; el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX obtuvo valores de  
***X,XX a(436nm)m-1***, ***X,XX a(525nm)m-1*** y ***X,XXX a(620nm)m-1***; por último, el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX reportó valores de ***X,XXX a(436nm)m-1***, ***X,XXX a(525nm)m-1*** y  
***X,XXX a(620nm)m-1.*** Por consiguiente, los resultados presentados indican que, en las tres muestras de agua evaluadas, predomina una longitud de onda ***a(XXXnm) m-1***.

Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS) en el Artículo 11 establece el “análisis y reporte”, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

### Compuestos orgánicos volátiles (BTEX)

Los compuestos orgánicos volátiles (BTEX) son un grupo de compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a la familia de los hidrocarburos aromáticos, que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua, pero muy solubles en otras sustancias. Este alto poder disolvente hace que dichos compuestos, sobre todo tolueno y xileno, sean muy apreciados por la industria. Estos pueden proceder de fuentes naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) o artificiales, siendo estas últimas las más importantes (Enel - Codensa, 2019).

El parámetro *Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX)* registró en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX concentraciones inferiores a los límites mínimos de cuantificación de los métodos analíticos, correspondientes a ***<X,XX mg/L*** para el Benceno, Tolueno, Etilbenceno y o-xileno, y ***<X,XX mg/L*** para el m+p-xileno (**Tabla 7**), por lo tanto, se considera que el recurso hídrico evaluado no presenta afectación por parte de estos compuestos, al reportar bajas o nulas concentraciones, así mismo, encontrándose por debajo del rango normal (0,39 mg/L – 35 mg/L) de aguas residuales industriales (Elmobarak et al., 2021).

Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS), establece realizar el “análisis y reporte” en el Artículo 11, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de oxígeno (DQO)

La Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) permite determinar la concentración de la materia orgánica biodegradable por un grupo de microorganismos en aguas y aguas residuales (Román-Valencia, Lehmann, & Muñoz, 1999), en pocas palabras es el consumo de oxígeno por parte de organismos descomponedores de materia orgánica, por lo que entre más alta sea la concentración de nutrientes, más elevado va a ser el consumo de O2.

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos químicos, tanto orgánicos como inorgánicos, presentes en el agua, por la acción de agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido. Su significado ambiental tiene que ver con la presencia de especies químicas susceptibles de ser oxidadas: por ejemplo, la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, además del hierro ferroso y otras especies químicas oxidables (IDEAM, 2001).

El parámetro *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)* registró concentraciones de   
***XX,X mg O2/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***XX,X mg O2/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***X,XX mg O2/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 11**); evidenciando de esta manera una eficiencia de remoción en el sistema de tratamiento, permitiendo que el consumo de oxígeno por parte de microorganismos para la degradación de materia orgánica en el punto de descarga sea menor respecto a la concentración del afluente.

Normativamente, el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), estipula que la Demanda Bioquímica de Oxígeno, no debe sobrepasar una concentración de 60 mg O2/L, por lo tanto, el resultado obtenido en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA cumple con el lineamiento normativo, al reportar un valor inferior a dicho límite.

Por otra parte, el parámetro *Demanda Química de Oxígeno (DQO)* registró concentraciones de ***XX,X mg O2/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***XX,X mg O2/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***X,XX mg O2/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, evidenciando una disminución de la DQO en el punto de descarga con respecto al afluente (**Gráfica 11**). Normativamente, el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), estipula una concentración máxima permisible de 180 mg O2/L, por lo tanto, el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA cumple con el lineamiento normativo, al reportar un valor inferior a dicho límite.

**Gráfica 11.** Comportamiento de la DBO5 y DQO.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### Dureza Total y Dureza Cálcica

La Dureza se denomina la concentración de compuestos minerales en el agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales en el agua, este tipo de agua repercute directamente en las tuberías o sistemas de transporte de agua, ya que esta genera incrustaciones en las tuberías, disminuyendo la cantidad y la presión de este recurso. El origen de la dureza es resultado de la presencia de sales de magnesio y calcio en el agua, depende fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación. Las aguas subterráneas que atraviesan acuíferos carbonatados (calizas) son las que presentan mayor dureza y dichos acuíferos están formados por carbonatos de calcio y magnesio (Facsa, 2017).

