



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

---

**Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo –CIMAD  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Tratamiento de los Lixiviados Generados en el Relleno Sanitario “Los Corazones” de la  
Ciudad de Valledupar Mediante Ósmosis Inversa**

Director de tesis

PhD. Juan Carlos Montoya Salazar

Omar Enrique Trujillo Romero

Línea de investigación:

Biosistemas Integrados

Cohorte XII

**Universidad de Manizales**

**Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas**

**Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente Manizales,**

**Colombia 2019**



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

---

## **Agradecimientos**

Gracias a Dios por otorgar la sabiduría y discernimiento en el trasegar investigativo

A mis padres Omar Enrique y Ana María por su apoyo incondicional y sus sabios consejos que permitieron avanzar en el desarrollo de esta investigación,

A mis hermanos Manuel, Juan Pablo y Juan Sebastián por su acompañamiento permanente,

A las instituciones que de alguna manera se vincularon a este proyecto:

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Secretaría de Ambiente Departamental, EMDUPAR,

Al Director de la tesis Dr. Juan Carlos Montoya Salazar, al director de Línea de Biosistemas Integrados Jhon Fredy Betancur Pérez y al evaluador Frank Alberto Cuestas por sus sugerencias y lineamiento en el desarrollo de la investigación,

A los docentes de la MDSMA que aportaron en el proceso formativo.

## Resumen

En el relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar que se encuentra ubicado a seis (6) kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento veinte (120) hectáreas; de acuerdo a las alternativas de tratamientos de lixiviado se desarrolla un proceso de recirculación y disposición en pondajes, por consiguiente, se evidencia la generación de olores desagradables y proliferación de vectores.

En la investigación se evaluó la tratabilidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario Los Corazones mediante Ósmosis Inversa, bajo un ENFOQUE CUANTITATIVO partiendo de lo particular a lo general a través de la manipulación de variables para sentar bases teóricas del proceso de Ósmosis Inversa, a fin de someterlos en el tratamiento de lixiviado generados en el relleno sanitario “LOS CORAZONES” de Valledupar – Cesar.

En la caracterización fisicoquímica realizada a los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones se evidenciaron parámetros que corresponden a lixiviados jóvenes y lixiviados viejos; particularmente el pH obtenido de las muestras coincide con la información referenciada en la tabla 4. Este lleva 18 años de operación y su pH se encuentra en el rango de lixiviado viejo, sin embargo; se presentan algunos comportamientos de lixiviado de rellenos jóvenes que son menores a dos años presentando elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO<sub>5</sub>/DQO) superiores a 0,4, producto de la recirculación de los lixiviados.

En el modelo experimental se modificó las variables de pH y tiempos de salida, logrando porcentajes de remoción de carga orgánica que oscilan entre un 94% al 97% arrojando valores de concentraciones de 120 mg/l hasta 158 mg/l en términos de DQO, en lo relacionado a DBO<sub>5</sub> se establecieron rangos que oscilan entre 62 mg/l hasta 73 mg/l, por consiguiente; este parámetro se encuentra dentro de los valores permisibles de la resolución 631 de 2015 de la normatividad ambiental colombiana en materia de vertimientos.

## Abstract

In the sanitary landfill Hearts of the Valledupar city that is located (6) kilometers from the urban center of the departmental capital, on the road that leads to downtown Patilla and has an area of (120) hectares; According to the alternatives of leachate treatments, a process of recirculation and disposal in ponds is developed, therefore the generation of unpleasant odors and proliferation of vectors is evidenced.

In the research, treatability of the leachates generated in Los Corazones sanitary landfill was evaluated through Reverse Osmosis. under a QUANTITATIVE APPROACH starting from the particular to the general. Through the manipulation of variables to establish theoretical bases of the process of Reverse Osmosis, in order to submit them to the treatment of leachate generated in the sanitary landfill "LOS CORAZONES" of Valledupar - Cesar.

In the physicochemical characterization carried out to the leachates of the Los Corazones landfill, parameters corresponding to young leachate and old leachate were evidenced; particularly the pH obtained from the samples coincides with the information referenced in table 4. This has been operating for 18 years and its pH is in the old leaching range, however; Some leachate behaviors of young landfills are presented that are less than two years old, presenting high concentrations of organic matter and biodegradability indexes ( $DBO_5 / DQO$ ) greater than 0.4, as a result of the recirculation of leachates

In the experimental model modifying the pH variable and the exit times, organic load removal percentages ranging from 94% to 97% were achieved, DQO yielding concentrations of 120 mg/l to 158 mg/l, as related to  $DBO_5$  ranges were established ranging 62 mg/l to 73 mg/l, consequently; this parameter is within the permissible values of resolution 631 of 2015 of the Colombian environmental regulations regarding dumping.

### Indices de Figuras

<i>Figura 1:</i> Vertimiento de lixiviado relleno sanitario Los Corazones. Interaseo S.A.E.S.P (2018).....	10
<i>Figura 2:</i> Registro de lixiviado dispuesto directamente al suelo. Fuente propia 2019 .....	13
<i>Figura 3:</i> Ubicación relleno sanitario “Los Corazones” recuperado de SSPD, 2016 .....	23
<i>Figura 4:</i> Comportamiento de lixiviados en relación al tiempo de exposición. Tchobanoglous, 1994.29	
<i>Figura 5:</i> Balance de Agua en un relleno sanitario. Minambiente, (2002).....	30
<i>Figura 6:</i> Principios de Osmosis Inversa Fuente: <a href="http://www.aguabona.com/osmosis.jsp">http://www.aguabona.com/osmosis.jsp</a> (recuperado 21 de abril 2018) .....	36
<i>Figura 7:</i> Membrana de Osmosis Inversa. Recuperado de <a href="http://www.aguasistec.com/osmosis-inversa.php">http://www.aguasistec.com/osmosis-inversa.php</a> .....	37
<i>Figura 8:</i> Localización Geográfica relleno sanitario Los Corazones. Google Earth 2019 .....	42
<i>Figura 9:</i> Área de estudio. Autor 2019 .....	49
<i>Figura 10:</i> Comportamiento del Caudal de lixiviados 2017-2018 relleno sanitario Los Corazones. ASEOUPAR S.A. E.S.P (2018).....	50
<i>Figura 11:</i> Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Enero 2018. Climatología del Caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo.....	51
<i>Figura 12:</i> Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Febrero 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo .....	52
<i>Figura 13:</i> Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Marzo 2018. Climatología del caribe colombiano, CIOH. Plantilla de Campo.....	53
<i>Figura 14:</i> Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Abril 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo.....	54
<i>Figura 15:</i> Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Mayo 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo.....	55
<i>Figura 16:</i> Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Junio 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo.....	57
<i>Figura 17:</i> Gráfica de la Relación DQO – DBO <sub>5</sub> . Fuente Propia.....	70
<i>Figura 18:</i> Efluente osmosis inversa comparación visual .....	73
<i>Figura 19:</i> Sumatoria datos experimentales DQO.....	75
<i>Figura 20:</i> Sumatoria de datos experimentales DBO <sub>5</sub> .....	77
<i>Figura 21:</i> Sistema de Osmosis Inversa.....	78
<i>Figura 22:</i> Planta de Osmosis Inversa. Fuente Propia, 2019 .....	79



### Indices de tablas

Tabla 1. <i>Puntajes de Desempeño del sitio de Disposición Final</i> .....	24
Tabla 2. <i>Desempeño relleno sanitario los Corazones Valledupar Cesar</i> .....	25
Tabla 3. <i>Comparación entre los valores de algunos de los indicadores reportados en los lixiviados por diferentes autores (todos los valores en mg l/l, excepto pH)</i> .....	27
Tabla 4. <i>Clasificación General de los lixiviados según la Edad</i> .....	28
Tabla 5. <i>Principales Características de los Lixiviados en Colombia, según estudios realizados</i> .....	30
Tabla 6. <i>Efectos en la salud humana compuestos orgánicos volátiles en lixiviados</i> .....	31
Tabla 7. <i>Remoción de algunas partículas mediante Osmosis Inversa</i> .....	37
Tabla 8. <i>Rendimiento de remoción mediante Osmosis inversa en el tratamiento de Lixiviados como una técnica de Sistema de membranas</i> .....	39
Tabla 9. <i>Marco regulatorio en la gestión de lixiviados normatividad internacional</i> .....	40
Tabla 10. <i>Marco regulatorio en la gestión de lixiviados normatividad nacional</i> .....	41
Tabla 11. <i>Resultados de la Etapa Experimental de muestreo</i> .....	46
Tabla 12. <i>Registro de caudales, mes de enero de 2018</i> .....	51
Tabla 13. <i>Registro de caudales, mes de febrero de 2018</i> .....	52
Tabla 14. <i>Registro de caudales, mes de marzo de 2018</i> .....	53
Tabla 15. <i>Registro de caudales, mes de Abril de 2018</i> .....	54
Tabla 16: <i>Registro de caudales, mes de Mayo de 2018</i> .....	56
Tabla 17. <i>Registro de caudales, mes de Junio de 2018</i> .....	57
Tabla 18. <i>Caracterización Fisicoquímica 2016 - 1</i> .....	58
Tabla 19. <i>Caracterización Fisicoquímica 2016 - 2</i> .....	60
Tabla 20. <i>Caracterización Fisicoquímica 2017 - 1</i> .....	63
Tabla 21. <i>Caracterización Fisicoquímica 2017 – 2</i> .....	65
Tabla 22. <i>Caracterización Fisicoquímica 2018 - 1</i> .....	68
Tabla 23. <i>Datos etapa experimental osmosis inversa – DQO</i> .....	72
Tabla 24. <i>Datos etapa experimental osmosis inversa – DBO5, unidades (mg/l) 2019.</i> .....	73
Tabla 25. <i>Datos etapa experimental osmosis inversa DQO, unidades (mg/l) 2019.</i> .....	73
Tabla 26. <i>Análisis de varianza de un factor</i> .....	74
Tabla 27. <i>Análisis de varianza</i> .....	74
Tabla 28. <i>Datos etapa experimental osmosis inversa</i> .....	75
Tabla 29. <i>Análisis de varianza de un factor</i> .....	75
Tabla 30. <i>Análisis de varianza</i> .....	76



INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO I.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA.....	10
1.2 ANTECEDENTES.....	13
1.2.1 <i>Pregunta de investigación</i> .....	15
1.2.2 <i>Hipótesis experimental</i> .....	15
1.2.3 <i>Hipótesis alterna</i> .....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3.1 <i>Teórica</i> .....	16
1.3.2 <i>Práctica</i> .....	16
1.3.3 <i>Metodológica</i> .....	17
1.3.4 <i>Social</i> .....	17
1.4 OBJETIVOS.....	18
1.4.1 <i>General</i> .....	18
1.4.2 <i>Específicos</i> .....	18
CAPITULO II.....	19
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	19
2.1 DESARROLLO SOSTENIBLE: UNA MIRADA DESDE LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MANEJO DE LOS LIXIVIADOS EN COLOMBIA.....	19
2.2 CONSECUENCIAS DE SALUD PÚBLICA, AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICAS.....	20
2.3 POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD ENFOCADOS MANEJO DE LIXIVIADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS.....	21
2.4 SITUACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES, VALLEDUPAR – CESAR.....	23
2.4.1 <i>Descripción General</i> .....	23
2.4.2 <i>Desempeño del relleno sanitario los Corazones</i> .....	24
2.4.3 <i>Contextualización y descripción del sistema de tratamiento por Osmosis Inversa como alternativa para el manejo de Lixiviados en el relleno sanitario Los Corazones</i> .....	26
2.4.3.1 <i>Rellenos Sanitario</i> .....	26
2.4.3.2 <i>Generación de los lixiviados en los rellenos sanitarios</i> .....	26
2.4.3.3 <i>Características de los Lixiviados</i> .....	26
2.4.3.4 <i>Producción de Lixiviados</i> .....	30
2.5 LOS LIXIVIADOS EN COLOMBIA.....	30
2.5.1 <i>Los lixiviados y sus efectos en la Salud</i> .....	31
2.5.2 <i>Transporte y Manejo de lixiviados en los rellenos sanitarios</i> .....	32
2.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	33
2.6.1 <i>Generalidades</i> .....	33
2.6.1.1 <i>Técnicas de Tratamiento Biológico</i> .....	33
2.6.1.2 <i>Técnicas de Tratamiento Físicoquímico</i> .....	34
2.6.1.3 <i>Técnicas de Sistemas Naturales</i> .....	34
2.6.1.4 <i>Técnica de Recirculación de los Lixiviados</i> .....	34
2.6.1.5 <i>Técnicas de Sistemas de Membranas</i> .....	35
2.6.1.6 <i>La Ósmosis Inversa como alternativa de tratamiento</i> .....	35



2.6.1.6.1 Características Generales .....	36
<b>2.6.1.6.2 La membrana de Osmosis inversa y sus propiedades .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.1.6.3 Indicadores .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.1.6.4 Experiencias en la aplicación de la Osmosis Inversa.....</b>	<b>39</b>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>42</b>
3. MARCO METODOLÓGICO. ....	42
3.1 Localización y cobertura. ....	42
3.2 Tipo y nivel de investigación.....	43
3.3 Población y Muestra.....	47
3.4 Técnicas e Instrumentos .....	48
3.4.1 Instrumento recolección de datos de información.....	48
3.4.2 Técnicas de procesamiento de información. ....	48
3.5 Trabajo de campo.....	48
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>50</b>
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES. ....	50
4.1 CARACTERIZACIÓN FISIQUÍMICA DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR. ....	50
4.1.1 Caracterización Físicoquímica Multianual.....	58
4.2 DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO <sub>5</sub> MEDIANTE ENSAYOS OPERADO POR EL TRATAMIENTO DE ÓSMOSIS INVERSA BAJO MODELO HIDRÁULICOS DE FLUJO CONTINUO.....	72
4.3 ESTANDARIZAR LAS MEJORES CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE EL ENSAYO DE TRATABILIDAD REALIZADO. ....	77
4.4 CONCLUSIONES.....	81
4.5 RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84



## INTRODUCCIÓN

El manejo y la eliminación de residuos sólidos domésticos son problemas críticos en las áreas urbanas de América Latina (Noguera, 2010), esto representa uno de los problemas de contaminación ambiental en nuestro medio, porque dichos residuos contienen una elevada carga de contaminantes (orgánicos e inorgánicos). Estos residuos pueden alterar significativamente la calidad fisicoquímica y microbiológica de las corrientes de aguas naturales, nacimientos y pozos vecinos (Vega, 2006). Por lo tanto, se han probado diversos métodos de tratamiento, entre los cuales; se han empezado a estudiar los sistemas por membranas, dado el caso; de la Osmosis Inversa como una alternativa técnicamente viable.

Dentro del desarrollo de la investigación el objetivo general consistió en evaluar la tratabilidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario Los Corazones mediante Ósmosis Inversa. Por consiguiente; se evaluó la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno Sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar. Luego se determinó la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> mediante ensayos operados por el tratamiento de Ósmosis Inversa bajo modelo hidráulicos de flujo continuo. Y a partir de los resultados arrojados se estandarizó las mejores condiciones de operación durante el ensayo experimental. Lo que nos llevó a plantear la siguiente pregunta: ¿Bajo qué condiciones de operatividad del proceso de ósmosis inversa se genera mayor remoción de carga orgánica de los lixiviados?

El tratamiento de ósmosis inversa en el análisis experimental implicó evaluar las condiciones óptimas de operatividad del sistema, en la cual se reguló la mayor remoción de carga orgánica a través de los principales tipos de operaciones de membrana, los criterios de diseño y de operación; entre tanto las variables independientes consideradas fueron: el pH y Tiempo de salida. En su efecto la variable dependiente estuvo determinada por la carga orgánica (DQO, DBO<sub>5</sub>).

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del Problema.

#### 1.1 Contexto del problema

Dentro de los aspectos de estudio en materia de investigación los lixiviados según la normatividad colombiana lo definen: *“Sustancia líquida, de color amarillo y naturaleza ácida que supura la basura o residuo orgánico, como uno de los productos derivados de su descomposición.”* (Ley 1259, 2008). Los líquidos residuales producidos en un relleno sanitario están en función de múltiples factores relacionados con las condiciones climáticas, el diseño y operación del relleno y la composición de la basura.

En el relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar que se encuentra ubicado a seis (6) kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento veinte (120) hectáreas; de acuerdo a las alternativas de tratamientos de lixiviado se desarrolla un proceso de recirculación y disposición en pondajes por consiguiente se evidencia la generación de olores desagradables y proliferación de vectores.

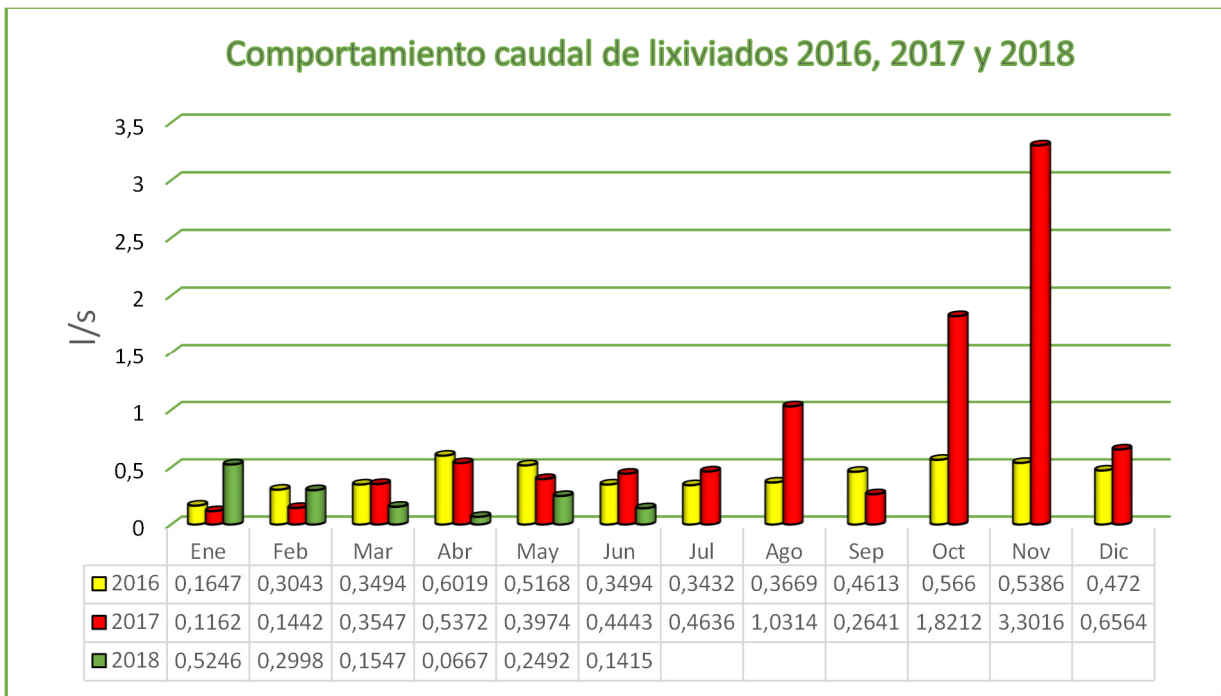


Figura 1: Vertimiento de lixiviado relleno sanitario Los Corazones. Interaseo S.A.E.S.P (2018)

En la figura 1. se evidencia la generación de lixiviado de los años 2016, 2017, hasta mitad de año del 2018 en el sitio de disposición de los pondajes; con picos en el mes de noviembre de 2017 con caudales de 3,42 l/s y promedios anuales de 0,42 l/s para 2016 y de 0,79 l/s para el 2017, entre tanto; el relleno dispone de cuatro lagunas con capacidades de albergar, las tres primeras alrededor de 5000 m<sup>3</sup> cada una y la cuarta tiene capacidad aproximada de 15000 m<sup>3</sup>.