**Tabla 8.** Clasificación de la dureza.

|  |  |
| --- | --- |
| **Clasificación** | **Dureza (mg/L CaCO3)** |
| Blanda | 0 - 75 |
| Moderadamente dura | 75 - 150 |
| Dura | 150 - 300 |
| Muy dura | >300 |

**Fuente**: (Maldonado-Ocampo, y otros, 2005)

En el caso de la *Dureza Cálcica*, se reportaron concentraciones de ***XX,X mg CaCO3/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***XX,X mg CaCO3/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***XX,X mg CaCO3/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 12**).

Por su parte, la *Dureza Total* registró concentraciones de ***XX,X mg CaCO3/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX,  ***XX,X mg CaCO3/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***XX,X mg CaCO3/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 12**); resultados que, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), son aceptables, ya que la concentración de dureza total de calcio es admisible hasta los 180 mg/L, encontrándose dentro de los rangos normales para este parámetro según la literatura, a su vez, de acuerdo con los resultados obtenidos de dureza total, es posible clasificar las muestras analizadas como “*Xxxxxx*”, según los rangos establecidos en la **Tabla 8**.

Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS), en el Artículo 11, establece que para los parámetros Dureza Cálcica y Dureza Total se realice “análisis y reporte”, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

**Gráfica 12**. Comportamiento de la Dureza Cálcica y Dureza Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

### Fenoles

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. Estos compuestos son considerados residuos tóxicos para el ser humano al entrar al cuerpo por medio de inhalación, ingesta o contacto con la piel; además, los fenoles generan efectos nocivos sobre los organismos acuáticos (Universidad de Burgos, 2019).

El parámetro *Fenoles* registró concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XXX mg Fenol/L***) en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y   
XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 13**), indicando un bajo o nulo contenido de este tipo de compuestos en las muestras analizadas.

Adicionalmente, se observa que el resultado presentado en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es inferior al límite máximo permisible correspondiente a 0,20 mg Fenol/L, estipulado en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), presentando cumplimiento con el requerimiento normativo, descartando en consecuencia, una posible afectación sobre el cuerpo de agua receptor del vertimiento (Río Unete).

**Gráfica 13.** Comportamiento de los Fenoles.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### Fluoruros

Los fluoruros son definidos propiamente como compuestos binarios o sales de flúor y otro elemento. Los fluoruros se encuentran naturalmente en rocas, en el suelo, y en carbón y arcilla en la corteza terrestre. Se liberan al aire en polvo que levanta el viento. En el agua, los fluoruros se asocian con varios elementos presentes en el agua, principalmente con aluminio en agua dulce y con calcio y magnesio en agua de mar, y se depositan en el sedimento, en donde se adhieren fuertemente a partículas en el sedimento (ATSDR, 2003).

El parámetro *Fluoruros* registró un valor inferior al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XXX*** ***mg F-/L***)en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, una concentración de ***X,XXX*** ***mg F-/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y un valor de ***X,XXX mg F-/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Tabla 7**); evidenciando un ligero aumento en el punto de descarga con respecto al afluente, sin embargo, se considera que el recurso hídrico evaluado no presenta afectación por parte de estos compuestos, al reportar bajas o nulas concentraciones, comparado con los niveles de fluoruros en aguas superficiales, las cuales registran generalmente valores cerca de   
0,2 mg/L (ATSDR, 2003). Normativamente, el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), para el parámetro Fluoruros establece el criterio de “análisis y reporte”, en consecuencia, se cumple con el requerimiento normativo, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

### Sulfuros

Los sulfuros son compuestos de azufre con número de oxidación –2, en el agua, dependiendo del pH, los sulfuros disueltos se pueden encontrar en forma de H2S, HS- o como S=. La mayoría de estos compuestos provienen de la reducción bacteriana del sulfato; A su vez, su presencia en aguas residuales proviene en gran parte de la descomposición de la materia orgánica, algunas veces de desechos industriales. Caracterizándose generalmente por el mal olor que genera el sulfuro de hidrógeno. El sulfuro de hidrógeno gaseoso es muy tóxico para los humanos y para la vida acuática, ataca directa e indirectamente a los metales y causa mediante oxidación biológica a H2SO4 graves corrosiones en los ductos de cemento (IDEAM, 2007).