Entre tanto, es de vital importancia el conocimiento de los caudales emanados del relleno sanitario Los Corazones y por su tipo de disposición y la ausencia de tratamiento secundarios y terciarios, implementar estudios que determinen la tratabilidad mediante sistemas de membrana en términos de remoción de carga orgánica, producto del alto contenido presente en los lixiviados que oscila en valores de DQO de 2000 ppm a 5000 ppm con la finalidad de mitigar la posible ocurrencia de afectaciones a los cuerpos hídricos superficiales y subterráneos cercanos, como consecuencia de un mal manejo en los lixiviados.

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios municipales, representan uno de los problemas de contaminación ambiental más importantes en nuestro medio; ya que dichos residuos contienen elevada carga de contaminantes (orgánicos e inorgánicos) que pueden alterar significativamente la calidad fisicoquímica y microbiológica de las corrientes de aguas naturales, nacimientos y pozos vecinos (Collazos, 2006).

En países tercermundistas y países en vía de desarrollo la disposición de residuos y el tratamiento de lixiviados es deficiente ocasionando la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, aumentando la concentración de materia orgánica aportada por los lixiviados generados de la humedad de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y de su contacto con el agua, dicho aporte de carga orgánica genera procesos de eutrofización, impacta sobre la fauna acuática, la flora, lo cual a su vez se traduce en pérdida de recursos de potencial consumo humano.

A nivel nacional la mayoría de los rellenos sanitarios de Colombia no cuentan con la infraestructura adecuada para la disposición de lixiviados, además; se presentan tratamientos de lixiviados deficientes, generando malos olores y en muchos casos tóxicos, tales como ésteres, sulfuro de hidrógeno, compuestos organosulfurados, alquilbencenos, limoneno y

otros hidrocarburos; los cuales pueden generar diversos efectos sobre la salud humana (Noguera, 2010), incluyendo obstrucción de las vías respiratorias, conjuntivitis, irritación de las mucosas, tos, alteraciones en el ritmo cardiaco, exacerbaciones de enfermedades cardiovasculares, y daños a nivel del sistema nervioso central, entre otros (Méndez et al, 2006).

Ciudades intermedias como Cali, Barranquilla, Cartagena no cuentan con plantas de tratamiento de lixiviados, generando olores desagradables que afectan a las comunidades circunvecinas al área del relleno sanitario, la carga contaminante presente en los lixiviados, resulta difícil que se depure naturalmente por el río, lo que representa una grave afectación para los servicios ecosistémicos de la zona.

En el municipio de Valledupar una de las preocupaciones es la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario Los Corazones, condicionado al manejo de los lixiviados por parte de la empresa Operadora Aseoupar, la Contraloría Municipal de Valledupar, ha emitido conceptos en términos desfavorables desde el año 2017 por los altos volúmenes presentes en los pondajes, que a su vez *“reveló que las lagunas de lixiviados del relleno sanitario **están rebosadas**, lo que genera el desbordamiento del líquido que caen en las corrientes de agua, hasta llegar a río seco y posteriormente verterse en el río Cesar.”* Puntualizo Omar Contreras contralor municipal. Por consiguiente con las fuertes precipitaciones en ciertas épocas del año, el ente de control, manifiesta encontrar que estos lixiviados de manera abundante están sobrepasando las capacidades y los niveles de los pondajes, evidencia algunas roturas en muchas de la geomembranas, infiltraciones por el suelo que van a dar a unos canales de aguas de escorrentía que bajan desde el cerro Murillo y que se alojan directamente en un arroyo de nombre aguas blanquitas (ver figura 2), que saca todo ese lixiviado hacia las acequias, Los Valles, Los Corazones, incluso la de ‘Toña Díaz’, que es aprovechada por agricultores, llegando al cauce directo del río seco y por supuesto al río Cesar”, advirtió Contreras Socarrás.

En uno de los frentes de trabajo de operatividad del sistema de disposición de residuos sólidos, se ha evidenciado un afloramiento de lixiviados que no están siendo conducidos a los pondajes, por el contrario, se ha dispersado en el suelo sin el respectivo recubrimiento, que impida el tránsito de los lixiviados a los cuerpos de agua subterráneas tal como se puede observar en la

figura 2, por lo cual la empresa operadora está en espera de la respectiva sanción por parte de la corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), por el incumplimiento en la operatividad del sistema referente al manejo de los lixiviados, que repercute en un grado de afectación a los cuerpos de aguas subterránea, teniendo en cuenta la alta carga contaminante presente en los lixiviados.



*Figura 2:* Registro de lixiviado dispuesto directamente al suelo. Fuente propia 2019

## 1.2 Antecedentes

A nivel global se han probado tratamiento de aguas basados en el proceso de osmosis inversa, que van desde experiencia a escala laboratorio hasta experiencias a escala real, con énfasis en la desalinización y remoción de compuestos orgánicos altamente contaminantes de diferentes sectores industriales, entre los cuales tenemos:

La tesis doctoral realizada en la Universidad Rey Juan Carlos por Arcadio Sotto titulada: “Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos” cuyo objetivo consistía en el diseño de un sistema de filtración de flujo cruzado aplicado a la separación selectiva de los compuestos iniciales (fenólicos) e intermedios (ácidos carboxílicos) de algunos procesos de oxidación avanzada como fotocátalisis o Fenton. Madrid, España (2008).

Investigación realizada en la Universidad Politécnica de Valencia bajo el programa de

doctorado en Ingeniería y Producción Industrial denominado “Estudio de viabilidad de la reutilización de las aguas residuales depuradas de una planta petroquímica mediante tecnología de membrana” El objetivo efectuado fue el desarrollo de un sistema basado en un proceso de Ósmosis Inversa (OI) para la reutilización de aguas residuales depuradas, procedentes de una industria petroquímica. Valencia, España (2007)

“Tratamiento de aguas coloreadas procedentes de la industria textil mediante ósmosis inversa. Efecto de la conductividad sobre la eliminación de color. Tesis de Master, el trabajo realizado consta de una serie de ensayos experimentales a realizar en una planta de laboratorio con membranas planas de ósmosis inversa Guo, Q. (2018). Realizado en la Universidad Politécnica de Valencia

En Centroamérica se han desarrollado investigaciones con base a la tecnología de membranas, hecho concreto es el estudio realizado en Costa Rica por el centro de investigación en protección ambiental (CIPA),” Aplicación de la tecnología de membranas en el tratamiento de algunos residuos líquidos altamente peligrosos” (2009). En el cual se implementó el tratamiento por osmosis inversa para evaluar la tratabilidad de elementos presentes en el agua con alto contenido de carga contaminante.

A nivel nacional algunos trabajos realizados son los siguientes:

Investigación llevada a cabo por Ramírez Gómez titulada “Consideraciones básicas y viabilidad de procesos de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración como alternativa para el tratamiento de agua en Colombia.” (2006) donde la finalidad del proyecto pretende dar a conocer los fundamentos que rigen las operaciones de membrana de ósmosis inversa (OI) y Nanofiltración (NF) para el tratamiento de agua, como una alternativa a implementar en Colombia de acuerdo a las necesidades actuales en el manejo de aguas y posibilidades tecnológicas propias del proceso.

A escala real se cuenta con la experiencia de la planta de tratamiento por membranas de nanofiltración y osmosis inversa en funcionamiento en el año 2010 para el tratamiento de los

lixiviados del relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, Bojacá, Cundinamarca; donde reportaban valores de carga de DBO alrededor 1.064.668 kg/año, luego de la entrada de funcionamiento del sistema de control de lixiviados a través de proceso de membrana se reduce a 22.951 kg/año, aproximadamente un 97,8% de remoción de carga orgánica, reporte registrado en la resolución 449 del 2 de abril de 2018 del ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales).

A nivel local no se cuenta con experiencias de tratamiento de lixiviado con ósmosis Inversa, lo cual hace indispensable realizar estudios a escala piloto, para evaluar la eficiencia del tratamiento y probar si es factible el emplear esta tecnología en el relleno sanitario Los Corazones, que es el objeto de estudio de la presente investigación.

### **1.2.1 Pregunta de investigación**

¿Bajo qué condiciones de operatividad del proceso de ósmosis inversa se genera mayor remoción de carga orgánica de los lixiviados?

El tratamiento de ósmosis inversa implica evaluar las condiciones óptimas de operatividad del sistema en el cual se regule la mayor remoción de carga orgánica a través de los principales tipos de operaciones de membrana, los criterios de diseño y de operación; entre tanto las variables a considerar tendremos el pH, Tiempo de salida y en su efecto en la carga orgánica.

### **1.2.2 Hipótesis experimental**

HO:  $T_t : T_1 : T_2 : T_3$  No existen diferencias en los efectos de remoción de carga orgánica en referencia a la DBO y DQO, teniendo en cuenta los pH y tiempos de salida

### **1.2.3 Hipótesis alterna**

HA:  $T_t \neq T_1 \neq T_2 \neq T_3$  Al menos el efecto de la diferencia de tiempo y pH respecto a la DBO y DQO son diferentes

### 1.3 Justificación

La investigación está direccionada a la reducción de la alta carga orgánica presente en los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones, mediante tecnología de membrana por Osmosis Inversa a escala piloto; esta es la importancia del proyecto como una alternativa viable cuya finalidad es emplear tecnología sustentable en la mitigación de efluentes líquidos.

De carácter legal el decreto 838 del 28 de marzo del 2005 del artículo 11 que cita textualmente “ *Del control y monitoreo en el área de disposición final de residuos sólidos.* Todo prestador del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos, deberá incluir en los diseños correspondientes la red de monitoreo de aguas subterráneas, la identificación de las fuentes superficiales y los puntos donde se realizará el control y monitoreo, sin perjuicio de lo dispuesto en la licencia ambiental”.

Todo esto con el fin de evitar el contacto del lixiviado con las fuentes mencionadas anteriormente en el presente decreto, y que obliga a la empresa prestadora, ASEOUPAR S.A. E.S.P a implementar tratamientos conducentes a prevenir y mitigar la alta carga orgánica del lixiviado en una posible contaminación de los recursos hídricos y de los componentes del suelo.

#### 1.3.1 Teórica

El aporte teórico de esta investigación se justifica porque se realiza un análisis teórico a partir de la comparación de manera experimental entre teorías y resultados de investigación de diferentes autores, los cuales se han sustentado en conocimientos especializados sobre las variables de estudio dentro de la importancia de remoción de carga orgánica a partir de un proceso de Osmosis Inversa.

#### 1.3.2 Práctica

Aplicado al desarrollo de la fase experimental, desde lo práctico, se puede indicar que ante la inexistencia de alternativas de tratamientos para la remoción de carga orgánica de los lixiviados, uno de los beneficios que genera la presente investigación, es la posibilidad que tienen los responsables de ejecutar y evaluar desde su gestión el cumplimiento de la



normatividad en materia ambiental, y a su vez garantizar el adecuado manejo de los lixiviados generados en el relleno sanitario Los Corazones, que se constituyen en un foco de contaminación, producto de los altos volúmenes generados, que sobrepasan la capacidad útil de los pondajes dispuestos en el relleno sanitario. De esta manera, se pretenden generar una alternativa de solución a través del proceso de Osmosis Inversa en la remoción de carga orgánica.

### **1.3.3 Metodológica**

Desde el punto de vista metodológico, en la evaluación de las características fisicoquímicas los parámetros determinados se efectuaron de acuerdo a las metodologías analíticas establecidas en el Standard Methods for Examination of water and wastewater 21 th Edition 2005 con la finalidad de validar los resultados, con los parámetros estandarizados a nivel internacional y permita a los investigadores reproducir las condiciones en las que se efectuaron dicho proceso de muestreo.

Para el desarrollo de la determinación de la remoción de materia orgánica se realizó bajo modelo hidráulico de flujo continuo, a través del paso de lixiviados por la membrana. Se procedió a la manipulación de las variables de (pH, tiempo de salida) determinando la carga orgánica (DQO y DBO<sub>5</sub>) de acuerdo a la unidad experimental. Los datos derivados del desarrollo experimental y la discusión suscitadas pueden ser parte de contrastaciones futuras, con la finalidad de generar la viabilidad de utilizar este tipo de alternativas en la tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar.

### **1.3.4. Social**

Desde el aporte social, la presente investigación reúne acciones de manera propositiva a través del proceso de Osmosis Inversa como una alternativa en el tratamiento de lixiviados, para garantizar el bienestar de las comunidades circunvecinas de alguna probabilidad de impacto ambiental, producto del mal manejo de los lixiviados que pueden repercutir directamente en la salud de los habitantes aledaños a la zona de influencia del relleno sanitario Los Corazones.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Evaluar la tratabilidad de los lixiviados generados en el relleno sanitario los Corazones mediante Ósmosis Inversa.

### **1.4.2 Específicos**

Evaluar la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar.

Determinar la remoción de DQO y DBO mediante ensayos operado por el tratamiento de Ósmosis Inversa bajo modelo hidráulicos de flujo continuo.

Estandarizar las mejores condiciones de operación durante el ensayo de tratabilidad realizado.

## Capítulo II

### Fundamentación teórica

Este capítulo se fundamentó en el contexto teórico-científico que sirve como base a la investigación del problema suscitado, en el primer apartado se abordará desde una perspectiva del Desarrollo Sostenible sobre los compromisos y objetivos que tienen injerencia en el manejo de los lixiviados en Colombia, y la realidad actual del relleno sanitario Los Corazones a través del análisis descriptivo, mediante parámetros que permiten evaluar directamente el desempeño técnico y operativo, luego los elementos teóricos con relación a los lixiviados generados en un relleno sanitario. En el tercer apartado se hace una contextualización y descripción del sistema de tratamiento por Osmosis Inversa, su aplicación, las principales ventajas y desventajas, seguido de ello la disposición final de residuos sólidos en relación al manejo de los lixiviados en el marco de los compromisos asumidos por Colombia a nivel internacional y el marco regulatorio en Colombia concerniente al objeto de investigación.

### **2.1 Desarrollo sostenible: Una mirada desde la disposición de residuos sólidos en el manejo de los lixiviados en Colombia.**

El manejo de residuos sólidos urbanos en Colombia se lleva a cabo principalmente a partir de la técnica de disposición final en rellenos sanitarios. Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2010) en Colombia el 90% de los residuos sólidos urbanos son dispuestos en los rellenos sanitarios, lo cual representa una de las técnicas más utilizadas. (Torres-Lozada, Barba-Ho, Ojeda, Martínez, & Castaño, 2014). Esta técnica de disposición final según el decreto 1713 de 2002, consiste en aislar y confinar los residuos sólidos de forma definitiva, especialmente aquellos no aprovechables, en sitios especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y el ambiente; es decir los diferentes impactos que pueda ocasionar esta actividad, según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD, 2016).

Estos residuos deben afrontar una serie de procesos mediante su manejo en el relleno sanitario la cual da origen a la generación de lixiviado producto de la descomposición de los

residuos.

Cabe mencionar que los sitios de disposición final que usen la tecnología de relleno sanitario de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015, deben efectuar control de gases y lixiviados; en otras palabras, los operadores de los rellenos sanitarios están obligados a:

- Realizar recolección, concentración y venteo de gases.
- Hacer recolección, tratamiento de lixiviados. (SSPD, 2016)

Esto implica, entre otras condiciones que uno de las pautas más importantes de acuerdo con *The International Solid Waste Association (ISWA)* (2011), se debe hacer una protección especial a las aguas subterráneas mediante un sistema completo de recogida, evaluación, tratamiento y seguimiento de lixiviados durante el proceso de operación y una vez clausurado el relleno.

## **2.2 Consecuencias de salud pública, ambientales y socioeconómicas**

Una de las mayores consecuencias derivada de la disposición de residuos es junto con la emisión de gases es la generación de lixiviados; estos últimos son los responsables de los efectos en cuanto a contaminación del suelo y del manto freático, contaminación de las fuentes de agua superficial y subterráneas, además de la generación de malos olores y degradación de los ecosistemas. Esto sucede debido a que en ocasiones los residuos son dispuestos en sitios que no cuentan con las condiciones de diseño, operación, mantenimiento y tratamiento adecuado para el manejo de los mismos. Esto a su vez tiene impactos directos e indirectos en la salud humana ya sea por la emisión de gases a la atmósfera (GEI), la acumulación de residuos como focos de proliferación de vectores y enfermedades. Adicionalmente el mal manejo de los líquidos lixiviados producto de la degradación de dichos residuos representa un grave riesgo.

Según el Informe Nacional 2015, para la Disposición Final de Residuos Sólidos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2016), a pesar de no tener datos exactos se puede inferir de acuerdo a estudios realizados que en los rellenos sanitarios en Colombia hay impactos ambientales negativos. “Por un lado, se debe a las impermeabilizaciones de fondo de los sitios de disposición final que no cumplen con los requerimientos técnicos para contener los residuos durante el tiempo necesario. Por lo tanto, se puede esperar a largo plazo una

contaminación del suelo. Adicionalmente, es de esperarse que haya contaminación hídrica, debido a descargas de lixiviados no tratados y por otro los trenes de tratamiento utilizados no remueven todos los contaminantes”. De igual manera se recomienda que a futuro se debe evaluar la adopción de nuevas tecnologías para el tratamiento de Lixiviados, ya que un relleno sanitario puede producir lixiviados durante varias décadas (SSPD, 2016 p. 23).

La migración de los lixiviados fuera de los límites del sitio de disposición final y su liberación al medio ambiente circundante representa serias preocupaciones ambientales, tanto en las instalaciones existentes como en nuevas (El-Fadel, Findikakis & Leckie, 1997). Lo que implica el mal manejo de los Lixiviados representa además de un gran daño ambiental a través de la pérdida del valor del suelo, debido a la contaminación del mismo originado a partir de infiltraciones de lixiviados (Christensen, Manfredi & Kjeldsen, 2011). Estos líquidos percolados causan afectación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas disponibles y los demás componentes medioambientales; además de representar un alto costo en materia de descontaminación una vez el daño se ha materializado.

### **2.3 Políticas y estrategias de Sostenibilidad enfocados manejo de Lixiviados en los rellenos sanitarios**

Según el DANE (2017) tan solo en Colombia se produjeron en el año 2015, 19.9 millones de Toneladas de Residuos Sólidos de los cuales el 44,6 % va a parar a los sitios de disposición final o rellenos sanitarios. Adicionalmente el reporte de Colombia presentado para la COP 21, responsabiliza al país del 0.46% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, según datos de 2010, las cuales pueden aumentar cerca del 50% en 2030 si no se toman las medidas pertinentes (SSPD, 2016). Debido a esto Colombia se comprometió a reducir en un 20% las emisiones de Gases Efecto Invernadero (Garcia et al, 2015). Actualmente el sector es responsable del 6% de las emisiones nacionales [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2015 (CONPES 3874, 2016).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, Colombia a través de la normatividad vigente y como parte de la contribución Mundial en el cumplimiento de los “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que

todas las personas gocen de paz y prosperidad” (PNUD, 2015), ha enfocado su agenda internacional en el cumplimiento de sus compromisos adquiridos en relación al manejo de residuos, esto relacionan:

- Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.  
Meta 3.9: Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo
- Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos,  
Meta 6.3: De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial
- Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (SSPD, 2016)

Dichos objetivos se relacionan directa e indirectamente con el manejo y tratamiento de lixiviados que como se mencionaba anteriormente, son derivados adversos del manejo de residuos en los rellenos sanitarios, que a su vez afectan a la salud humana y el medio ambiente. Sumado a esto, según el Informe Nacional 2015, para la Disposición Final de Residuos Sólidos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD. (2016) uno de los factores que más afecta la calidad del servicio de disposición final son los vertimientos directos de lixiviados y la frecuencia de la caracterización de la calidad del entorno (Aguas superficiales, subterráneas, lixiviados, residuos y aire).

## 2.4 Situación actual del relleno sanitario Los Corazones, Valledupar – Cesar

### 2.4.1 Descripción General



*Figura 3:* Ubicación relleno sanitario “Los Corazones” recuperado de SSPD, 2016

El relleno sanitario Los Corazones se encuentra ubicado a 7 km del casco urbano de la ciudad de Valledupar (Figura 3); sugirió su operación el 01 de diciembre de 1999; cuenta con el permiso ambiental según la resolución modificatoria No 0916 del 28 de junio de 2013, emitida por la Corporación Regional del Cesar - CORPOCESAR. Su tiempo estimado de vida útil según la licencia expedida está proyectado para el 27 de mayo del año 2028. La empresa prestadora para el año 2015 según SSPD (2016) era EMPRESA DE SERVICIOS DE ASEO DE VALLEDUPAR S.A E.S. P - "ASEOUPAR S.A. E.S.P." Este relleno atiende a siete (7) municipios del departamento del Cesar; sin embargo, para el año 2015 atendió a siete (7) municipios más, allí se disponen diariamente 467 Ton/día, es utilizado un buldozer como maquinaria para el proceso de distribución y compactación de residuos; la densidad de compactación de residuos es de 1 Ton/m<sup>3</sup>, es cubierto de manera temporal con material sintético negro- verde material arcilloso que se extrae del mismo predio, báscula electrónica cuya capacidad es de 80 Ton. El lugar se encuentra delimitado con un cerco de alambre de púas y estacas de madera. El control de esorrentía en el relleno Los Corazones se realizan a través de un sistema de canales perimetrales conformados en material terreno, se observa crecimiento de vegetación al interior de los canales. Cuenta con un frente de trabajo de 600 m<sup>2</sup>, para la descarga de cuatro (4) vehículos de manera simultánea.

El control de vectores se realiza mediante un Sistema de detonaciones sonoras para ahuyentar estas aves, además se adiciona BIO WISH sobre la masa de residuos con frecuencia diaria, también se realizan fumigaciones cada 15 días, el manejo de gases se realiza por el método de extracción pasiva. Para el tratamiento de lixiviados se utiliza un método de recirculación por gravedad y adicional se tiene instalado otras dos piscinas de retención al costado oriental del relleno

Finalmente, el relleno para el año 2015 no contaba con plan de contingencia y emergencia según lo exigido por la resolución 0154 de 2014 (SSPD, 2016)

#### 2.4.2 Desempeño del relleno sanitario los Corazones

Dentro de los criterios más importantes evaluados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2016) en el Informe Nacional de Disposición Final de residuos sólidos – 2015; a partir de la información obtenida en los rellenos sanitarios, tomando como referencia la metodología de Wilson en el estudio “‘Wasteaware’ Benchmark Indicators for Integrated Sustainable Waste Management in Cities”. (Wilson et al, 2014) para el caso particular del tema de los lixiviados en cuanto a manejo, evaluación y monitoreo.

Manejo de lixiviados. Recolección y tratamiento físico, químico y/o biológico para que el lixiviado cumpla con los estándares de descarga. Algunas de las sustancias que se deben remover en el tratamiento son los metales pesados, cloruro, fluoruro, sulfato, materia orgánica, sólidos suspendidos, BTEX [benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos], PCB, aceites, PAH [hidrocarburos aromáticos policíclicos], entre otros. (EU Directive 1999/31/EC). Además de la protección aguas subterráneas, protección aguas superficiales, protección del suelo. (SSPD, 2016 p. 105)

Tabla 1. Puntajes de Desempeño del sitio de Disposición Final

Desempeño	Puntaje
Alto	20
Medio alto	15
Medio	10



Bajo	5
Deficiente	0

Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), 2016

Teniendo en cuenta los puntajes de desempeño establecidos en la Tabla 1 se procede a evaluar, los criterios de desempeño del relleno sanitario “los Corazones” tal como se puede observar en la Tabla 2

Tabla 2. *Desempeño relleno sanitario los Corazones Valledupar Cesar*

<b>Relleno Sanitario</b>	<b>Criterio 2E.1- Grado de control sobre la recepción de los residuos y manejo general del sitio</b>	<b>Criterio 2E.2 - Grado de control sobre el tratamiento y eliminación de residuos.</b>	<b>Criterio 2E.3 - Grado de monitoreo y verificación de controles ambientales.</b>	<b>Total</b>
<b>Los Corazones</b>	15	10	15	10

Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), 2016

A partir de la valoración de criterios según la información obtenida y representada en la tabla 2. se puede inferir que a pesar de que el relleno Sanitario Los Corazones tiene un desempeño medio alto en algunos criterios es necesario mejorar de manera general los procesos que se llevan a cabo allí, dado que se obtuvo un promedio general medio-bajo lo que influye directamente en el control y tratamiento de residuos; que es precisamente el área hacia la cual se fundamenta este trabajo a partir del manejo de Lixiviados mediante la técnica de Osmosis Inversa, ésta permitirá minimizar el grado de concentración en los compuestos contaminantes presentes en los lixiviados, haciéndolos más asimilables al medio ambiente; esto cobra mayor sentido teniendo en cuenta que para el año 2015 tan solo en el departamento del Cesar se generó alrededor de 225.156 Toneladas de residuos sólidos, ubicándose en el puesto número once a nivel nacional con relación a los departamentos con mayor cantidad de residuos generados, cifra que es directamente proporcional a la generación de estos líquidos percolados que generan impactos negativos en el medio ambiente, la salud y en el aspecto Socioeconómico de la región.

### **2.4.3 Contextualización y descripción del sistema de tratamiento por Osmosis Inversa como alternativa para el manejo de Lixiviados en el relleno sanitario Los Corazones**

#### **2.4.3.1 Rellenos Sanitario**

El relleno sanitario es un lugar seleccionado mediante criterios técnicos de diseño y operación para la disposición final de residuos sólidos en el suelo de manera segura, sin causar molestia o riesgo para la salud pública, ni perjudicar el medio ambiente durante su operación o después de su Clausura. (Jaramillo, 2002). Enterrar los residuos sólidos es una de las prácticas más utilizadas en todo el mundo para el manejo de los mismos (Giraldo, 2001). Esta técnica utiliza Principios de Ingeniería para confinar la basura en la menor área posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactando los residuos para reducir su volumen; además, se realiza control de gases y lixiviados producto de la descomposición de materia Orgánica (Noguera y Olivero, 2010).

*En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control. (Jaramillo, 2002)*

#### **2.4.3.2 Generación de los lixiviados en los rellenos sanitarios**

Los lixiviados se producen por la descomposición biológica y/o procesos fisicoquímicos de la parte orgánica o biodegradable de los residuos, bajo condiciones aerobias y anaerobias, o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en procesos de degradación. Estos brotan a la superficie o se infiltran hacia el terreno donde se encuentra instalado un relleno sanitario o un vertedero de basura.

#### **2.4.3.3 Características de los Lixiviados**

La composición química de los lixiviados es diversa debido a las características y naturaleza de los desechos (pH, edad y temperatura) y la fase de estabilización en que se encuentre, los cuales dan origen a estos líquidos percolados, que a su vez se convierten en sustancias tóxicas y altamente contaminantes. Estos poseen un elevado contenido de materia orgánica, sustancias inorgánicas que tienen gran variabilidad entre las cuales se pueden encontrar; altos contenidos

de sólidos Totales y Disueltos, nitrógeno y fósforo, además de la presencia abundante de patógenos, metales pesados y gran **variabilidad de pH**; su aspecto varía de color café a negro y despiden un olor fuerte y penetrante. (Méndez et al., 2009).

Por consiguiente, los lixiviados dependen de la correlación de un gran número de factores como el tipo de residuos dispuestos (características de los residuos) en el relleno sanitario, así como el diseño y operación del mismo, los procesos de transformación microbiológica y química, la interacción del lixiviado con el medio ambiente (principalmente características edafológicas e hidrológicas) y las condiciones climáticas del lugar. (Borzacconi, L. et al., 1996)

Algunas de las características anteriormente mencionadas se relacionan en la tabla 3, tomando en cuenta los valores reportados para cada parámetro de diferentes autores en algunos rellenos sanitarios que ha sido objeto de estudio a lo largo del tiempo.

Tabla 3. Comparación entre los valores de algunos de los indicadores reportados en los lixiviados por diferentes autores (todos los valores en mg/l, excepto pH)

	González 1982	Ehrig 1989	Reinhardt and Grosh 1998	Rastas 2002	Espinosa et al., 2010		
					2004	2007	2008
pH	6.3 – 7.9	4.5 – 9.0	6.1 – 7,5	4.5 – 7.8	7.67 – 8.10	7.60 – 8.10	7.38 – 8.23
DQO	1870 – 62 320	500 – 60 000	530 – 3000	400 – 15 200	1009 – 2011	321 – 1006	372 – 726
DBO <sub>5</sub>	5 380 – 52 000	20 – 40 000	-	500 – 68 000	685 – 902	128 – 433	165 – 320
N am	5 – 1420	30 – 3000	9.4 – 1 340	8.5 – 3610	50 – 105	166.10	16.33 – 27.3
Pb	0 – 2.0	0.008 – 0.14	<0.105	<0.001-0.9	0.11 – 0.71	-	-
Cd	0 – 0.025	0.05 – 0.14	<0.105	<0.0002-0.1	0.01 – 0.02	-	-

Fuente: Espinosa et al, 2010

Adicionalmente, la calidad de los lixiviados en un relleno sanitario puede variar con respecto al tiempo de operación del relleno y tipo del mismo. Por lo anterior Giraldo (2001) sugiere que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados; lo cual tiene implicaciones relevantes en la operatividad, el rendimiento y los procesos de tratamiento; esto se debe principalmente a la diferencia en los altos contenidos de materia orgánica, la humedad entre otros; producto de los procesos de fermentación inicial.

Tabla 4. *Clasificación General de los lixiviados según la Edad*

	Nuevo	Intermedio	Viejo
Edad (Años)	<5	5 -10	>10
pH	6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DQO(mgL <sup>-1</sup> )	>10000	4000 - 10000	<4000
DBO <sub>5</sub> /DQO	>0.3	0.1- 0.3	<0.1
Compuestos Orgánicos	80% (AGV)	5 - 30% AGV+ ácidos Húmicos + Fulvicos	Ácidos húmicos y fulvicos
Metales pesados	Bajo- Medio		Bajo
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

Fuente: Renou, et al., 2007

Como se puede apreciar en la tabla 4, la carga orgánica de los lixiviados alcanza los máximos valores en los primeros años de operación y decrece gradualmente con la edad del vertedero. Por otra parte, la concentración de amonio, que en general puede presentar cantidades superiores 2000 mg/l, no decrece y a menudo constituye su principal contaminante. En cuanto al contenido en metales pesados, las concentraciones son bajas en la fase metanogénica, pero sí son importantes en la fase inicial del vertedero (fase ácida). (Castrillón, 2008). Durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo y las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO, nutrientes, y metales pesados serán altas. Además de esto, durante la fase de fermentación del metano, el pH estará dentro del rango de 6,5 a 7,5, y los valores de concentración de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO y de los nutrientes serán significativamente más bajos. Similarmente, serán más bajas las concentraciones de metales pesados porque la mayoría de los metales son menos solubles para

valores de pH neutros. El pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presentes, sino también de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el gas de vertedero que está en contacto con el lixiviado, como se muestra en la siguiente figura. (Tchobanoglous, 1994)

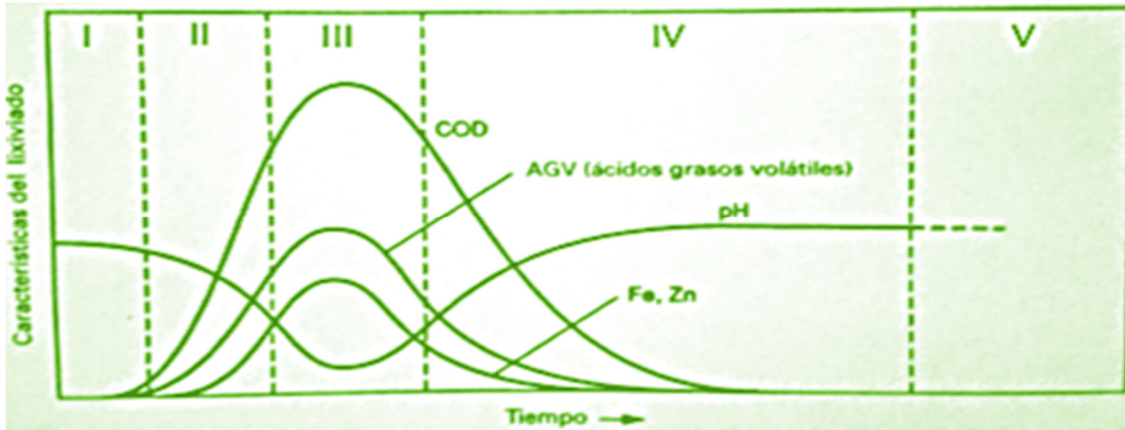


Figura 4: Comportamiento de lixiviados en relación al tiempo de exposición. Tchobanoglous, 1994.

En la Figura 4 se puede apreciar las cinco fases de la generación de lixiviados; estas relacionan las características a través del tiempo, dentro de estas se identifican las siguientes:

- I. Ajuste inicial
- II. Fase de transición
- III. Fase ácida
- IV. Fermentación del metano
- V. Fase de maduración.

Por último, la producción de los lixiviados depende de la cantidad de agua que contienen los residuos y el grado de compactación de los mismos, por lo cual estos pueden verse afectados por la precipitación y/o la evaporación; de tal manera que el diseño y la técnica de vertido de residuos sólidos es primordial para controlar la cantidad de agua que entra al relleno sanitario; porque a mayor compactación la tasa de infiltración se reduce. (Renou, et al., 2007).

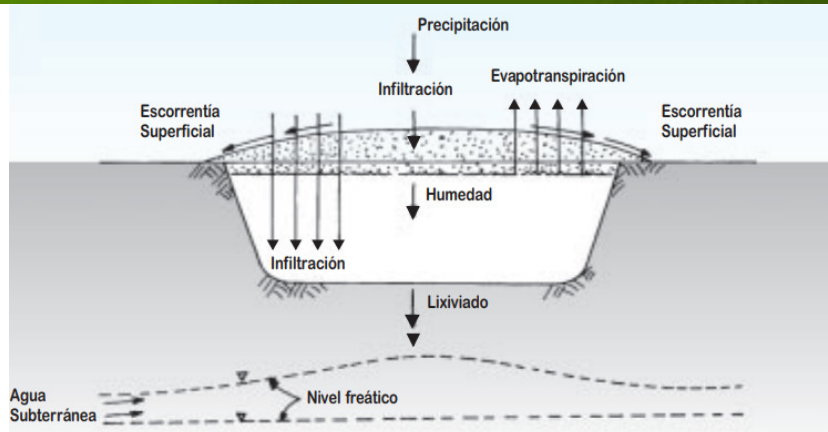


Figura 5: Balance de Agua en un relleno sanitario. Minambiente, (2002)

#### 2.4.3.4 Producción de Lixiviados

Para realizar el cálculo del flujo de los lixiviados es necesario tener en cuenta los procesos del Sistema Hidráulico que se llevan a cabo en el relleno como es la Precipitación (P), la Infiltración (I), la Evotranspiración (ETP), la Saturación (S) y la Percolación (PERC) de los mismos. (Minambiente, 2002).

Lo anterior se puede observar a partir de la Figura 5 donde se describe el ciclo de generación de lixiviados, que a su vez se relaciona con lo que menciona Renou, et al. (2007) en cuanto al contenido de agua de los residuos.

## 2.5 Los Lixiviados en Colombia

La Política Ambiental **Colombiana** es ambiciosa en el tema de manejo y disposición final de residuos sólidos, principalmente de aprovechamiento; sin embargo, la implementación real de estas políticas ha tenido obstáculos para materializarse debido a los costos en los que se incurre, razón por la cual los rellenos sanitarios terminan siendo la alternativa económicamente más utilizada (Giraldo, 2001).

A partir de la Tabla 5 se puede apreciar algunas de las características fisicoquímicas más representativas de los lixiviados generados en rellenos sanitarios existentes en el país.

Tabla 5. Principales Características de los Lixiviados en Colombia, según estudios realizados

Sitio	pH	DQO	DBO5	DBO5/DQO	SS	NTK
-------	----	-----	------	----------	----	-----

El Guayabal – Cúcuta	7,54	16334	12878	0,79	2043,2	1266,6
La Glorita – Pereira	8,1	8629,17	430,81	0,12	-	346,52
Curva de Rodas – Medellín	6,89	19100	14018	0,73	-	1192
El Henequén – Barranquilla	7,6	4112,08	1611,08	0,39	204	299,3
Antanas – Pasto	7,4	13064	12861	0,98	1355	1574

Fuente: Sánchez, 2012

### 2.5.1 Los lixiviados y sus efectos en la Salud

Los lixiviados son sustancias tóxicas para la salud debido a las altas concentraciones de metales pesados, materia orgánica y presencia de microorganismos patógenos que son los causantes de múltiples enfermedades. Los seres humanos se ven en riesgo de ser afectados debido a las distintas maneras de contaminación que se pueden dar a causa de los lixiviados como son los procesos de infiltración en el suelo, la contaminación de fuentes hídricas que posteriormente son usadas para el consumo o para el riego de cultivos o por los mismos procesos de evaporación de las lagunas de lixiviados que por procesos hidrológicos son transportados, condensados y posteriormente precipitados en forma de lluvia; algunos de los efectos negativos son causados por compuestos específicos que se relacionan a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. *Efectos en la salud humana compuestos orgánicos volátiles en lixiviados*

COMPUESTO	EFFECTOS NEGATIVOS EN:
BENCENO	Sistema inmunológico y gastrointestinal, en células de la sangre, alergias, irritación en ojos y la piel; probable cancerígeno y teratogénico.
CLOROFORMO	Sistema nervioso central y gastrointestinal, hígado, embriotóxico e irritación en ojos, piel, riñón, probable cancerígeno y teratogénico
1,1. DICLOROETANO	Sistema nervioso central, hígado, riñón, embriotóxico
ETILBENCENO	Sistema nervioso central, respiratorio, riñón, hígado, ojos y piel.
METILENO	Sistema nervioso central, respiratorio y cardiovascular, en sangre, irritación en piel y ojos, probable cancerígeno
TETRACLOROETILENO	Sistema nervioso central, respiratorio, riñones, hígado, ojos, embriotóxico, probable cancerígeno.