El parámetro *Sulfuros* registró en los tres (3) puntos de monitoreo analizados, valores inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico empleado en el laboratorio para su determinación (***<X,XX mg S-2/L***) (**Gráfica 14**). Por lo anterior es posible indicar que la concentración registrada en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, es inferior al límite máximo permisible de 1,00 mg/L, establecido en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), cumpliendo de esta manera con el lineamiento normativo y evidenciando de igual manera una baja o nula incidencia de estos compuestos sobre el recurso hídrico posterior al tratamiento, descartando en consecuencia, una posible afectación sobre el cuerpo receptor del vertimiento (Río Unete).

**Gráfica 14.** Comportamiento de los Sulfuros.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### Compuestos fosforados

El fósforo es un elemento considerado uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas. El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta- y otras polifosfatos) y fosfatos orgánicos. Uno de los principales agentes que aportan al incremento del fósforo en el agua son los detergentes (IDEAM, 2004). El Fósforo Reactivo Disuelto – Ortofosfato (ácido fosfórico o normal) se describe que son compuestos muy solubles y son la fracción útil que absorben las plantas autótrofas. En los casos en que constituye el nutriente limitador del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas (domiciliarios o industriales), drenajes agrícolas arrastradas por el lavado de las lluvias a los cuerpos de agua tanto superficiales como profundos, pueden, por un lado, estimular el crecimiento de micro o macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades exageradas o contaminar las capas freáticas (Maisterrena, 2000).

El *Fósforo Reactivo Disuelto (Leído como Ortofosfato)* registró concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XXXX mg/L P-PO4***)en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y P XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Tabla 7**). Por otro lado, el parámetro *Fósforo Total* reportó valores de ***X,XXX*** ***mg P/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***X,XXXX mg P/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***X,XXX*** ***mg P/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Tabla 7**). De esta forma, los resultados obtenidos son catalogados como concentraciones débiles, al presentar valores menores a 4 mg/L (Metcalf & Eddy, 1995), por lo tanto, es posible descartar una implicación en los procesos de eutrofización del cuerpo de agua receptor (Río Unete). Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS) en el Artículo 11, establece el criterio de “análisis y reporte” para los parámetros Fósforo reactivo disuelto (Leído como Ortofosfato) y Fósforo total, por ende, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

### Grasas y aceites e Hidrocarburos

Uno de los contaminantes que más afectan los sistemas acuáticos son las grasas y aceites, que normalmente son aportados por las aguas residuales, ya que son altamente estables, inmiscibles con el agua y permanecen en la superficie, dando lugar a cambios físicos y químicos, y como consecuencia desencadenando diferentes alteraciones como la disminución del oxígeno en el agua, eutrofización, etc. (Bravo, Osorno, & Salgado, 2016).

Los resultados obtenidos para el parámetro *Grasas y Aceites* en los puntos de monitoreo evaluados reportaron valores de ***X,XX mg/L*** en el A XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 15**). Lo anterior permite indicar que se presenta una disminución de este analito en el punto de descarga con respecto al afluente, evidenciando la remoción de este tipo de compuestos a partir del sistema de tratamiento. Normativamente, el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX reportó un valor inferior al límite máximo permisible establecido en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), correspondiente a 15,0 mg/L, generándose cumplimiento.

Por otro lado, el análisis de *Hidrocarburos* reportó concentraciones de ***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX,   
***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***X,XXX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 15**). Según lo anterior, se puede relacionar la presencia de hidrocarburos en el punto receptor de vertimiento (Río Unete) a la existencia de material vegetal en descomposición.

Normativamente, se observa que la concentración de hidrocarburos obtenida en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, no supera el límite máximo permisible de 10,0 mg/L establecido en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), generando así, cumplimiento sobre el requerimiento normativo.

**Gráfica 15**. Comportamiento de las Grasas y Aceites e Hidrocarburos.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)

Los compuestos orgánicos Halogenados son sustancias químicas que contienen uno o varios átomos de un elemento halógeno, es decir, se compone generalmente de cloro, bromo o Yodo. Dentro de este tipo de compuestos se pueden encontrar moléculas orgánicas como las dioxinas y los furanos. La mayoría de estos compuestos son tóxicos para los organismos acuáticos en concentraciones bajas, ya que son muy persistentes en el medio ambiente y tienden a bioacumularse, llegando incluso a transmitirse hasta el ser humano a través de la cadena alimenticia (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.).