TULUENO	Sistema nervioso central y respiratorio, riñón, hígado, irritación de piel, ojos, alergias, posible cancerígeno.
TRICLOROETILENO	Sistema nervioso central, cardiovascular, respiratorio, riñones e hígado, células de sangre, irritación de piel, ojos, alergias, posible cancerígeno y teratogénico.
1,1,2. TRICLOROETILENO	Sistema nervioso central, respiratorio, hígado, riñón, irritación en ojos y piel, cancerígeno.
CLORURO DE VINILO	Sistema nervioso central, en hígado y riñón, irritación en ojos, piel, en células de sangre, cancerígeno, posible teratogénico.
XILENO	Sistema nervioso central, respiratorio, cardiovascular; en hígado y riñón, irritación en ojos.

Fuentes: Environmental Research Foundation. 1998. Landfills are dangerous. Publicación semanal No.617 del Semanario Rachel's Environment and Health News. Estados Unidos de América.

### 2.5.2 Transporte y Manejo de lixiviados en los rellenos sanitarios

Según la Guía ambiental para rellenos sanitarios (2002), los lixiviados tienden a salir por gravedad por la parte inferior del relleno sanitario, hasta que una capa impermeable se lo impida.

En rellenos sanitarios con alturas mayores de 15 metros, es necesario hacer estudios hidráulicos para el manejo de las presiones piezométricas y evitar el aumento de la presión de poros dentro de la masa de residuos, que puede causar problemas de inestabilidad, se deben colocar filtros de piedra, por lo menos cada 15 metros; mientras que en rellenos sanitarios con alturas menores de 15 metros, se debe permitir que el lixiviado percole a través de los residuos hasta la capa inferior de material permeable.

Los filtros captadores de lixiviados dentro del relleno sanitario irán por la pata del talud, de tal manera que se puedan sacar del área del relleno sanitario y conducirlos a un sistema de tratamiento.

La pendiente longitudinal de estos filtros debe ser siempre mayor que 3%; una vez que salgan del relleno sanitario, los filtros se podrán cambiar por tubería de diámetro mínimo de 15 centímetros, que los lleve al sistema de almacenamiento y tratamiento.



Cuando llueve una parte del agua se pierde en la escorrentía superficial, otra se evapotranspira y el agua restante se filtra a través de los residuos en el relleno sanitario siendo contaminada con diversos componentes orgánicos e inorgánicos (Minambiente, 2002)

## **2.6 Sistemas de Tratamiento de Lixiviados**

### **2.6.1 Generalidades**

Existen diversos métodos para el tratamiento de los lixiviados y estos se pueden clasificar de acuerdo a características específicas y a los niveles de tratamiento o el tipo de compuestos contaminantes que se desee remover (Giraldo, 2001).

#### ***2.6.1.1 Técnicas de Tratamiento Biológico***

Dentro de las técnicas de tratamiento biológico más reconocidas se encuentran, los procesos anaerobios y los procesos aerobios.

Los procesos aerobios es una de las tecnologías más usadas para la remoción de materia orgánica, que el caso de los lixiviados es uno de los compuestos predominantes; principalmente en el caso de los lixiviados jóvenes; a su vez reporta una alta eficiencia en la reducción de DBO; generalmente se usa como una técnica de tratamiento primario o pretratamiento, es un sistema simple con menor producción de lodos y bajos costos en cuanto a inversión, mantenimiento y operación. Por otra parte, presenta dificultad cuando los lixiviados contienen una gran cantidad de componentes tóxicos lo que dificulta la actividad microbiana; adicionalmente se genera una acumulación de material inorgánico en el sistema que dificulta su operación. Por su parte *los procesos aerobios* también son muy conocidos y principalmente se utilizan cuando se quiere obtener una baja concentración de DBO en los efluentes; generalmente tienen una efectividad del 90% en este parámetro; sus costos son un poco más elevados comparados con los procesos anaerobios, esto en relación con las altas concentraciones de DBO, lo que resulta ser más favorables para ser usados en lixiviados con concentraciones medias o bajas como proceso de post-tratamiento aerobio o en lixiviados viejos. Sin embargo, presenta dificultades con la generación de espumas, algunos metales, las altas variaciones de las cargas hidráulicas y las cantidades importantes de COVs. (Giraldo, 2001)

### ***2.6.1.2 Técnicas de Tratamiento Fisicoquímico***

Esta técnica consiste en la eliminación de las partículas suspendidas del líquido por la acción de sustancias denominadas coagulantes (sales metálicas y/o polielectrolitos). Involucra procesos de coagulación, floculación y sedimentación y el elemento fundamental para el éxito de este proceso es determinar el coagulante o la combinación de coagulantes más eficiente que se relacionan necesariamente con las características fisicoquímicas del líquido. Características como la alcalinidad, el pH, la concentración de sólidos suspendidos, carga eléctrica de las partículas suspendidas y la forma de agregación de estos sólidos son más relevantes que la concentración orgánica total, sobre todo de la fracción soluble. (Méndez, et al., 2004)

### ***2.6.1.3 Técnicas de Sistemas Naturales***

Los sistemas Naturales, lagunas y humedales artificiales son una de las alternativas para el tratamiento de lixiviados, una de las ventajas esta técnica es la operación de manera sencilla, además de tratarse de una alternativa cuyo coste (operación y mantenimiento) es favorable en comparación con otras técnicas; sirve como proceso de pretratamiento, hasta un tratamiento terciario según el caso. Por otra parte, estos sistemas tienen cierto nivel de eficiencia con respecto a otros debido a que reducen los problemas de acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Una de las principales desventajas de estas técnicas son las grandes extensiones de terreno que se necesitan para su implementación.

### ***2.6.1.4 Técnica de Recirculación de los Lixiviados***

Esta técnica consiste en la conversión ácidos grasos que están presentes en los lixiviados a gas metano ( $\text{CH}_4$ ), mediante la utilización de un biorreactor. Al convertir estos ácidos en Metano, el pH del lixiviado aumenta, y al aumentar el pH la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra una disminución de los metales en solución que son transportados por el lixiviado; logrando así la reducción de  $\text{DBO}_5$  junto con los metales que están presentes allí. Sin embargo, esta técnica es eficiente en procesos de pretratamiento ya que necesariamente requiere algún tipo de tratamiento posterior que dependerá de los requisitos pertinentes para cada caso. Es necesario recircular el lixiviado durante 3 y 10 años para lograr resultados eficientes. A pesar de ser una técnica favorable en cuanto a al aumento de la tasa de

biogás, estabilización del relleno y aumento de la capacidad del relleno por la ganancia asociada de volumen, y la disminución en las actividades de post-clausura del relleno; también representa un riesgo debido al contenido de humedad de los residuos y el aumento en la presión interna del relleno, lo cual puede afectar la estabilidad de los taludes, por lo tanto es necesario la revisión de los aspectos geotécnicos del relleno y su sistema de drenaje. (Giraldo, 2001)

#### **2.6.1.5 Técnicas de Sistemas de Membranas**

Según Giraldo (2001) esta es una de las tecnologías más desarrollada durante la última década. Esta técnica es usada en tratamiento de diversos tipos de efluentes, incluyendo los lixiviados de los rellenos sanitarios.

Dentro de las técnicas más conocidas de este tipo se encuentran; la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, *la ósmosis inversa*, la ósmosis directa e inclusive la pervaporación al tratamiento de los lixiviados, bien sea de manera directa, o acoplada a otro tipo de proceso de tratamiento.

Por su parte, existen reportes de la aplicación en serie de procesos de *ósmosis inversa* con procesos de precipitación-cristalización y nanofiltración para la remoción de sustancias precipitables de lixiviados con alto contenido de sólidos disueltos inorgánicos. De la misma manera se tienen reportes de la aplicación directa de la Ósmosis Inversa, en el tratamiento de lixiviados. (Giraldo, 2001)

#### **2.6.1.6 La Ósmosis Inversa como alternativa de tratamiento.**

La Osmosis Inversa es un proceso que remueve partículas muy pequeñas presentes en una solución tales como bacterias, sales, azúcares, proteínas y otras impurezas tales como color y propiedades de los fluidos; se utiliza también para purificar algunos fluidos con alcoholes; estos fluidos pasan a través de la membrana semipermeable la cual retiene los iones y otros contaminantes. (Martínez, et al., 2014). Su nombre proviene de "osmosis", el fenómeno natural por el cual se proveen de agua las células vegetales y animales para mantener la vida.

Investigaciones realizadas han demostrado los rendimientos favorables para la remoción de la mayoría de contaminantes; principalmente se usa en lixiviados con concentraciones relativamente bajas de DBO menores a 1000mg/l, es decir lixiviados viejos o después de un

proceso de pretratamiento. Esta tecnología también tiene una ventaja muy importante y es el bajo consumo energético para su funcionamiento en comparación con otras tecnologías como la oxidación biológica o la Evaporación. (Giraldo, 2001). Adicionalmente, a través de estos estudios se ha evidenciado la efectividad en los diferentes tipos de lixiviados (rellenos convencionales, rellenos nuevos) provenientes de celdas con residuos especiales y residuos biodegradables, la reducción en las concentraciones de DQO fue mayor al 98%. (Martínez-López, et al., 2014)

### 2.6.1.6.1 Características Generales

En el caso de la Ósmosis, el solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de una membrana semi-permeable tal como se puede observar en la Figura 6. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía, originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada, energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la **presión Osmótica Aparente** entre las 2 soluciones. Esta presión Osmótica Aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. Se trata de la **Ósmosis Inversa**. El flujo de solvente es una función de la presión aplicada, de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.

La membrana de osmosis inversa retiene prácticamente todas las partículas y sales excepto el agua.

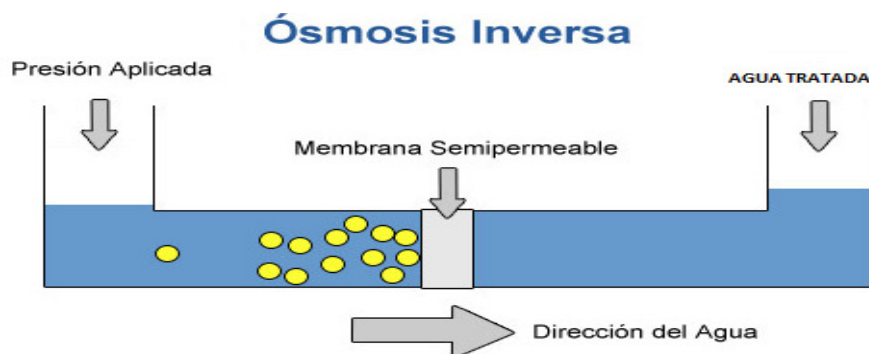


Figura 6: Principios de Osmosis Inversa Fuente: <http://www.aguabona.com/osmosis.jsp> (recuperado 21 de abril 2018)

Si se aplica en la columna del fluido una presión superior a la presión osmótica, se obtiene el efecto inverso: El agua fluirá hacia el lado de contenido menor de sólidos mediante esta técnica, puede eliminarse la mayor parte del contenido de sales del agua, entre otros iones y partículas presentes tal y como se relaciona en la Tabla 7.

Tabla 7. Remoción de algunas partículas mediante Osmosis Inversa

	Tamaño o masa de las partículas	Ejemplo de Partículas retenida	Presión requerida
<b>Osmosis Inversa</b>	0.1mm o mayores (50 Dalton)	Sales mono y divalentes Casi todas las partículas y iones (solo atraviesa el agua)	10- 100 Bar

Fuente: Colina s.f. Pág. 7

En el proceso de osmosis inversa no hay acumulación del material separado sobre la superficie de la membrana, como en el caso de la filtración, puesto que el rechazo es el que arrastra este material; adicionalmente mediante la osmosis inversa solamente una parte del caudal alimentado pasa a través de la membrana y es el que constituye el producto, mientras que la otra parte es rechazada y eliminada; este proceso sucede mediante un flujo paralelo.

### 2.6.1.6.2 La membrana de Osmosis inversa y sus propiedades

La membrana de Osmosis inversa está hecha de soluciones preparadas de acetato de Celulosa; usualmente se describe como “2.5 acetato”, lo cual corresponde al contenido de acetyl de un 40% aproximadamente. Por tanto, el componente clave para el sistema de osmosis inversa es la membrana. A continuación, se puede apreciar mediante la figura 7 las partes que componen la membrana de Osmosis Inversa.

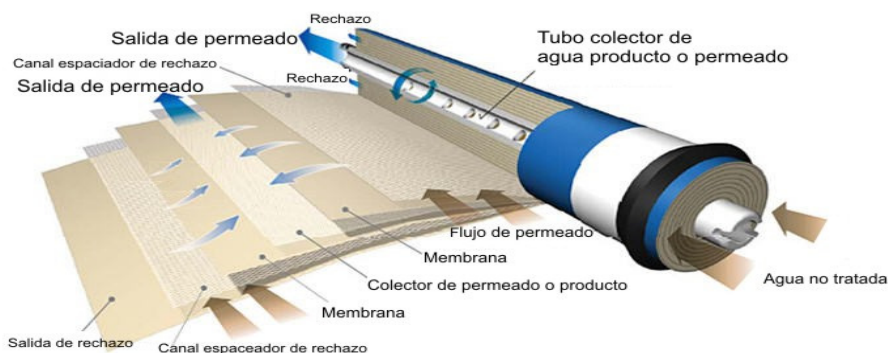


Figura 7: Membrana de Osmosis Inversa. Recuperado de <http://www.aguasistec.com/osmosis-inversa.php>

Dentro de las propiedades más importantes de la membrana en el proceso de filtración se encuentra la influencia del calor; este tiene un efecto directo en la capacidad del flujo de agua, entre más alta es la temperatura más bajo es el flujo de agua y por ende mejor la eliminación de sales. Por otra parte, el cambio existente entre los flujos de agua con relación al tiempo es un factor clave; bajo condiciones ideales puede haber un declinamiento del flujo de agua con respecto al tiempo de operación.

La membrana está sujeta a procesos de Hidrólisis porque es un Ester, el cual es acelerado por incrementos de temperatura y es también función del pH alimentado; por ende, la acidez de pH (5 a 6) y las bajas temperaturas hará que la porción de hidrólisis sea menor.

Dentro de los parámetros específicos que deben tomarse en cuenta para el tratamiento de Osmosis inversa se encuentra:

- El sistema de presión en la proporción del fluido.
- La conductividad alimentada (medición periódica)
- El pH de la alimentación (afectación de la vida útil de la membrana)
- Proporción del fluido alimentado (presión de operación)
- Temperatura del agua alimentada (Hidrólisis y compactación de la membrana, lo ideal por debajo de 85°F)
- Turbidez de alimentación (Cantidad de SST en la superficie de la membrana)
- Velocidad de fluido de la alimentación y del producto (desempeño total)
- Sistema de presión diferencial (indicador de perturbación)

### **2.6.1.6.3 Indicadores**

Según Giraldo (2001) la técnica de sistema de membranas para el tratamiento de lixiviados tiene ventajas con otras técnicas en cuanto a los requerimientos de área, tienen una buena eficiencia en cuanto al tratamiento de DBO, la reducción de metales y los patógenos presentes los efluentes tratados; dentro de los indicadores más importantes para tener en cuenta mediante el uso de la membrana de osmosis inversa se encuentra el pH, los Oxidantes y la Temperatura.

Sin embargo, también se pueden presentar algunas dificultades durante la aplicación de la técnica para algunos parámetros; esto depende de condiciones específicas tal como se menciona en la Tabla 8.

Tabla 8. *Rendimiento de remoción mediante Osmosis inversa en el tratamiento de Lixiviados como una técnica de Sistema de membranas*

Ítem	Problemas con	Rendimientos
1	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	Muy altos
2	<i>Nutrientes</i>	No (1)
3	Metales	Altos
4	Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	No (1)
5	Patógenos	Muy Altos

(1) Pueden ser altos o bajos dependiendo del diseño. (2) Cuando hay pretratamiento pueden tener remociones muy altas. (3) La remoción se hace por arrastre en el tanque de aireación. Este genera problemas de impacto ambiental. (4) Puede ser muy altos si así se requiere. (5) Puede generar problemas en las conducciones

Fuente: Giraldo 2001

#### 2.6.1.6.4 Experiencias en la aplicación de la Osmosis Inversa

##### Aplicaciones de la Ósmosis Inversa<sup>1</sup>

Esta tecnología Entre 1950 y 1970, se llevaron a cabo innumerables trabajos a fin de implementar el uso de la Osmosis Inversa en la desalación de aguas salobres y agua de mar.

A partir de 1970 esta técnica comenzó a ser competitiva, y en muchos casos superior a algunos de los procesos y operaciones unitarios usados en concentración, separación y purificación de fluidos. Hay razones para justificar esta creciente supremacía, debido a que la osmosis inversa reúne características de excepción, como:

Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (hasta el 99%). Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.

Realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua. Es una tecnología extremadamente simple, que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado. El proceso se realiza sin cambio de fase, lo que implica ahorro de energía. Es modular y necesita poco espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de las plantas: desde 1 m<sup>3</sup>/día, a 1.000.000 m<sup>3</sup>/día. La Osmosis Inversa puede

<sup>1</sup> Tomado de <http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa> 20 de abril 2019

aplicarse en un campo muy vasto y entre sus diversos usos podemos mencionar:

Abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de poblaciones.

Tratamiento de efluentes municipales e industriales para el control de la contaminación y/o recuperación de compuestos valiosos reutilizables.

En la industria de la alimentación, para la concentración de alimentos (jugo de frutas, tomate, leche, etc.). En la industria farmacéutica, para la separación de proteínas, eliminación de virus.