Los *Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX*) reportaron valores inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XXXX mg/L***) en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Tabla 7**); de este modo, evidenciando el bajo o nulo contenido de este parámetro, descartando la afectación sobre la calidad del cuerpo receptor del vertimiento (Río Unete). Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 en el Artículo 11, establece que se debe efectuar el “análisis y reporte”, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

### Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP´S)

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) son compuestos orgánicos derivados de la combustión de material orgánico, principalmente, contienen al menos dos anillos aromáticos; 16 de ellos son denominados "contaminantes prioritarios" por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos debido a su amplia distribución en el ambiente y por sus propiedades mutagénicas, carcinogénicas y teratogénicas (Zhang, Luo, Wong, Zhao, & Zhang, 2006); (Morillo, Romero, Madrid, Villaverde, & Maqueda, 2008). Los HAPs emitidos a la atmósfera por diversas actividades antrópicas pueden estar presentes en la fase gaseosa o asociados a partículas y a través de las corrientes de aire se favorece su dispersión a grandes distancias, por lo que se han detectado en agua y suelo en sitios alejados de la fuente que los generó. Las propiedades físicas y químicas de los HAPs de bajo peso molecular (dos a tres anillos aromáticos) hacen de ellos candidatos ideales para su dispersión a través de la atmósfera (Daly, Lei, Castillo, Muir, & Wania, 2007). En cambio, los HAPs de mayor peso molecular (cuatro a siete anillos aromáticos), tienen mayor afinidad por el material particulado como cenizas y con la materia orgánica del suelo, siendo más persistentes en el ambiente (Ma, y otros, 2005); (Cai, Mo, Wua, Katsoyiannis, & Zeng, 2008); (Maliszewska, Smreczak, & Klimkowicz, 2009).

Los *Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)* (Naftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo (a)antraceno, Benzo (a)pireno, Benzo (b)fluoranteno, Benzo (g,h,i)perileno, Criseno, Dibenzo(a,h) antraceno, Fluoranteno, Fluoreno, Indenol (1,2,3-cd)pireno, Fenantreno, Pireno, Benzo(k) fluoranteno) reportaron en los tres (3) puntos de monitoreo evaluados concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico empleado en el laboratorio para su identificación (***<X,XXX mg/L***) (**Tabla 7**), observándose una baja o nula presencia de estos compuestos en las muestras analizadas, descartando cualquier afectación.

Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS) en el Artículo 11, establece que se debe realizar el “análisis y reporte”, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro, teniendo en cuenta que el   
PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

### Metales, metaloides y no metales

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, & 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, Benítez, R, Sarria-Villa, R. A, & Gallo, J. A, 2020).

Los parámetros *Arsénico Total, Bario Total, Cadmio Total, Mercurio Total, Níquel Total, Plata Total, Plomo Total, Selenio Total, Vanadio Total y Zinc Total* reportaron concentraciones inferiores a los límites mínimos de cuantificación de los métodos analíticos empleados para su detección en el laboratorio (***<X,XXXX mg As/L,   
<X,XXX mg Ba/L, <X,XXXXXX mg Cd/L, <X,XXXXX mg Hg/L, <X,XXXXX mg Ni/L,   
<X,XXXX mg Ag/L, <X,XXXXX mg Pb/L, <X,XXXXX mg/L, <X,XXXX mg V/L*** y ***<X,XXXX mg Zn/L***, respectivamente) en los tres (3) puntos de monitoreo evaluados (**Tabla 7**); de esta forma, se observa que las concentraciones de estos elementos son bajas o nulas y no reflejan ningún tipo de afectación sobre el recurso hídrico.

Normativamente, la Resolución 0631 del 2015 (MADS) en el Artículo 11, establece para los analitos Bario Total y Plata Total, realizar el “análisis y reporte”, lo cual es cumplido al ser objeto de análisis en el presente informe. Por otra parte, los parámetros Arsénico Total, Cadmio Total, Mercurio Total, Níquel Total, Plomo Total, Selenio Total, Vanadio Total y   
Zinc Total, presentaron concentraciones inferiores a los límites máximos permisibles respectivos establecidos en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015; generando así, cumplimiento.

**Gráfica 16.** Comportamiento del Arsénico Total.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 17.** Comportamiento del Cadmio Total.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 18.** Comportamiento del Mercurio total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 19.** Comportamiento del Níquel Total.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 20.** Comportamiento del Plomo Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 21.** Comportamiento del Selenio Total.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 22.** Comportamiento del Vanadio Total.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**Gráfica 23.** Comportamiento del Zinc Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

#### Cobre Total

Con respecto al *Cobre Total*, se reportaron concentraciones de ***X,XXXXX mg Cu/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***X,XXXXX mg Cu/L*** en el punto XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y un valor inferior al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XXXXX mg Cu/L***) en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 24**), evidenciando una disminución de este parámetro en el punto de descarga con respecto al afluente, a su vez, siendo consideradas concentraciones bajas, teniendo en cuenta que en aguas residuales relacionadas con la industria del petróleo se suelen presentar concentraciones desde <0,002 mg/L hasta 0,2 mg/L (Elmobarak et al., 2021).

Adicionalmente, el valor obtenido en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA se encuentra por debajo del límite máximo permisible de 1,00 mg Cu/L definido en la Resolución 0631 del 2015 (MADS) en el Artículo 11, en este sentido, generándose cumplimiento.

**Gráfica 24.** Comportamiento del Cobre Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

#### Cromo Total

El análisis de *Cromo Total* reportó en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX valores de ***X,XXXXX mg Cr/L, X,XXXXX mg Cr/L*** y ***X,XXXXX mg Cr/L*** respectivamente (**Gráfica 25**), resaltando la disminución en el punto de descarga con respecto al afluente, así mismo, teniendo en cuenta que las aguas residuales relacionadas con la industria del petróleo suelen presentar valores entre 0,02 mg/L y 1,1 mg/L (Elmobarak et al., 2021), las concentraciones obtenidas pueden ser consideradas bajas.

Normativamente, la Resolución 0631 del 2015 (MADS) en el Artículo 11 establece un límite máximo permisible de 0,50 mg/L de Cromo, de este modo, considerando que el valor reportado en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es inferior a dicho límite, se genera cumplimiento.

**Gráfica 25.** Comportamiento del Cromo Total

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

#### Hierro Total

El análisis de *Hierro Total* reportó en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, concentraciones de ***X,XX mg Fe/L***, ***X,XX mg Fe/L*** y ***X,XXX mg Fe/L*** respectivamente (**Gráfica 26**), dondela presencia de este analitopuede ser atribuida a la corrosión en las tuberías y tanques de almacenamiento de metal que contienen este elemento (Veronelli, 1937).

Normativamente, se observa que el resultado en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA, es inferior al límite máximo estipulado en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015, correspondiente a 3,00 mg Fe/L, en este sentido presentando cumplimiento con el requerimiento normativo.

**Gráfica 26.** Comportamiento del Hierro Total.

**Fuente**: ChemiLab S.A.S. (2025).

### Compuestos nitrogenados

Los nitratos provienen de los fertilizantes, estiércol, compost o pozos sépticos; estos se mueven fácilmente a través del suelo y en altas cantidades se convierte en contaminante. Por su parte, el amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influenciado por la actividad biológica, siendo este un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados (Environmental Protection Agency, 2000).

El análisis de *Nitratos* reportó concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<X,XX*** ***mg N-NO3/L***) en las muestras analizadas, indicando un bajo contenido en los tres (3) puntos de monitoreo evaluados.

A su vez, el parámetro *Nitrógeno Amoniacal* reportó en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX valores inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<1,00 mg/L NH3-N***), infiriendo su baja presencia en las muestras analizadas.

Normativamente, la Resolución 0631 de 2015 (MADS) en el Artículo 11, establece el requerimiento de “análisis y reporte” de los parámetros Nitratos y Nitrógeno Amoniacal, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para estos parámetros, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma, así mismo, es posible indicar que los resultados obtenidos son bajos para el tipo de agua evaluada, ya que en aguas residuales provenientes de actividades petroleras, la concentración de Nitrógeno amoniacal suele reportar valores de 10 mg NH3-N/L a 300 mg NH3-N/L y de Nitratos en un rango de 0 mg NO3/L a 3,5 mg NO3/L (Faisal, Hameed, Almomani, & Abdullah, 2021).

Con respecto al *Nitrógeno Total*, se reportaron concentraciones de ***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, ***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y ***X,XX mg/L*** en el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX (**Gráfica 27**). Normativamente, el valor obtenido en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA se encuentra por debajo del límite máximo permisible correspondiente a 10,0 mg/L, estipulado en el Artículo 11 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS), generando así, cumplimiento sobre el requerimiento normativo y descartando afectaciones por parte de este parámetro sobre el cuerpo de agua receptor del vertimiento (Río Unete).