Tabla 9. *Marco regulatorio en la gestión de lixiviados normatividad internacional*

<b>Normatividad Internacional relacionada con los lixiviados</b>		
<b>Acto administrativo</b>	<b>Expedido por</b>	<b>Tema/objeto</b>
Directiva de 19 de noviembre de 2008	Parlamento Europeo y del Consejo	Residuos
Decisión 2014/955 de 2014	Parlamento Europeo y del Consejo	por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos
Decisión 2003/33/CE de 2002	Consejo Europeo	Por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos.
Ley 22 de 2011	Ministerio de la Presidencia y para las administraciones Territoriales (España)	De residuos y suelos contaminados
Ley 16 de 2002	Ministerio de la Presidencia y para las administraciones Territoriales (España)	De prevención y control integrados de la contaminación
Real Decreto 1481 de 2001	Ministerio de la Presidencia y para las administraciones Territoriales (España)	Por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero



Tabla 10. Marco regulatorio en la gestión de lixiviados normatividad nacional

<b>Normatividad Nacional relacionada con los lixiviados</b>		
Política para la gestión integral de residuos de 1997	Ministerio de Medio Ambiente	Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Documento CONPES 3530	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la GIRS
Documento CONPES 3530	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos
Decreto 859 de 1998	Alcaldía Mayor de Bogotá	Sistema de tratamiento de lixiviados en el Relleno Sanitario Doña Juana
Decreto 838 de 2005	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	Disposición final de residuos solidos
Decreto 2981 de 2013	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamenta Prestación del servicio de aseo en sus etapas de manejo
Decreto 1784 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamenta actividades complementarias de tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos
Resolución 1096 de 2000	Ministerio de Desarrollo Económico	Reglamento Interno del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS
Resolución 1890 de 2011	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	Establece alternativas para la disposición final de los residuos solidos
Resolución 631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Regulación de vertimientos a cuerpos de agua superficiales
Resolución 720 de 2015	Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA	Regulación Tarifaria

## Capítulo III

### 3. Marco metodológico.

#### 3.1 Localización y cobertura.

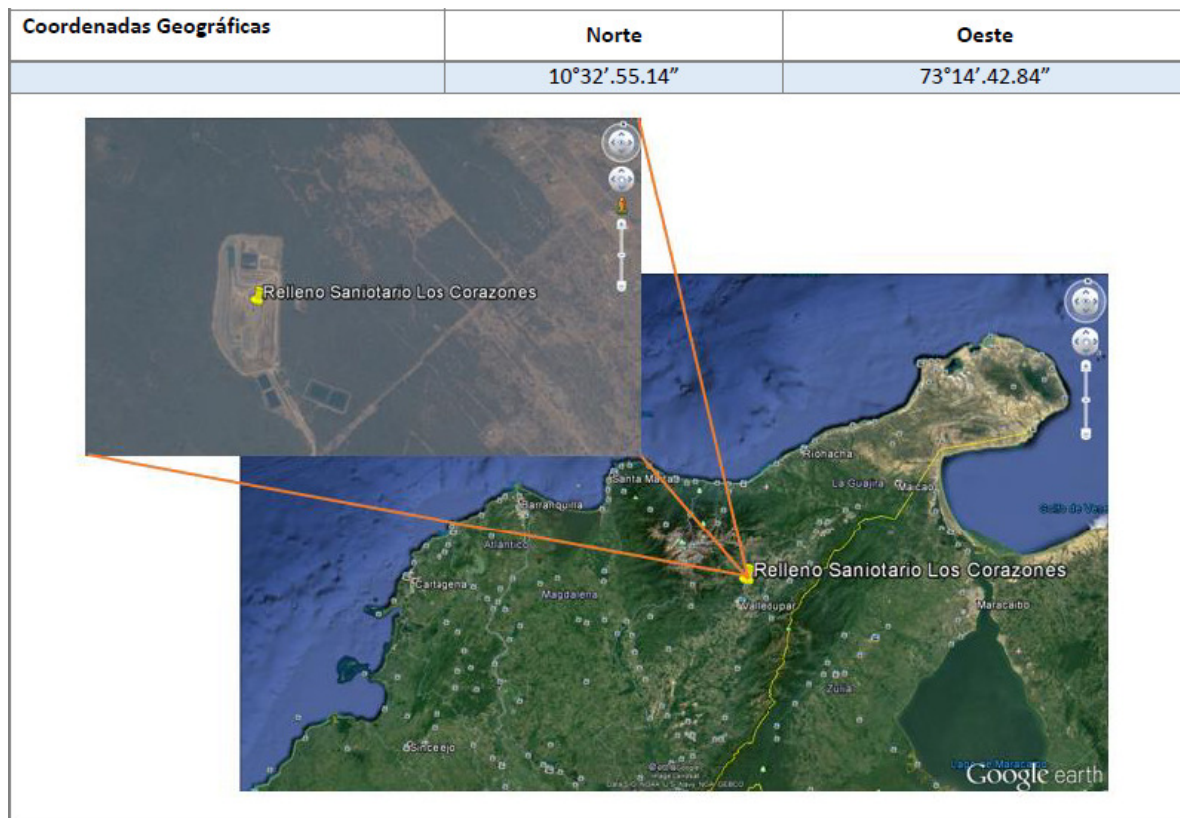


Figura 8: Localización Geográfica relleno sanitario Los Corazones. Google Earth 2019

La ciudad de Valledupar, cabecera municipal y capital del departamento del Cesar (Colombia), Está ubicada en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta a la margen del río Guatapurí.

Por el **Norte** limita con los departamentos de Magdalena y la Guajira.

Por el **Sur** con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso.

Por el **Este** con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz.

Por el **Oeste** con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

El relleno sanitario Los Corazones se encuentra ubicado a seis (6) kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento veinte (120) hectáreas; se encuentra ubicada en una zona suburbana de Valledupar, sobre las latitudes 1°083.000 y 1°099.000 este, limita en la parte sur con el Río Guatapurí, al occidente la carretera que de Valledupar conduce a Patillal, Al norte con el arroyo el Pájaro y hacia el oriente las Vegas.

### **3.2 Tipo y nivel de investigación.**

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de un ENFOQUE CUANTITATIVO partiendo de lo particular a lo general. A través de la manipulación de variables para sentar bases teóricas del proceso de Ósmosis Inversa, a fin de someterlos en el tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario “Los Corazones” de Valledupar – Cesar.

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, este proyecto es de carácter experimental, según la categoría de Namakforoosh (2001) es un Diseño exploratorio – causal. la investigación causal tiene por objetivo proporcionar evidencia suficiente sobre las relaciones causales, producto de que se desarrollará la investigación bajo modelo de flujo hidráulico continuo, manipulando las condiciones de operatividad de la tecnología de Ósmosis Inversa como lo es, el pH y tiempo de salida en la obtención de remociones de carga orgánica (DQO, DBO<sub>5</sub>)

### **Evaluación de la calidad fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar.**

La evaluación de la calidad fisicoquímica de los lixiviados se hizo a través de una caracterización realizada en laboratorios certificados por el IDEAM

Se realizó muestreo manual, recolectando las muestras en un recipiente plástico previamente purgado con la muestra, con el cual se llenaron los diferentes recipientes, para su posterior preservación teniendo en cuenta el análisis a realizar, registrando en campo los parámetros medidos, in situ acorde a los lineamientos presentados:

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO DE ANÁLISIS	LM	LCM	INCERTIDUMBRE	EQUIPOS PARA MEDICIÓN
pH	U. pH	Electrométrico	S.M 4500 H B	0,01	0,01	± 0,01	Sonda Multiparamétrica LUTRON YK-2500WA
Temperatura	° C	Electrométrico	S.M 2550 B	0,1	0,1	± 0,1	
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	Electrométrico	S.M 4500-O G	0,01	0,01	± 0,01	
Sólidos Sedimentables - SSED	mL/L	Volumétrico	2540 F	0,1	0,1	NE	Cono Imhoff

Para la preservación de las muestras se aplicaron controles físicos y químicos de acuerdo al parámetro a analizar, las muestras se transportaron a baja temperatura (refrigeración  $\leq 6^{\circ}\text{C}$ ) para reducir la degradación biológica teniendo en cuenta las instrucciones del método de referencia *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO DE ANÁLISIS	LCM	INCERTIDUMBRE
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	Incubación	S.M 5210 B	2,0	± 0,06
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	Colorimétrico	S.M 5220 C	10	± 0,29
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	Surfactantes	SM 5540 C	0,1	± 0,01
SST	mg/L	Gravimetría	SM2540 D		± 0,015
Grasas y aceites	mg GyA/L	Soxhlet	S.M. 5520 D	9,0	± 0,007
Hidrocarburos Totales	mg/L	Espectrofotometría Infrarrojo	NTC 3362:2005-06-29, Numeral 4, Método C y numeral 7. Método F	0,200	N.E.
Fósforo Total	mg/L	Digestión – Colorimetría con Ácido Ascórbico	S.M. 4500-P B,E	0,070	N.E.
Dureza Total	mg/L	Volumetría con edta	SM 2340 C	4,60	N.E.
Dureza cálcica	mg/L	Volumetría	SM 3500 Ca B	4,39	N.E.
Nitrógeno Total	mg N/L	Digestión - Kjeldhal	SM 4500-Norg C, SM 4500 NH <sub>3</sub> B,C	3,00	± 0,088
Nitrógeno Amoniacal	mg NH <sub>3</sub> -N/L	Colorimetría	SM 4500-NH <sub>3</sub>	0,05	± 0,049
Nitratos	mg/L	Colorimetría	Salicilato Sódico (Rodier)	2,21	-
Nitritos	mg/L	Colorimetría	SM 4500 NO <sub>2</sub> B	0,020	-
Cloruros	mg/L	Método Argentométrico	SM 4500 Cl-B	9,90	-
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	Turbidimetría	SM-4500 SO <sub>4</sub> E	5,00	± 0,071
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L	Colorimetría	SM 4500-P E	0,21	± 0,037

Color a 436 nm	m-1	Colorimetría	ISO 7887-2011, método B	N.A.	± 0,0009
Color a 525 nm	m-1			N.A.	± 0,025
Color a 620 nm	m-1			N.A.	± 0,044
Alcalinidad		Volumetría	S.M. 2320 B	6,040	N.E.
Acidez		Volumetría	S.M. 2310 B	2,54	N.E.
Sulfuros	mg /L	Yodo métrico	SM 4500 S2 F	1,00	-
Fenoles Totales	mg /L	Colorimetría (celda 10 mm)	SM 5530 B,D	0,10	± 0,057
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Extracción Líquido - Líquido CG/FID	EPA 3510 C / EPA 8041A	0,007	-
HAP	mg/L	Extracción Líquido - Líquido CG/FID	EPA 3510 C / EPA 8100	0,002	-
BTEX	mg/L	Headspace CG/FID	EPA 5021A / EPA 8015d	0,10	<0,10
Níquel	mg Ni/L	Absorción atómica	SM 3030 E, SM 3111 B	0,20	± 0,026
Aluminio	mg Al/L	Absorción atómica	SM 3030 E, SM 3111 D	1,0	± 0,028
Arsénico	mg As/L	Absorción atómica	EPA 7062 - SM 3114 C	0,01	± 0,000399
Zinc	mg Zn/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 B	0,05	± 0,02420
Cromo Total	mg Cr/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 B	0,10	± 0,040
Litio	mg Li/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 B	0,15	± 0,034
Plata	mg Ag/L	Absorción atómica	SM 3030 E, SM 3111 B	0,05	± 0,017
Bario	mg Ba/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 D	0,50	± 0,000837
Berilio	mg Be/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 D	0,025	± 0,044
Boro	mg B/L	Colorimetría	SM 4500 B,C	1,00	± 0,034
Cobalto	mg Co/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 B	0,20	± 0,029
Estaño	mg Sn/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 D	1,00	± 0,010
Molibdeno	mg Mo/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 D	0,50	± 0,016
Plomo	mg Pb/L	Absorción atómica	SM 3030 E, SM 311B	0,10	± 0,016
Hierro	mg Fe/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 B	0,20	± 0,017
Cobre	mg Cu/L	Digestión- Absorción atómica- Horno de grafito (Electro térmico)	SM 3030E, SM 3113 B	0,001	± 0,016
Selenio	mg Se/L	Absorción atómica/ Generación de Hidruros	EPA 7742, SM 3114 C	0,0025	± 0,029
Manganeso	mg Mn/L	Absorción atómica	SM 3030E, SM 3111 B	0,10	± 0,045

Mercurio	mg/L	Digestión-AA - Vapor Frío	EPA 7471 B SM 3112 B	0,001	± 0,056
Cianuros	mg/L	Digestión ultravioleta – Detección Amperometrica	ASTM D7511-09	0,011	N.E.
Cadmio	mg Cd/L	ICP-MS	EPA 200.8	0.0048	± 0,00196
Vanadio	mg V/L	ICP-MS	EPA 200.8	0,00496	N.E.

### Determinación de la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> mediante ensayos operado por el tratamiento de Ósmosis Inversa bajo modelo hidráulicos de flujo continuo.

Tomando como referencia la información consignada en la Tabla 11 se realizó la determinación de la remoción de materia orgánica, bajo el modelo hidráulico de flujo continuo a través del paso de lixiviados por la membrana. En primera instancia se efectúa el montaje del equipo de osmosis inversas; luego se procede a la manipulación de las variables y la determinación de la carga orgánica de acuerdo a la unidad experimental.

Tabla 11. Resultados de la Etapa Experimental de muestreo

DATOS ETAPA EXPERIMENTAL OSMOSIS INVERSA							
		pH: Lixiviado		pH: 7,0		pH: 6,0	
Testigo	DBO	A1	DBO	A3	DBO	A5	DBO
	DQO	A2	DQO	A4	DQO	A6	DQO
T1: INICIAL	DBO	B1	DBO	B3	DBO	B5	DBO
	DQO	B2	DQO	B4	DQO	B6	DQO
T2: 12 HORAS	DBO	C1	DBO	C3	DBO	C5	DBO
	DQO	C2	DQO	C4	DQO	C6	DQO
T3: 24 HORAS	DBO	D1	DBO	D3	DBO	D5	DBO
	DQO	D2	DQO	D4	DQO	D6	DQO
T4: 36 HORAS	DBO	F1	DBO	F3	DBO	F5	DBO
	DQO	F2	DQO	F4	DQO	F6	DQO
T5: 48 HORAS	DBO	G1	DBO	G3	DBO	G5	DBO
	DQO	G2	DQO	G4	DQO	G6	DQO
T6: 60 HORAS	DBO	H1	DBO	H3	DBO	H5	DBO

	DQO	H2	DQO	H4	DQO	H6	DQO
		pH: Lixiviado		pH: 7,0		pH: 6,0	
T7: 72 HORAS	DBO	I1	DBO	I3	DBO	I5	DBO
	DQO	I2	DQO	I4	DQO	I6	DQO

### Estandarización de las mejores condiciones de operación durante el ensayo de tratabilidad realizado.

A partir de los resultados obtenidos se analizó las variables de pH, tiempos de salida para las mejores condiciones de operación del sistema en reactores continuo, para optimizar la remoción de carga orgánica la cual se validó a través del diseño experimental completamente al azar.

**El diseño completamente al azar** es una prueba basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la “varianza de los tratamientos” y la “varianza del error”. Se determinó si existen diferencia significativa entre los tratamientos, para lo cual se comparó si la “varianza del tratamiento” contra la “varianza del error” y se determinó si la primera es lo suficientemente alta según la distribución F

Este diseño experimental resulta útil al estudiar los factores:

Variables Independientes	Tiempo de salida
	pH
Variables dependientes	Demanda Química de Oxígeno (DQO)
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )

### 3.3 Población y Muestra

#### Material de estudio.

El material de estudio lo constituye el lixiviado recolectado en los pondajes, así mismo el diseño de la tecnología de ósmosis inversa operado bajo modelos de flujo hidráulico continuo.

## **Muestras.**

Las muestras recolectadas en los pondajes del relleno sanitario Los Corazones se efectuaron diez muestreos puntuales, recolectando el volumen necesario (80 litros aproximadamente). De acuerdo a los protocolos establecidos por el IDEAM en la resolución N° 0062. Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos**

#### ***3.4.1 Instrumento recolección de datos de información.***

Los mecanismos utilizados en esta investigación, para recolectar y registrar la información fue mediante tabulación de datos a partir de formulario elaborados para organizar la información sistemáticamente, a partir de datos con base en la observación y fenómenos que se presentan en la tecnología de Ósmosis Inversa, también se contó con fuentes secundarias para comparar lo obtenido en la etapa experimental con principios teóricos e investigaciones afines.

#### ***3.4.2 Técnicas de procesamiento de información.***

En el procesamiento de la información se efectuaron cálculos con una secuencia de operaciones para obtener resultados cuantitativos a partir de los datos obtenidos experimentalmente en laboratorio, mediante matrices con el fin de obtener una mayor correlación de igual forma análisis estadístico para comprobar la hipótesis planteada.

### **3.5 Trabajo de campo**

#### **Ubicación del área de estudio.**

El relleno sanitario Los Corazones se encuentra ubicado a seis (6) kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento veinte (120) hectáreas; se encuentra ubicada en una zona suburbana de Valledupar, sobre las latitudes 1°083.000 y 1°099.000 este, limita en la parte sur con el Río Guatapurí, al occidente la carretera que de Valledupar conduce a Patillal, Al norte con el arroyo el Pájaro y hacia el oriente las Vegas.



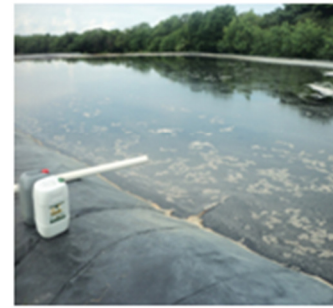


Figura 9: Área de estudio. Autor 2019

Se desarrolló el muestreo en el punto de acopio para realizar las respectivas caracterizaciones in-situ; se trasladaron las muestras al laboratorio para el desarrollo de la fase experimental con el montaje de procesos de osmosis inversa; operado bajo modelo de flujo hidráulico continuo, manipulando las variables de pH y tiempo de salida en relación a la remoción de carga orgánica (DQO Y DBO<sub>5</sub>).