**Gráfica 27.** Comportamiento del Nitrógeno Total

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) corresponden a los residuos filtrables, la materia suspendida es una fracción que no pasa a través de un filtro con un diámetro de poro de 0,45 µm (micrómetros). Los sólidos fijos y los sólidos volátiles corresponden al residuo después de secado al horno y calculado como una pérdida para una temperatura dada. En relación con los sólidos sedimentables equivale al volumen de material que se deposita en la parte inferior del cono Imhoff en determinado tiempo (IDEAM, 2001).

El parámetro *Sólidos Suspendidos Totales* reportó concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico (***<XX,X mg/L***) en los puntos   
XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX *y* XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, mientras que el XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX obtuvo un valor de ***XX,X mg/L*** (**Gráfica 28**), de este modo, se evidencia un ligero aumento de este parámetro en el punto de descarga con respecto al afluente, condición que posiblemente responde a una leve resuspensión de sólidos en el sistema de tratamiento. A pesar de lo anterior, la Resolución 0631 en el Artículo 11, establece un límite máximo permisible de 50,0 mg/L; por lo que, es posible indicar que el resultado obtenido en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA se encuentra por debajo del límite máximo permisible, generando así, cumplimiento sobre el requerimiento normativo.

**Gráfica 28.** Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales.

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

### 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 & Moskal, 2004).

El parámetro *Surfactantes Aniónicos como SAAM* registró en los puntos XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX y XXXXXXX XXXXXXX XXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXX, concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del método analítico empleado (***<X,XXX mg SAAM/L***) (**Tabla 7**), por lo tanto, se evidencia la baja o nula afectación por parte de este compuesto al recurso hídrico.

Normativamente, la Resolución 0631 del 2015 (MADS) en el Artículo 11, solicita el “análisis y reporte”, por lo tanto, al ser objeto de estudio, se cumple con el requerimiento normativo para este parámetro, teniendo en cuenta que elPUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma.

1. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica realizada en los puntos de monitoreo del sistema de aguas lluvias ocasionalmente aceitosas establecidos en el CPF Cupiagua, ubicado en el municipio de Aguazul, departamento de Casanare, permiten concluir que:

* Las mediciones de **Caudal** presentaron en el punto …..
* El parámetro **pH** en el punto …
* Los **Sólidos Sedimentables** en los puntos …
* El parámetro **Acidez** reportó en el …... Por otra parte, la **Alcalinidad Total** en los puntos de monitoreo ……
* El **Cianuro Total** reportó concentraciones ….
* El parámetro **Cloruros** reportó en los puntos de monitoreo ….
* El parámetro **Sulfatos** registró concentraciones …..
* El **Color verdadero** analizado a tres longitudes, en el punto …..
* El parámetro **Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX)** registró ……
* El parámetro **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)**registró concentraciones ……
* El parámetro **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** registró concentraciones ……
* En el caso de la **Dureza Cálcica**, se reportaron concentraciones …... Por su parte, la **Dureza Total** registró concentraciones …...
* El parámetro **Fenoles** registró concentraciones i…..
* El parámetro **Fluoruros** registró ….
* El parámetro **Sulfuros** registró ….
* El **Fósforo Reactivo Disuelto (Leído como Ortofosfato)** registró….. Por otro lado, el parámetro **Fósforo Total** reportó ….
* Los resultados obtenidos para el parámetro **Grasas y Aceites** en los puntos de monitoreo evaluados …..
* El análisis de **Hidrocarburos** reportó concentraciones …..
* Los **Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)** reportaron valores ….
* Los **Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)** (Naftaleno, Acenafteno, Acenaftileno, Antraceno, Benzo (a)antraceno, Benzo (a)pireno, Benzo (b)fluoranteno, Benzo (g,h,i)perileno, Criseno, Dibenzo(a,h) antraceno, Fluoranteno, Fluoreno, Indenol (1,2,3-cd)pireno, Fenantreno, Pireno, Benzo(k) fluoranteno) reportaron ….
* Los parámetros **Arsénico Total, Bario Total, Cadmio Total, Mercurio Total, Níquel Total, Plata Total, Plomo Total, Selenio Total, Vanadio Total** y **Zinc Total**reportaron ……
* Con respecto al **Cobre Total**, se reportaron concentraciones de ***…..***
* El análisis de **Cromo Total** reportó en los puntos …..
* El análisis de **Hierro Total** reportó en los puntos …..
* El análisis de **Nitratos** reportó concentraciones …..
* Con respecto al **Nitrógeno Total**, se reportaron concentraciones ….
* El parámetro **Sólidos Suspendidos Totales** reportó concentraciones …
* El parámetro **Surfactantes Aniónicos como SAAM** registró en los puntos …..
* En general, los resultados de los parámetros **Arsénico Total, Cadmio Total, Cianuro Total, Cloruros, Cobre Total, Cromo Total, DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fenoles, Grasas y Aceites, Hidrocarburos, Hierro Total, Mercurio Total, Níquel Total, Nitrógeno Total, pH, Plomo Total, Selenio Total, Sólidos sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Sulfatos, Sulfuros, Vanadio Total** y **Zinc Total** en el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA se ajustan a los límites permisibles, establecidos en la Resolución 0631 de 2015 (MADS) en el Artículo 11, cumpliendo de esta manera con los requerimientos normativos.
* Los parámetros **Acidez, Alcalinidad total, Bario Total, Color verdadero (tres longitudes), Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX), Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX), Dureza Cálcica, Dureza Total, Fluoruros, Fósforo Reactivo Disuelto (Leído como Ortofosfato), Fósforo total, HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos), Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Plata Total** y **Surfactantes Aniónicos como SAAM** según la Resolución 0631 de 2015 requieren “Análisis y reporte”, por lo que, al ser objeto de estudio, se cumple con los requerimientos normativos para estos parámetros, teniendo en cuenta que el PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA es objeto de aplicación a la norma. De igual manera, se evidencia que los valores reportados se encuentran dentro de los rangos normales establecidos para aguas residuales según la literatura, indicando una baja o nula afectación del recurso hídrico del cuerpo receptor (Río Unete).
* Finalmente, el parámetro **Caudal** no se encuentra regulado en la Resolución 0631 de 2015 (MADS) en el Artículo 11, por lo cual no es posible realizar una comparación normativa, así como la emisión de un juicio de cumplimiento.

1. BIBLIOGRAFÍA

ATSDR . (2016). Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades.

ATSDR. (2003). *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA .* Obtenido de Fluoruros, Fluoruro de Hidrógeno y Flúor: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\_phs11.pdf

Bravo, C., Osorno, C., & Salgado, E. (2016). *Propuesta de un tratamiento para aceites y grasas de las aguas residuales de la microempresa productos verdes.* Managua: Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua.

Cai, Q., Mo, C., Wua, Q., Katsoyiannis, A., & Zeng, Q. (2008). *The status of soil contamination by semivolatile organic chemicals (SVOCs) in China: A review. Science of the Total Environment.*

Daly, G., Lei, Y., Castillo, L., Muir, D., & Wania, F. (2007). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in Costa Rican air and soil: A tropical/temperate comparison. Atmospheric Environment.*

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

Elmobarak, W. F. (2021). *A Review on the Treatment of Petroleum Refinery Wastewater Using Advanced Oxidation Processe.* Department of Chemical Engineering, Qatar University.

Enel - Codensa. (2019). *Análisis de suelos con énfasis en hidrocarburos.* Bogotá D.C.

Environmental Protection Agency, E. (2000). *Folleto informativo de tecnologías de las aguas residuales.* Washington: EPA Washington DC:832-F00-024.

Facsa. (2017). *La Dureza del agua*. Obtenido de https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/

Faisal, W., Hameed, B., Almomani, F., & Abdullah, A. (2021). A Review on the Treatment of Petroleum Refinery Wastewater Using Advanced Oxidation Processes. *Catalysts*.

Hanna. (2019). *Medición de acidez en el agua natural empleando el minititulador Hl 84530*. Obtenido de https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/medicion-de-acidez-en-agua-natural-empleando-el-minititulador-hi-84530

IDEAM. (2001). *El medio ambiente en Colombia: el agua* (Vol. 4). (M. y. instituto de Hidrología, Ed.) Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente.

IDEAM. (13 de mayo de 2004). Fósforo total en agua por digestión ácida, método del acido ascorbico. *2*. Subdirección de hidrología.