## Capítulo IV

### 4. Análisis de resultados y discusiones.

#### 4.1 Caracterización fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar.

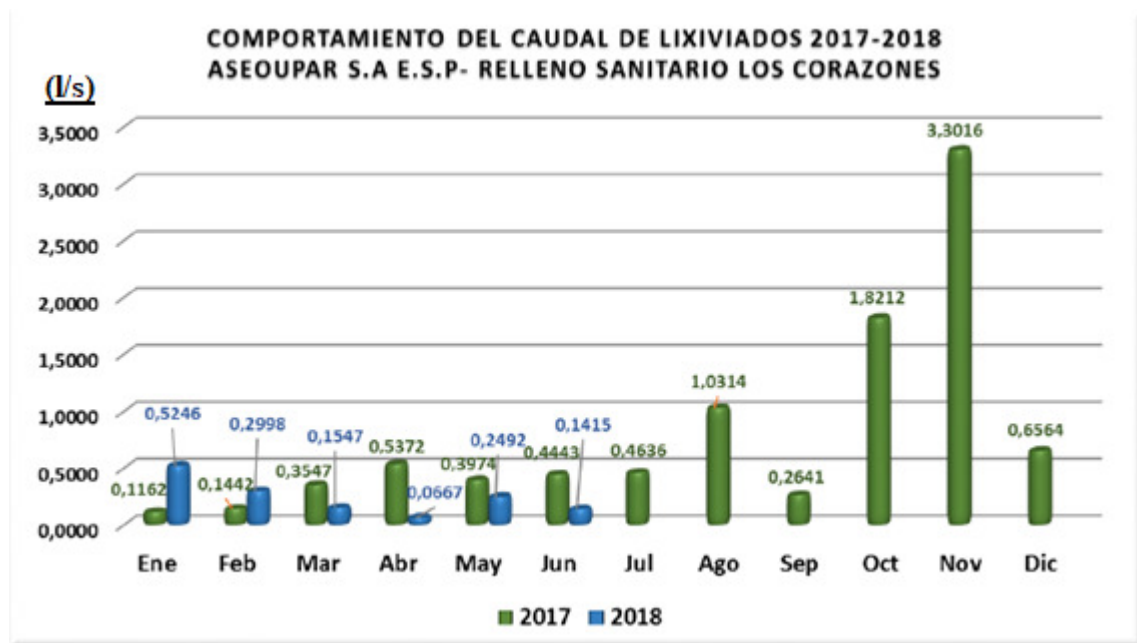


Figura 10: Comportamiento del Caudal de lixiviados 2017-2018 relleno sanitario Los Corazones. ASEOUPAR S.A. E.S.P (2018)

A partir de la Figura 10 se puede evidenciar las tendencias en los años 2017 y mediados de 2018 en referencia a los caudales reportados, los caudales máximos fueron presentados en los meses de agosto, octubre y noviembre de 2017 con promedios de 1,03 l/s, 1,82 l/s y 3,30 l/s respectivamente; luego los reportes de caudales mínimos se encuentran en los meses de marzo, abril y junio de 2018, con valores de 0,15 l/s, 0,06 l/s y 0,14 l/s respectivamente. Por consiguiente; la variabilidad de los caudales se encuentra de manera intrínseca a los regímenes climáticos, preponderantes en la región y a las variables que inciden en la producción de los lixiviados generadas dentro del sistema del relleno sanitario Los Corazones, por lo cual según los postulados de Borzacconi (1996). El lixiviado producido en un relleno sanitario es función de múltiples factores relacionados con las condiciones climáticas, el diseño y operación del

relleno y la composición de la basura. El caudal generado varía de acuerdo al estado de avance y el tipo de operación del relleno y la composición también varía en el tiempo.

### Registros de aforo de caudal - Enero 2018

Monitoreo de la generación de lixiviados en el relleno sanitario Los Corazones de la Ciudad de Valledupar en los primeros 6 meses del 2018.


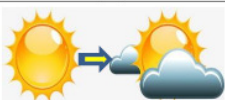

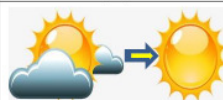
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS PREDOMINANTES				
PERÍODO CLIMÁTICO DEL MUESTREO				
Época Seca (Febrero-Abril) <input type="checkbox"/>	Transición de época seca a época húmeda (Mayo- Agosto) <input type="checkbox"/>	Época húmeda (Septiembre- Noviembre) <input type="checkbox"/>	Transición de época húmeda a época seca (Diciembre- Enero) <input checked="" type="checkbox"/>	
				
Fecha Monitoreo (aaaa-mm-dd)	TIEMPO REGISTRADO DURANTE EL MONITOREO			Temperatura Ambiente °C
	Seco	Húmedo	Nubosidad	
2018-01-29	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31,0

Figura 11: Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Enero 2018. Climatología del Caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo

Tabla 12. Registro de caudales, mes de enero de 2018

REGISTRO DE CAUDAL DE LIXIVIADOS					
Alícuota	Hora de medición	Volumen aforado en ml	Volumen aforado en Litros	Tiempo total en segundos	Caudal (l/s)
1	11:00	310	0,31	2,09	0,1483
		3260			
2	11:15	260	0,26	1,43	0,1818
3	11:30	340	0,34	2,00	0,1700
4	11:45	370	0,37	2,16	0,1713
5	12:00	460	0,46	2,47	0,1862
6	12:15	330	0,33	1,85	0,1784
7	12:30	440	0,44	0,25	1,7600
8	12:45	450	0,45	0,50	0,9000
9	13:00	490	0,49	0,59	0,8305
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>					<b>0,5030</b>
<b>NÚMERO DE DATOS (n)</b>					<b>9</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)</b>					<b>0,5591</b>
<b>INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES (±)</b>					<b>0,1864</b>
<b>VARIANZA</b>					<b>0,3126</b>
<b>DESVIACIÓN TÍPICA</b>					<b>0,5591</b>
<b>LÍMITE SUPERIOR</b>					<b>1,0620</b>
<b>LÍMITE INFERIOR</b>					<b>0,0561</b>

Según la tabla 12 se puede apreciar la variación típica del caudal durante el proceso de medición fluctuó entre un límite superior de 1,0620 l/s y un límite inferior de 0,0561 l/s.

Se observa que ocho (8) de las nueve (9) mediciones de caudal se encuentran dentro del rango de desviación típica de los datos, lo que corresponde al 88,88% de los registros.

Se observa que una (1) de las mediciones se encontró por fuera del rango de desviación típica; este dato se encuentra por encima del límite superior, lo que corresponde a un total del 11,11% de las mediciones. Al estar el 88,88 % de los datos registrados durante el aforo de caudales dentro de rango de variación típica esta medición es estadísticamente confiable.

### Registros de aforo de caudal - Febrero 2018


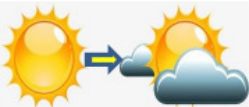


CONDICIONES ATMOSFÉRICAS PREDOMINANTES				
PERÍODO CLIMÁTICO DEL MUESTREO				
Época Seca (Febrero-Abril) <input checked="" type="checkbox"/>	Transición de época seca a época húmeda (Mayo- Agosto) <input type="checkbox"/>	Época húmeda (Septiembre-Noviembre) <input type="checkbox"/>	Transición de época húmeda a época seca (Diciembre- Enero) <input type="checkbox"/>	
				
Fecha Monitoreo (aaaa-mm-dd)	TIEMPO REGISTRADO DURANTE EL MONITOREO			Temperatura Ambiente °C
2018-02-27	Seco <input checked="" type="checkbox"/>	Húmedo <input type="checkbox"/>	Nubosidad <input type="checkbox"/>	27,8

Figura 12: Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Febrero 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo

Tabla 13. Registro de caudales, mes de febrero de 2018

REGISTRO DE CAUDAL DE LIXIVIADOS					
Volumen aforado en ml		Volumen aforado en Litros	Tiempo total en segundos		Caudal (l/s)
1	11:00	610	0,61	2,07	0,2947
2	11:15	530	0,53	1,59	0,3333
3	11:30	600	0,60	2,01	0,2985
4	11:45	550	0,55	2,10	0,2619
5	12:00	590	0,59	2,02	0,2921
6	12:15	570	0,57	1,88	0,3032
7	12:30	580	0,58	1,57	0,3694
8	12:45	510	0,51	1,86	0,2742
9	13:00	550	0,55	2,03	0,2709
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>					<b>0,2998</b>
<b>NÚMERO DE DATOS (n)</b>					<b>9</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)</b>					<b>0,0335</b>
<b>INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES (±)</b>					<b>0,0112</b>
<b>VARIANZA</b>					<b>0,0011</b>

<b>DESVIACIÓN TÍPICA</b>	<b>0,0335</b>
<b>LÍMITE SUPERIOR</b>	<b>0,3333</b>
<b>LÍMITE INFERIOR</b>	<b>0,2663</b>

De acuerdo a la información registrada en la Tabla 13 la variación típica del caudal durante el proceso de medición fluctuó entre un límite superior de 0,3333 l/s y un límite inferior de 0,2663 l/s.

Se observa que siete (7) de las nueve (9) mediciones de caudal se encuentran dentro del rango de desviación típica de los datos, lo que corresponde al 77,78% de los registros.

Se observa que dos (2) alícuotas se encontraron por fuera del rango de desviación típica; estos datos se encuentran uno por encima del límite superior y el otro por debajo del límite inferior, lo que corresponde a un total del 22,22% de las mediciones. Al estar el 77,78% de los datos registrados durante el aforo de caudales dentro de rango de variación típica esta medición es estadísticamente confiable.

### Aforo de Caudal 2018 – Marzo

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS PREDOMINANTES				
PERÍODO CLIMÁTICO DEL MUESTREO				
Época Seca (Febrero-Abril)	Transición de época seca a época húmeda (Mayo- Agosto)	Época húmeda (Septiembre-Noviembre)	Transición de época húmeda a época seca (Diciembre- Enero)	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha Monitoreo (aaaa-mm-dd)	TIEMPO REGISTRADO DURANTE EL MONITOREO			Temperatura Ambiente °C
2018-03-26	Seco	Húmedo	Nubosidad	28,3
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 13: Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Marzo 2018. Climatología del caribe colombiano, CIOH. Plantilla de Campo

Tabla 14. Registro de caudales, mes de marzo de 2018

Alícuota	Hora de medición	REGISTRO DE CAUDAL DE LIXIVIADOS				Caudal (l/s)
		Volumen aforado en ml	Volumen aforado en Litros	Tiempo total en segundos		
1	11:30	350	0,35	2,10	0,1667	
2	11:45	330	0,33	1,30	0,2538	
3	12:00	260	0,26	2,15	0,1209	
4	12:15	280	0,28	2,50	0,1120	
5	12:30	310	0,31	2,80	0,1107	
6	12:45	290	0,29	1,90	0,1526	
7	13:00	360	0,36	1,99	0,1809	
8	13:15	380	0,38	1,96	0,1939	
9	13:30	290	0,29	2,88	0,1007	
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>					<b>0,1547</b>	

NÚMERO DE DATOS (n)	9
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	0,0500
INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES ( $\pm$ )	0,0167
VARIANZA	0,0025
DESVIACIÓN TÍPICA	0,0500
LÍMITE SUPERIOR	0,2047
LÍMITE INFERIOR	0,1047

La variación típica del caudal durante el proceso de medición fluctuó entre un límite superior de 0,2047 l/s y un límite inferior de 0,1047 l/s.

Adicionalmente también se observa en la información consignada en la Tabla 14 que dos (2) alícuotas se encontraron por fuera del rango de desviación típica; estos datos se encuentran uno por encima del límite superior y el otro por debajo del límite inferior, lo que corresponde a un total del 22,22% de las mediciones.

Teniendo en cuenta que el 77,78% de los datos registrados durante el aforo de caudales se encontraron dentro de rango de variación típica, la medición realizada se considera estadísticamente confiable.

### Aforo de Caudal 2018 – Abril





CONDICIONES ATMOSFÉRICAS PREDOMINANTES				
PERÍODO CLIMÁTICO DEL MUESTREO				
Época Seca (Febrero-Abril)	Transición de época seca a época húmeda (Mayo- Agosto)	Época húmeda (Septiembre-Noviembre)	Transición de época húmeda a época seca (Diciembre- Enero)	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				
Fecha Monitoreo (aaaa-mm-dd)	TIEMPO REGISTRADO DURANTE EL MONITOREO			Temperatura Ambiente °C
2018-04-24	Seco	Húmedo	Nubosidad	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30,6

Figura 14: Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Abril 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo

Tabla 15. Registro de caudales, mes de Abril de 2018

REGISTRO DE CAUDAL DE LIXIVIADOS					
Alícuota	Hora de medición	Volumen aforado en ml	Volumen aforado en Litros	Tiempo total en segundos	Caudal (l/s)
1	07:00	220	0,22	2,90	0,0759
2	07:15	150	0,15	2,99	0,0502
3	07:30	180	0,18	2,89	0,0623

4	07:45	185	0,19	2,56	0,0723
5	08:00	210	0,21	2,93	0,0717
6	08:15	220	0,22	3,35	0,0657
7	08:30	190	0,19	2,89	0,0657
8	08:45	200	0,20	2,75	0,0727
9	09:00	190	0,19	2,98	0,0638
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>					<b>0,0667</b>
<b>NÚMERO DE DATOS (n)</b>					<b>9</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)</b>					<b>0,0077</b>
<b>INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES (±)</b>					<b>0,0026</b>
<b>VARIANZA</b>					<b>0,0001</b>
<b>DESVIACIÓN TÍPICA</b>					<b>0,0077</b>
<b>LÍMITE SUPERIOR</b>					<b>0,0744</b>
<b>LÍMITE INFERIOR</b>					<b>0,0589</b>

De acuerdo a la información de la tabla 15 la variación típica del caudal durante el proceso de medición fluctuó entre un límite superior de 0,0744 l/s y un límite inferior de 0,0589 l/s.

Se observa que dos (2) alícuotas se encontraron por fuera del rango de desviación típica; estos datos se encuentran uno por encima del límite superior y el otro por debajo del límite inferior, lo que corresponde a un total del 22,22% de las mediciones.

Teniendo en cuenta que el 77,78% de los datos registrados durante el aforo de caudales se encontraron dentro de rango de variación típica, la medición realizada se considera estadísticamente confiable.

### Aforo de Caudal 2018 – Mayo

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS PREDOMINANTES				
PERÍODO CLIMÁTICO DEL MUESTREO				
Época Seca (Febrero-Abril)	Transición de época seca a época húmeda (Mayo- Agosto)	Época húmeda (Septiembre-Noviembre)	Transición de época húmeda a época seca (Diciembre- Enero)	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Fecha Monitoreo (aaaa-mm-dd)</b>	<b>TIEMPO REGISTRADO DURANTE EL MONITOREO</b>			<b>Temperatura Ambiente °C</b>
2018-05-23	<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>	<b>Nubosidad</b>	29,8
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 15: Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Mayo 2018. Climatología del Caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo

Tabla 16: Registro de caudales, mes de Mayo de 2018

<b>REGISTRO DE CAUDAL DE LIXIVIADOS</b>					
<b>Alícuota</b>	<b>Hora de medición</b>	<b>Volumen aforado en ml</b>	<b>Volumen aforado en Litros</b>	<b>Tiempo total en segundos</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
1	06:00	690	0,69	2,50	0,2760
2	06:15	660	0,66	2,59	0,2548
3	06:30	600	0,60	2,38	0,2521
4	06:45	690	0,69	2,85	0,2421
5	07:00	660	0,66	2,75	0,2400
6	07:15	660	0,66	2,84	0,2324
7	07:30	600	0,60	2,28	0,2632
8	07:45	640	0,64	2,59	0,2471
9	08:00	610	0,61	2,59	0,2355
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>					<b>0,2492</b>
<b>NÚMERO DE DATOS (n)</b>					<b>9</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)</b>					<b>0,0140</b>
<b>INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES (±)</b>					<b>0,0047</b>
<b>VARIANZA</b>					<b>0,0002</b>
<b>DESVIACIÓN TÍPICA</b>					<b>0,0140</b>
<b>LÍMITE SUPERIOR</b>					<b>0,2632</b>
<b>LÍMITE INFERIOR</b>					<b>0,2353</b>

De acuerdo a la información recolectada para el mes de mayo del 2018 en la Tabla 16 la variación típica del caudal durante el proceso de medición fluctuó entre un límite superior de 0,2632 l/s y un límite inferior de 0,2353 l/s.

Tres (3) alícuotas se encontraron por fuera del rango de desviación típica. Dos (2) de estos datos se encuentran por encima del límite superior y uno (1) por debajo del límite inferior, lo que corresponde a un total del 33,33% de las mediciones.

Teniendo en cuenta que el 66,66% de los datos registrados durante el aforo de caudales se encontraron dentro de rango de variación típica, la medición realizada se considera estadísticamente confiable.



## Aforo de Caudal 2018 – Junio

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS PREDOMINANTES				
PERÍODO CLIMÁTICO DEL MUESTREO				
Época Seca (Febrero-Abril)	Transición de época seca a época húmeda (Mayo- Agosto)	Época húmeda (Septiembre-Noviembre)	Transición de época húmeda a época seca (Diciembre- Enero)	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fecha Monitoreo (aaaa-mm-dd)	TIEMPO REGISTRADO DURANTE EL MONITOREO			Temperatura Ambiente °C
2018-06-25	Seco	Húmedo	Nubosidad	30,5
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 16: Condiciones Atmosféricas Predominantes Monitoreo Junio 2018. Climatología del caribe Colombiano, CIOH. Plantilla de Campo

Tabla 17. Registro de caudales, mes de Junio de 2018

REGISTRO DE CAUDAL DE LIXIVIADOS					
Alícuota	Hora de medición	Volumen aforado en ml	Volumen aforado en Litros	Tiempo total en segundos	Caudal (l/s)
1	07:15	600	0,60	4,89	0,1227
2	07:30	610	0,61	4,59	0,1329
3	07:46	550	0,55	3,87	0,1421
4	08:01	580	0,58	3,90	0,1487
5	08:18	590	0,59	4,50	0,1311
6	08:33	610	0,61	3,93	0,1552
7	08:46	620	0,62	4,56	0,1360
8	09:01	590	0,59	3,99	0,1479
9	09:17	580	0,58	3,69	0,1572
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>					<b>0,1415</b>
<b>NÚMERO DE DATOS (n)</b>					<b>9</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)</b>					<b>0,0117</b>
<b>INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES (±)</b>					<b>0,0039</b>
<b>VARIANZA</b>					<b>0,0001</b>
<b>DESVIACIÓN TÍPICA</b>					<b>0,0117</b>
<b>LÍMITE SUPERIOR</b>					<b>0,1532</b>
<b>LÍMITE INFERIOR</b>					<b>0,1298</b>

Para el mes de junio del 2018 según la tabla 17, la variación típica del caudal durante el proceso de medición fluctuó entre un límite superior de 0,1532 l/s y un límite inferior de 0,1298 l/s.

Tres (3) alícuotas se encontraron por fuera del rango de desviación típica. Dos (2) de estos datos se encuentran por encima del límite superior y uno (1) por debajo del límite inferior, lo que corresponde a un total del 33,33% de las mediciones.

Teniendo en cuenta que el 66,66% de los datos registrados durante el aforo de caudales se encontraron dentro de rango de variación típica, la medición realizada se considera estadísticamente confiable.

#### 4.1.1 Caracterización Fisicoquímica Multianual

Dentro del análisis de la calidad Fisicoquímica se evaluó los periodos comprendidos entre 2016 y 2018 de manera semestral, comparando con los valores límite máximo permisible de la Resolución 631 de 2015. Art 14. En relación al Tratamiento y disposición de residuos.

Tabla 18. Caracterización Fisicoquímica 2016 - 1

Parámetro	Unidad	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN LIXIVIADOS	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE Res 0631/2015 Artículo 14 (tratamiento y disposición de residuos)	Estado de cumplimiento
GENERALES	-	-	-	-
pH	Unidades	9,16	6,00 a 9,00	NO CUMPLE
Temperatura	°C	34,0	40,00 (art 5)	CUMPLE
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	4848	2.000,00	NO CUMPLE
DBO <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	2950	800,00	NO CUMPLE
Sólidos suspendidos totales	mg/l	119,0	400,00	CUMPLE
Sólidos sedimentables	ml/l	<0,1	5,00	CUMPLE
Grasas y/o aceites	mg/l	14,8	50,00	CUMPLE
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/l	<0,001		Parámetros reportados acorde a lo establecido en la norma de referencia.
m-Cresol	mg/l	<0,001	Análisis y reporte	
O-Cresol	mg/l	<0,001		
pentaclorofenol	mg/l	<0,001		
2,4,5 Triclorofenol	mg/l	<0,001		
2,4,5 Triclorofenol	mg/l	<0,001		
Fenoles Totales	mg/l	<0,100	0,20	Cumple
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	3,8	Análisis y reporte	-
Hidrocarburos	-	-	-	
Hidrocarburos totales	mg/l	8,33	10,00	CUMPLE

Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	<0,002	Análisis y reporte	Parámetros reportados acorde a lo establecido en la norma de referencia.
BTEX	<b>m-xileno</b>	mg/L	<0,520	Análisis y reporte
p-xileno		mg/l	<0,520	Análisis y reporte
o-xileno		mg/l	<0,390	
Etilbenceno		mg/l	<0,400	
Tuoleno		mg/l	<0,410	
Benceno		mg/l	<0,460	
Compuestos orgánicos halogenados	mg/l	<0,0002	Análisis y reporte	
Compuestos del fósforo	-	-	-	
Fosforo total	mg P/l	8,11	Análisis y reporte	-
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /l	10,2	Análisis y reporte	-
Compuestos del nitrógeno	-	-	-	-
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> -/l	7,76	Análisis y reporte	-
Nitratos	mgNO <sub>3</sub> -/l	152	Análisis y reporte	-
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>4</sub> +/l	219	Análisis y reporte	-
Nitrógeno Total Iones	mg/l	384	Análisis y reporte	-
Cianuro Total	mg/l	<0,02	0,50	CUMPLE
Cloruros	mg/l	608	500,00	NO CUMPLE
Sulfatos	mg/l	94,1	600,00	-
Sulfuros	mg/l	8,20	Análisis y reporte	Reportado
Metales y metaloides	-	-	-	-
Aluminio	mg Al/l	<1,00	3,00	CUMPLE
Arsénico	mg As/l	0,0031	0,10	CUMPLE
Bario	mg Ba/l	<0,500	2,00	CUMPLE
Berilio	mg Cd/l	<0,025	Análisis y reporte	Reportado
Boro	mg B/l	8,65	Análisis y reporte	Reportado
Cadmio	mg Cd/l	0,0330	0,05	CUMPLE
Cinc	mg Zn/l	0,454	3,00	CUMPLE
Cobalto	mg Co/l	<0,200	Análisis y reporte	Reportado
Cobre	mg Cu/l	<0,001	1,00	CUMPLE
Cromo Total	mg Cr/l	0,214	0,50	CUMPLE
Estaño	mg Sn/l	<1,00	Análisis y reporte	CUMPLE
Hierro total	mg Fe/l	5,30	-	CUMPLE
Litio	mg Li/l	<0,150	Análisis y reporte	Reportado
Manganeso	mg Mg/l	<0,100	Análisis y reporte	Reportado
Mercurio	mg Hg/l	<0,002	0,01	CUMPLE
Molibdeno	mg Mo/l	<0,500	Análisis y reporte	Reportado
Níquel	mg Ni/l	0,353	0,50	CUMPLE
Plata	mg Ag/l	<0,050	-	CUMPLE
Plomo	mg Pb/l	<0,100	0,20	CUMPLE
Selenio	mg Se/l	<0,0025	0,20	CUMPLE
Vanadio	mg/l	0,515	1,00	CUMPLE

Otros parámetros para análisis y reporte	-	-	-	-
Acidez Total	Mg CaCO <sub>3</sub> /l	150,48	Análisis y reporte	Parámetros reportados acorde a lo establecido en la norma de referencia.
Alcalinidad total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	6720,00		
Dureza Cálcica	mg CaCO <sub>3</sub> /l	1,068	Análisis y reporte	
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	1.333		
Color real a 436 nm	nm	590		
Color real a 525 nm	nm	271		
Color real a 620 nm	nm	125		

De los 53 parámetros analizados y reportados en la Tabla 18, solamente 24 cuentan con valores límites máximos permisibles. Los parámetros restantes la norma solicita que solamente se analicen y reporten, exceptuando el parámetro conductividad que no se encuentra establecido en la Resolución 0631 de 2015.

Para la muestra recolectada se evidencia que 4 parámetros superaron el valor límite máximo permisible establecido por la norma. Estos parámetros fueron: **pH, DBO, DQO y Cloruros**.

Los siguientes parámetros se encontraron por debajo del límite de detección del método:

Generales: Sólidos suspendidos totales, compuestos semivolátiles fenólicos y Fenoles.

Hidrocarburos: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

Iones: Cianuros

Metales y metaloides: Aluminio, Bario, Berilio, Cobalto, Cobre, Estaño, Litio, Manganeseo, Mercurio, Molibdeno, Plata, Plomo y Selenio.

Tabla 19. *Caracterización Físicoquímica 2016 - 2*

Parámetro	Unidad	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN LIXIVIADOS	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE Res 0631/2015 Artículo 14 (tratamiento y disposición de residuos)	Estado de cumplimiento
GENERALES	-	-	-	-
pH	Unidades	8,20	6,00 a 9,00	CUMPLE
Temperatura	°C	32,1	40,00 (art 5)	CUMPLE
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	7300	2.000,00	NO CUMPLE
DBO <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	135,0	800,00	CUMPLE

Sólidos suspendidos totales	mg/l	125,0	400,00	CUMPLE
Sólidos sedimentables	ml/l	0,5	5,00	CUMPLE
Grasas y/o aceites	mg/l	5,04	50,00	CUMPLE
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/l	<0,001		Parámetros reportados acorde a lo establecido en la norma de referencia.
m-Cresol	mg/l	<0,001	Análisis y reporte	
O-Cresol	mg/l	<0,001		
pentaclorofenol	mg/l	<0,001		
2,4,5 Triclorofenol	mg/l	<0,001		
2,4,5 Triclorofenol	mg/l	<0,001		
Fenoles Totales	mg/l	0,523	0,20	No cumple
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	3,8	Análisis y reporte	-
Hidrocarburos	-	-		-
Hidrocarburos totales	mg/l	2,37	10,00	CUMPLE
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	<0,0003	Análisis y reporte	Parámetros reportados acorde a lo establecido en la norma de referencia.
BTEX	m-xileno	mg/l	<0,50	Análisis y reporte
p-xileno	mg/l		<0,50	
o-xileno	mg/l		<0,50	
Etilbenceno	mg/l		<0,50	
Tuoleno	mg/l		<0,50	
Benceno	mg/l		<0,50	
Compuestos orgánicos halogenados	mg/l	<0,0002		Análisis y reporte
Compuestos del fósforo	-	-		-
Fosforo total	mg P/l	No medible**	Análisis y reporte	-
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /l	No medible**	Análisis y reporte	-
Compuestos del nitrógeno	-	-	-	-
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> -/l	0,3895	Análisis y reporte	-
Nitratos	mgNO <sub>3</sub> -/l	>15	Análisis y reporte	-
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>4</sub> +/l	<1,00	Análisis y reporte	-
Nitrógeno Total	mg/l	<5,00	Análisis y reporte	-
Iones	-	-	-	-
Cianuro Total	mg/l	<0,010	0,50	CUMPLE
Cloruros	mg/l	2652,87	500,00	NO CUMPLE
Sulfatos	mg/l	No medible**	600,00	-
Sulfuros	mg/l	9,44	Análisis y reporte	Reportado
Metales y metaloides	-	-	-	-

Aluminio	mg Al/l	1,29	3,00	CUMPLE
Arsénico	mg As/l	0,00062	0,10	CUMPLE
Bario	mg Ba/l	1,01	2,00	CUMPLE
Berilio	mg Cd/l	<0,011	Análisis y reporte	Reportado
Boro	mg B/l	3,45	Análisis y reporte	Reportado
Cadmio	mg Cd/l	<0,015	0,05	CUMPLE
Cinc	mg Zn/l	0,446	3,00	CUMPLE
Cobalto	mg Co/l	<0,048	Análisis y reporte	Reportado
Cobre	mg Cu/l	<0,055	1,00	CUMPLE
Cromo Total	mg Cr/l	<0,109	0,50	CUMPLE
Estaño	mg Sn/l	<0,229	Análisis y reporte	CUMPLE
Hierro total	mg Fe/l	10,4	-	CUMPLE
Litio	mg Li/l	<0,021	Análisis y reporte	Reportado
Manganeso	mg Mg/l	0,789	Análisis y reporte	Reportado
Mercurio	mg Hg/l	0,002	0,01	CUMPLE
Molibdeno	mg Mo/l	<0,050	Análisis y reporte	Reportado
Níquel	mg Ni/l	0,39	0,50	CUMPLE
Plata	mg Ag/l	<0,031	-	CUMPLE
Plomo	mg Pb/l	<0,052	0,20	CUMPLE
Selenio	mg Se/l	<0,01	0,20	CUMPLE
Vanadio	mg/l	<0,095	1,00	CUMPLE
Otros parámetros para análisis y reporte	-	-	-	-
Acidez Total	Mg CaCO <sub>3</sub> /l	125,25	Análisis y reporte	Parámetros reportados acorde a lo establecido en la norma de referencia.
Alcalinidad total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	6680,00		Análisis y reporte
Dureza Cálcica	mg CaCO <sub>3</sub> /l	405,90		Análisis y reporte
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	673,20		Análisis y reporte
Color real a 436 nm	nm	385		Análisis y reporte
Color real a 525 nm	nm	372		Análisis y reporte
Color real a 620 nm	nm	283		Análisis y reporte

De los 52 parámetros analizados y reportados en la Tabla 19, solamente 24 cuentan con valores límites máximos permisibles. Los 28 parámetros restantes la norma solicita que solamente se analicen y reporten.

Para la muestra recolectada se evidencia que 3 parámetros superaron el valor límite máximo permisible establecido por la norma. Estos parámetros fueron: **DQO, Cloruros y Fenoles Totales.**

Los siguientes parámetros se encontraron por debajo del límite de detección del método:

Generales: Compuestos semivolátiles fenólicos

Hidrocarburos: BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno) y Compuestos orgánicos halogenados absorbibles (AOX), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP).

Compuestos de Nitrógeno: Nitrógeno total, nitrógeno amoniacal

Iones: Cianuro total.

Metales y metaloides: Berilio, Cadmio Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Litio, Molibdeno, Plata, Plomo, Selenio, Vanadio.

Lo anterior evidencia que no se detectaron en la muestra analizada 20, de los 52 parámetros analizados. Es importante anotar que el límite de detección de los métodos de laboratorio aplicados permite cuantificar la concentración establecida como valor límite máximo permisible establecido por la norma.

Para el caso del ion de sulfuro y los compuestos del fosforo: fosforo total y ortofosfatos no fue posible su análisis debido a que la muestra presentó interferencia por color para el proceso de análisis en laboratorio.

Tabla 20. Caracterización Físicoquímica 2017 - 1

Parámetro	Unidad	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN PUNTO 1: RESIDUOS LÍQUIDOS ALMACENADOS EN LA PISCINA DE LIXIVIADOS	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE Res 0631/2015 Artículo 14 (Tratamiento y disposición de residuos)	Estado de cumplimiento
Código de la muestra			OIS-086-17-1	
Fecha de recolección			2017-10-25	
Horario de recolección			14:20	
pH	Unidades	9,35	6,00 a 9,00	No cumple
Temperatura	°C	35,1	40,00 (art 5)	Cumple
Conductividad		mS/cm	9,42	-
GENERALES	-	-	-	-
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	2324	2.000,00	No Cumple
DBO <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	1031,5	800,00	No Cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/l	239	400,00	Cumple
Sólidos sedimentables	ml/l	<0,1	5,00	Cumple
Grasas y/o aceites	mg/l	21	50,00	Cumple
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/l	<0,007	Análisis y reporte	Reportado
Fenoles Totales	mg/l	<0,100	0,20	Cumple
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	2,40	Análisis y reporte	Reportado
hidrocarburos				
Hidrocarburos totales	mg/l	1,33	10,00	Cumple

Hidrocarburos aromáticos policíclicos BTEX	mg/l	<0,002	Análisis y reporte	Reportado
Compuestos orgánicos halogenados absorbibles (AOX)	mg/l	<0,10	Análisis y reporte	
Compuestos de fósforo Fosforo total	mg P/l	0,37	Análisis y reporte	
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /l	-	-	Reportado
Compuestos de nitrógeno Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> -/l	4,18	Análisis y reporte	Reportado
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> -/l	<0,02	Análisis y reporte	Reportado
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>4</sub> +/l	2,26	Análisis y reporte	
Nitrógeno Total	mg/l	12,4	Análisis y reporte	
Iones Cianuro Total	mg/l	24,5	Análisis y reporte	
Cloruros	mg/l	-	-	Cumple
Sulfatos	mg/l	0,042	0,50	No cumple
Sulfuros	mg/l	1673	500,00	Cumple
Metales y metaloides	mg/l	44,1	600,00	Reportado
Aluminio	mg Al/l	1,02	Análisis y reporte	
Arsénico	mg As/l	<1,0	3,00	Cumple
Bario	mg Ba/l	<0,0025	0,10	Cumple
Berilio	mg Cd/l	<0,500	2,00	Cumple
Boro	mg B/l	<0,025	Análisis y reporte	Reportado
Cadmio	mg Cd/l	2,64	Análisis y reporte	Reportado
Cinc	mg Zn/l	0,0080	0,05	Cumple
Cobalto	mg Co/l	0,09	3,00	Cumple
Cobre	mg Cu/l	<0,2	Análisis y reporte	Reportado
Cromo Total	mg Cr/l	<0,1	1,00	Cumple
Estaño	mg Sn/l	0,148	0,50	Cumple
Hierro total	mg Fe/l	<1,0	Análisis y reporte	Reportado
Litio	mg Li/l	8,55	-	Reportado
Manganeso	mg Mg/l	<0,15	Análisis y reporte	Reportado
Mercurio	mg Hg/l	0,412	Análisis y reporte	Reportado
Molibdeno	mg Mo/l	<0,001	0,01	Cumple
Níquel	mg Ni/l	<0,5	Análisis y reporte	Reportado
Plata	mg Ag/l	<0,2	0,50	Cumple
Plomo	mg Pb/l	<0,05	-	Cumple
Selenio	mg Se/l	<0,1	0,20	Cumple
Vanadio	mg/l	<0,0025	0,20	Cumple
Otros parámetros para análisis y reporte	-	0,1530	1,00	Cumple
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	-	-	-
Acidez total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	690	Análisis y reporte	Reportado
Dureza Cálctica	mg CaCO <sub>3</sub> /l	<2,54	Análisis y reporte	
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	223	Análisis y reporte	
	mg CaCO <sub>3</sub> /l	680	Análisis y reporte	



Color real a 436 nm	nm	454	Análisis y reporte
Color real a 525 nm	nm	198,8	Análisis y reporte
Color real a 620 nm	nm	94,6	Análisis y reporte

De los 53 parámetros analizados y reportados en la Tabla 20 para el año 2017-1, se identificaron 24 que cuentan con valores límites máximos permisibles, para los parámetros restantes la norma solicita que solamente se analicen y reporten, exceptuando el parámetro conductividad que no se encuentra establecido en la Resolución 0631 de 2015.

Para la muestra recolectada se evidencia que 4 parámetros superaron el valor límite máximo permisible establecido por la norma. Estos parámetros fueron: **DQO, DBO, Cloruros y pH.**

Los siguientes parámetros se encontraron por debajo del límite de detección del método:

Generales: Sólidos sedimentables, Compuestos semi-volátiles fenólicos, Fenoles totales.

Hidrocarburos: HAP, BTEX.

Compuestos de Nitrógeno: Nitritos.

Metales y metaloides: Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cobalto, Cobre, Cromo total, Estaño, Litio, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo y Selenio.

Tabla 21. *Caracterización Físicoquímica 2017 – 2*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN LIXIVIADOS	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE RESOLUCIÓN 0631/2015 ARTÍCULO 14 (TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS)	ESTADO DE CUMPLIMIENTO
pH	Unidades	8,98	6,00 a 9,00	Cumple
Temperatura	°C	35,9	40,00 (art 5)	Cumple
Conductividad	mS/cm	22,4	-	-
GENERALES	-	-	-	-
DQO	mg O <sub>2</sub> /l	5096,7	2.000,00	No cumple
DBO5	mg O <sub>2</sub> /l	3153,0	800,00	No Cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/l	336,0	400,00	Cumple
Sólidos sedimentables	ml/l	<0,1	5,00	Cumple
Grasas y/o aceites	mg/l	<10	50,00	Cumple
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/l	<0,007	Análisis y reporte	Reportado
Fenoles Totales	mg/l	0,335	0,20	No Cumple

Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	<0,40	Análisis y reporte	Reportado
Hidrocarburos		-	-	
Hidrocarburos totales	mg/l	1,66	10,00	Cumple
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	<0,002	Análisis y reporte	Reportado
BTEX	mg/l	<0,10	Análisis y reporte	Reportado
Compuestos Orgánicos Halogenados	mg/l	0,43	Análisis y reporte	Reportado
Adsorbibles (AOX)				
Compuestos del Fósforo		-	-	
Fósforo total	mg P/l	5,21	Análisis y reporte	Reportado
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /l	3,62	Análisis y reporte	Reportado
Compuestos del nitrógeno		-	-	-
Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> -/l	<0,02	Análisis y reporte	Reportado
Nitratos	mgN-NO <sub>3</sub> -/l		<1,00	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>4</sub> +/l		215	Análisis y reporte
Nitrógeno Total	mg/l		225	Análisis y reporte
Iones				
Cianuro Total	mg/l	<0,011	0,50	Cumple
Cloruros	mg/l	4942	500,00	No Cumple
Sulfatos	mg/l	151	600,00	Cumple
Sulfuros	mg/l	<1,0	Análisis y reporte	Reportado
Metales y metaloides				
Aluminio	mg Al/l	<1,0	3,00	Cumple
Arsénico	mg As/l	0,005	0,10	Cumple
Bario	mg Ba/l	0,510	2,00	Cumple
Berilio	mg Cd/l	<0,025	Análisis y reporte	Reportado
Boro	mg B/l	3,49	Análisis y reporte	Reportado
Cadmio	mg Cd/l	<0,0048	0,05	Cumple
Cinc	mg Zn/l	0,21	3,00	Cumple
Cobalto	mg Co/l	<0,2	Análisis y reporte	Reportado
Cobre	mg Cu/l	<0,1	1,00	Cumple
Cromo Total	mg Cr/l	0,305	0,50	Cumple
Estaño	mg Sn/l	<1,0	Análisis y reporte	Reportado
Hierro total	mg Fe/l	9,59	No Establecido	No Establecido
Litio	mg Li/l	<0,15	Análisis y reporte	Reportado
Manganeso	mg Mn/L	0,686	Análisis y reporte	Reportado
Mercurio	mg Hg/L	<0,001	0,01	Cumple
Molibdeno	mg Mo/L	<0,5	Análisis y reporte	Reportado
Níquel	mg Ni/L	0,427	0,50	Cumple
Plata	mg Ag/L	<0,05	No Establecido	No Establecido
Plomo	mg Pb/L	0,33	0,20	No Cumple
Selenio	mg Se/L	<0,0025	0,20	Cumple
Vanadio	mg/L	0,28500	1,00	Cumple

Otros parámetros para análisis y reporte	-	-	-	-
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	5582	Análisis y reporte	Reportado
Acidez total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	<2,54	Análisis y reporte	Reportado
Dureza Cálctica	mg CaCO <sub>3</sub> /l	731	Análisis y reporte	Reportado
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	1016	Análisis y reporte	Reportado
Color real a 436 nm	nm	535	Análisis y reporte	Reportado
Color real a 525 nm	nm	251	Análisis y reporte	Reportado
Color real a 620 nm	nm	126	Análisis y reporte	Reportado

De los 53 parámetros analizados y reportados en la Tabla 21 para el año 2017-2, solamente 24 cuentan con valores límites máximos permisibles, para los parámetros restantes la norma solicita que solamente se analicen y reporten, exceptuando el parámetro conductividad que no se encuentra establecido en la Resolución 0631 de 2015.