IDEAM. (2007). *SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia.

Intagri. (2016). *La Alcalinidad del agua y su efecto en los sustratos*. Obtenido de https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-alcalinidad-del-agua-y-su-efecto-en-los-sustratos

JIménez, Y., & Pasquali, J. (2007). Cobre, plomo y cinc en las aguas subterráneas del norte de Venezuela. *IX Congreso Geológico Venezolano*.

Karpinska, J., & Moskal, J. (2004). Toxic effect of non-ionic phosphoorganic surfactants on select organism representing aquatic biocenosis. *Acta toxicologica*.

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T, & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 14*(2), 145.

Ma, L., Chu, S., Cheng, H., Wang, X., Liu, X., & Xu, X. (2005). *Polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in subsoil from outskirts of Beijing, People's Republic of China. Geoderma.*

Maisterrena, V. (2000). Determinación de ortofosfatos en agua. Santa Rosa, La Pampa, Argentina: Universidad nacional de la Pampa.

Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma-Oviedo, J. S., Galvis, G., Villa-Navarro, F., Vásquez, L., . . . Rodríguez, C. A. (2005). *Peces de los Andes de Colombia. Guía de campo.* Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt".

Maliszewska, B., Smreczak, B., & Klimkowicz, A. (2009). *Concentrations, sources, and spatial distribution of individual polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural soils in the Eastern part of the EU: Poland as a case study.* Science of Total Environment.

Martinez, M., & Osorio, A. (01 de Enero de 2018). *VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE COLOR REAL EN AGUA.* Obtenido de file:///C:/Users/alemo/Downloads/68086-Texto%20del%20art%C3%ADculo-370434-1-10-20180131.pdf

Metcalf & Eddy, I. (1995). *Tratamiento y depuración de aguas residuales.* Barcelona: Labor S.A.

Meteoblue. (2025). *Archivo meteorológico*. Recuperado el 2025, de Meteoblue - Weather close to you: https://www.meteoblue.com

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (s.f.). *Registro estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes*. Obtenido de COMPUESTOS ORGÁNICOS HALOGENADOS (AOX): https://prtr-es.es/compuestos-organicos-halogenados-aox,15627,11,2007.html

Morillo, E., Romero, A., Madrid, L., Villaverde, J., & Maqueda, C. (2008). *Characterization and Sources of PAHs and Potentially Toxic Metals in Urban Environments of Sevilla (Southern Spain). Water Air Soil Pollution.*

Pabón, S. E., Benítez, R, Sarria-Villa, R. A, & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencía e Ingeniería, 14*(27), 9-18.

Román-Valencia, C., Lehmann, P., & Muñoz, A. (1999). Presencia del género Callichthys (Siluriformes: Callichthydae) en Colombia y descripción de una nueva especie para el alto Río Canca. *Dahlia, 3*, 53-62.

Romero, J. (2009). *Calidad del agua.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

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

Veronelli, D. J. (1937). *Corrosión del hierro por agua en presencia de silicato de sodio.* Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Zhang, H., Luo, Y., Wong, M., Zhao, Q., & Zhang, G. (2006). *Distributions and concentrations of PAHs in Hong Kong soils. Environmental Pollution.*

1. ACLARACIONES

Los anteriores resultados corresponden únicamente al periodo del monitoreo y a las muestras de los puntos identificados, 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.

1. CONTROL DE MODIFICACIONES

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No. INFORME** | **SITUACIÓN** | **FECHA** |
| XXXXX | Versión 1 | 2XXX-XX-XX |

**- FIN DEL INFORME -**

1. ANEXOS

**ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO**

|  |  |
| --- | --- |
| **AFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA** | |
|  |  |
|  |  |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

|  |  |
| --- | --- |
| **EFLUENTE SISTEMA AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA** | |
|  |  |
|  |  |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

|  |  |
| --- | --- |
| **PUNTO DE DESCARGA AL RÍO UNETE DE LAS AGUAS LLUVIAS OCASIONALMENTE ACEITOSAS DE CPF CUPIAGUA** | |
|  |  |
|  |  |

**Fuente:** ChemiLab S.A.S. (2025).

**ANEXO 2. REPORTE****S DE RESULTADOS**

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

**ANEXO 4. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN**

**ANEXO 5. DOCUMENTOS DE CAMPO**