Para la muestra recolectada se evidencia que 5 parámetros superaron el valor límite máximo permisible establecido por la norma. Estos parámetros fueron: **DBO, DQO, Fenoles, Cloruros y Plomo.**

Los siguientes parámetros se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método:

Generales	Sólidos sedimentables, Grasas y aceites, Compuestos semivolátiles y Tensoactivos
Hidrocarburos	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y BTEX.
Compuestos de Nitrógeno	Nitritos y Nitratos
Iones	Cianuros y Sulfuros
Metales y metaloides	Aluminio, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cobre, Estaño, Litio, Mercurio, Molibdeno, Plata y Selenio

Tabla 22. Caracterización Físicoquímica 2018 - 1

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS DE LA CARACTERIZA CIÓN LIXIVIADOS	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE RESOLUCIÓN 0631/2015 ARTÍCULO 14 (TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS)	ESTADO DE CUMPLIMIE NTO
pH	Unidades	8,55	6,00 a 9,00	Cumple
Temperatura	°C	28,8	40,00 (art 5)	Cumple
Conductividad	mS/cm	12,18	-	-
GENERALES	-	-	-	-
DQO	mg O <sub>2</sub> /l	3435,0	2.000,00	No cumple
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	1511,4	800,00	No Cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/l	208,0	400,00	Cumple
Sólidos sedimentables	ml/l	<0,1	5,00	Cumple
Grasas y/o aceites	mg/l	12,9	50,00	Cumple
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/l	<0,007	Análisis y reporte	Reportado
Fenoles Totales	mg/l	0,120	0,20	No Cumple
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	2,41	Análisis y reporte	Reportado
Hidrocarburos	-	-	-	-
Hidrocarburos totales	mg/l	2,44	10,00	Cumple
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	0,015	Análisis y reporte	Reportado
BTEX	mg/l	<0,10	Análisis y reporte	Reportado
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/l	0,36	Análisis y reporte	Reportado
Compuestos del Fósforo	-	-	-	-
Fósforo total	mg P/l	4,47	Análisis y reporte	Reportado
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /l	1,04	Análisis y reporte	Reportado
Compuestos del nitrógeno	-	-	-	-
Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> -/l	<0,006	Análisis y reporte	Reportado
Nitratos	mgN-NO <sub>3</sub> -/l	35,04	Análisis y reporte	-
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>4</sub> +/l	196	Análisis y reporte	-
Nitrógeno Total	mg/l	265	Análisis y reporte	-
Iones	-	-	-	-
Cianuro Total	mg/l	0,070	0,50	Cumple
Cloruros	mg/l	2455	500,00	No Cumple
Sulfatos	mg/l	106	600,00	Cumple
Sulfuros	mg/l	16,846	Análisis y reporte	Reportado
Metales y metaloides	-	-	-	-
Aluminio	mg Al/l	0,340	3,00	Cumple
Arsénico	mg As/l	0,0200	0,10	Cumple
Bario	mg Ba/l	0,445	2,00	Cumple
Berilio	mg Cd/l	<0,0051	Análisis y reporte	Reportado
Boro	mg B/l	1,010	Análisis y reporte	Reportado
Cadmio	mg Cd/l	<0,0048	0,05	Cumple
Cinc	mg Zn/l	<0,1588	3,00	Cumple

Cobalto	mg Co/l	0,0450	Análisis y reporte	Reportado
Cobre	mg Cu/l	<0,0088	1,00	Cumple
Cromo Total	mg Cr/l	0,2010	0,50	Cumple
Estaño	mg Sn/l	0,0180	Análisis y reporte	Reportado
Hierro total	mg Fe/l	4,510	No Establecido	No Establecido
Litio	mg Li/l	<0,014	Análisis y reporte	Reportado
Manganeso	mg Mn/l	0,8220	Análisis y reporte	Reportado
Mercurio	mg Hg/l	<0,0006	0,01	Cumple
Molibdeno	mg Mo/l	0,0080	Análisis y reporte	Reportado
Níquel	mg Ni/l	0,1550	0,50	Cumple
Plata	mg Ag/l	<0,007	No Establecido	No Establecido
Plomo	mg Pb/l	0,0150	0,20	No Cumple
Selenio	mg Se/l	0,0160	0,20	Cumple
Vanadio	mg/l	0,0860	1,00	Cumple
Otros parámetros para análisis y reporte	-	-	-	-
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	4820	Análisis y reporte	Reportado
Acidez total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	472	Análisis y reporte	Reportado
Dureza Cálcica	mg CaCO <sub>3</sub> /l	860	Análisis y reporte	Reportado
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	1052	Análisis y reporte	Reportado
Color real a 436 nm	nm	325	Análisis y reporte	Reportado
Color real a 525 nm	nm	145	Análisis y reporte	Reportado
Color real a 620 nm	nm	71,75	Análisis y reporte	Reportado

De los 53 parámetros analizados y reportados en la Tabla 22 para el año 2018 - 1, se identificaron 24 cuentan con valores límites máximos permisibles, los parámetros restantes la norma solicita que solamente se analicen y reporten, exceptuando el parámetro conductividad que no se encuentra establecido en la Resolución 0631 de 2015. Para la muestra recolectada se evidencia que tres (3) parámetros superaron el valor límite máximo permisible establecido por la norma. Estos parámetros fueron: **DQO, DBO, Cloruros.**

Los siguientes parámetros se encontraron por debajo del límite de detección del método:

Generales	Sólidos sedimentables, Compuestos semi-volátiles fenólicos.
Hidrocarburos	BTEX
Compuestos de Nitrógeno	Nitritos.
Metales y metaloides	Berilio, Cadmio, Cinc, Cobre, Litio, Mercurio, Plata

A partir de la Figura 17 se puede apreciar el comportamiento entre la DQO y la DBO con respecto a los valores de concentración y el marco temporal 2016 - 2018

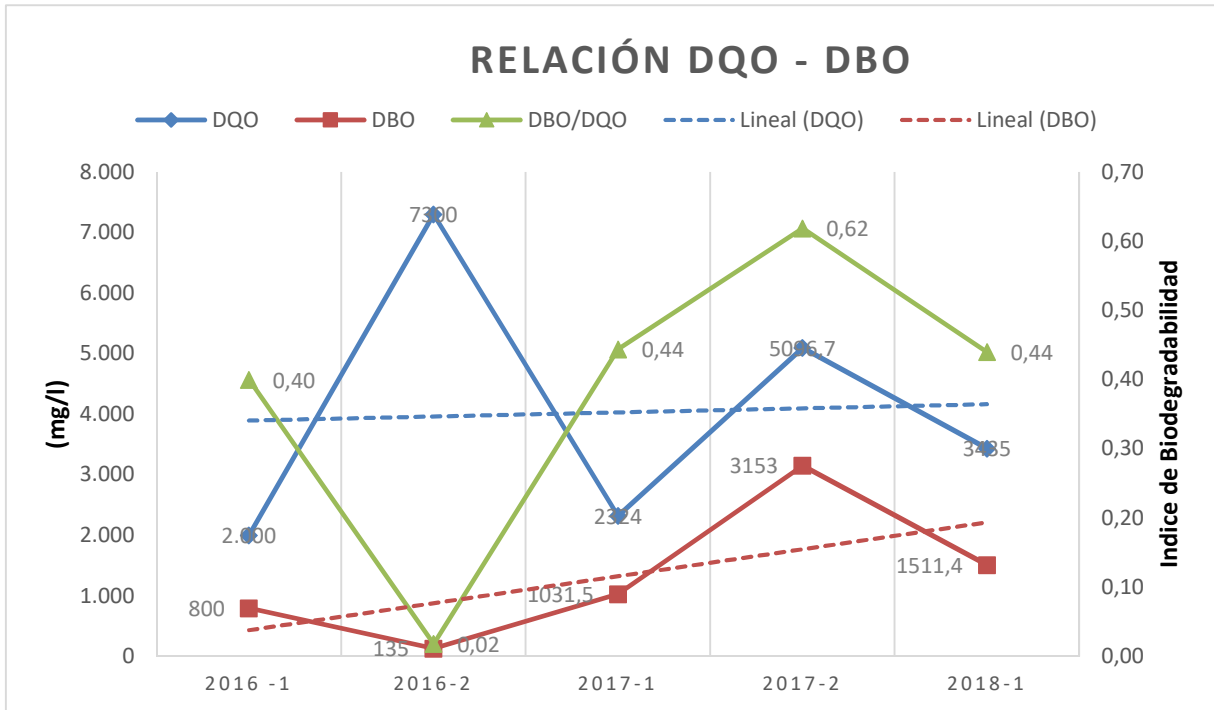


Figura 17: Gráfica de la Relación DQO – DBO5. Fuente Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización Multianual 2016 al 2018, en la Figura 17 se puede observar que las concentraciones de los parámetros monitoreados no corresponden a un patrón de tendencia mostrada según Renou, et al., 2007, ya sea para lixiviados jóvenes o lixiviados viejos, esto podría deberse a la mezcla de lixiviados viejos y jóvenes al proceso de recirculación empleado por la empresa como mecanismos de tratamiento de los lixiviados, por otra parte las precipitaciones pluviales someten a un proceso de dilución de los lixiviado que se encuentra depositado en los pondajes, y a una continua evapotranspiración de acuerdo a las condiciones imperantes en la ciudad de Valledupar.

En la caracterización de una manera explícita se encuentran parámetros que corresponden tanto a lixiviados jóvenes como viejos, dado el caso particular del pH arrojado, que es acorde al tiempo de operación del relleno sanitario, teniendo en cuenta que este lleva 20 años de operación y el pH se encuentra dentro del rango de lixiviado viejo superior a 7,5 evidenciado en los reportes de cada uno de los periodos del 2016 al 2018. También, cabe mencionar; que

se presentan comportamientos de lixiviado de rellenos jóvenes, que son menores a dos años presentando elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO<sub>5</sub>/DQO) superiores a 0,4, reportados en los años 2017 y 2018 con un valor máximo de 0,62 para el periodo 2017-2.

Los parámetros críticos de acuerdo a la caracterización fisicoquímica de los contaminantes presente en los lixiviados, que sobrepasan los valores permisibles según la resolución 631 del 2015 se encontraron:

2016-1	pH, DBO <sub>5</sub> , DQO y Cloruros
2016-2	DQO, Cloruros y Fenoles Totales
2017 -1	DQO, DBO <sub>5</sub> , Cloruros y pH.
2017-2	DBO <sub>5</sub> , DQO, Fenoles, Cloruros y Plomo.
2018-1	DQO, DBO <sub>5</sub> , Cloruros.

Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>, de los años presentado el valor máximo se registró en el 2017 -2. Resultado arrojado de 3153 mg/l lo que se traduce 4 veces mayor a lo establecido en el marco normativo colombiano, por lo anterior la DBO<sub>5</sub> “Es la Cantidad medida de oxígeno que requieren microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. Es el parámetro de mayor importancia a tener en cuenta en la contaminación de agua, es un estimativo de la contaminación orgánica”. (Henry y Heinke, 1999). Por consiguiente, la alta concentración de carga orgánica incide en la proliferación de los organismos patógenos presentes en el cuerpo de agua, de manera que, a mayor carga contaminante, mayor el tiempo y el peligro que representa como foco de infección.

En relación a la Demanda Química de Oxígeno DQO, el valor máximo reportado se registró en el 2016 -2 con un valor de 7300 mg/l, por lo tanto, es 3,6 veces mayor en referencia a los valores permisibles de la normatividad colombiana en materia de vertimiento, este parámetro determina la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una

estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico.” (Fernández Gonzales y Dolores Curt, 2004). El exceso de materia orgánica facilita la proliferación de microorganismos patógenos (contaminación biológica), provocando un déficit de oxígeno, lo que aumenta considerablemente la solubilidad en el agua de ciertos metales y a la vez se potencializa el efecto de la corrosión de las conducciones y tuberías por la presencia de sulfuros.

Los cloruros presentes en la caracterización con un valor de 4942 mg/l considerablemente elevado según la resolución 631 de 2015. El cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad, impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o agropecuarios. Altos porcentajes de cloruros en los cuerpos de agua también pueden destruir a la vegetación circundante

#### **4.2 Determinación de la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> mediante ensayos operado por el tratamiento de Ósmosis Inversa bajo modelo hidráulicos de flujo continuo.**

Tabla 23. Datos etapa experimental osmosis inversa – DQO

	pH Lixiviado: 8,2	pH: 7,0	pH: 6,0
Testigo	5598	5319	5347
T1: INICIAL	120,1	135	119
T2: 12 Horas	128,1	141	135
T3: 24 Horas	142	142,6	140,8
T4: 36 Horas	155,3	153,4	154,3
T5: 48 Horas	155,3	155	156,7
T6: 60 Horas	162	155	157
T7: 72 Horas	162	155,4	157,4

Fuente: Propia 2019

Los valores arrojados después de la remoción en términos de DQO, se evidenció porcentajes de remoción del 97 % tanto para pH de lixiviados, como para el pH modificado a 6,0 en los primeros intervalos de tiempo de salida tal como se observa en la Tabla 23; es de



considerar que los resultados del proceso de osmosis inversa cumplen con los parámetros establecido dentro de la normatividad colombiana en materia de vertimiento a un cuerpo de agua, luego los rangos de remoción para los diferentes pH

Tabla 24. Datos etapa experimental osmosis inversa – DBO5, unidades (mg/l) 2019.

	pH: Lix: 8,2	pH: 7,0	pH: 6,0
Testigo	2201	2306	2305
T1: INICIAL	67	66,7	66,8
T2: 12 HORAS	68	67,3	68,76
T3: 24 HORAS	71	69,7	69,1
T4: 36 Horas	71	70,3	70,06
T5: 48 Horas	73	72,5	71,4
T6: 60 Horas	73,4	72,5	72
T7: 72 Horas	73,7	72,8	72,4

A continuación, se puede observar en la Figura 18 diferentes muestras de lixiviado antes durante y después del proceso experimental de Osmosis inversa



Figura 18: Efluente osmosis inversa comparación visual

#### Análisis Estadístico DQO - Diseño Experimental

Tabla 25. Datos etapa experimental osmosis inversa DQO, unidades (mg/l) 2019.

	pH Lixiviado:			Suma	Promedio
	8,2	pH: 7,0	pH: 6,0		
Testigo	5598	5319	5347	16264	5421,33333
T1: INICIAL	120,1	135	119	374,1	124,7
T2: 12 Horas	128,1	141	135	404,1	134,7

T3: 24 Horas	142	142,6	140,8	425,4	141,8
T4: 36 Horas	155,3	153,4	154,3	463	154,333333
T5: 48 Horas	155,3	155	156,7	467	155,666667
T6: 60 Horas	162	155	157	474	158
T7: 72 Horas	162	155,4	157,4	474,8	158,266667

Tabla 26. Análisis de varianza de un factor

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	16264	5421,333333	23604,3333
T1: INICIAL	3	374,1	124,7	79,87
T2: 12 Horas	3	404,1	134,7	41,67
T3: 24 Horas	3	425,4	141,8	0,84
T4: 36 Horas	3	463	154,3333333	0,90333333
T5: 48 Horas	3	467	155,6666667	0,82333333
T6: 60 Horas	3	474	158	13
T7: 72 Horas	3	474,8	158,2666667	11,4533333

Tabla 27. Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	73033026,23	7	10433289,46	3513,9431	2,82722E-24	2,6571966
Dentro de los grupos	47505,78667	16	2969,111667			
Total	73080532,02	23				

HO:  $T_t : T_1 : T_2 : T_3$  No existen diferencias en los efectos de remoción de carga orgánica en referencia a la DBO, teniendo en cuenta el grupo testigo

1 HA:  $T_t \neq T_1 \neq T_2 \neq T_3$  Al menos el efecto de la diferencia de tiempo respecto a los pH son diferentes

Estadística de prueba: F Calculada (3513,9431)

2

Valor crítico vs comparar F Tabla: Grado de libertad del numerador/Grado de libertad del denominador

3

Regla de decisión

4 Acepto  $H_0$  SI  $F$  calculada  $\leq$  que la  $F$  de Tabla

3513,943103

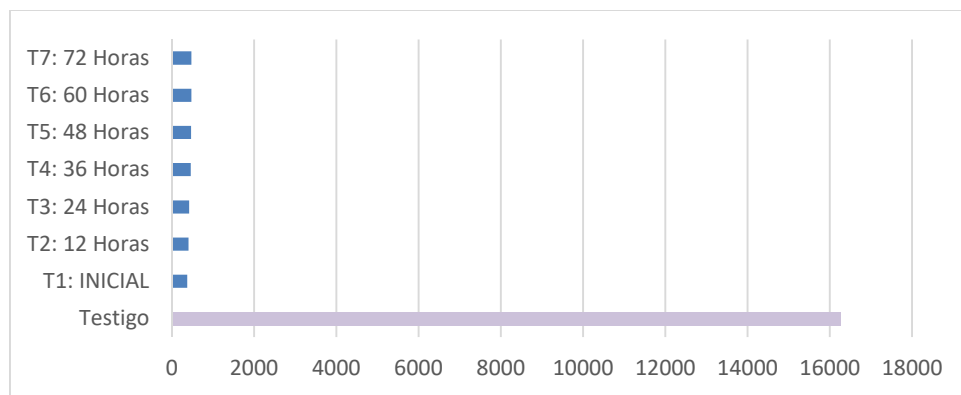


Figura 19: Sumatoria datos experimentales DQO

Se concluye que ninguno de los efectos respecto al tiempo y el pH en porcentajes de remoción es diferente, No existen diferencias significativas como se puede observar en la Figura 19.

### Análisis Estadístico $DBO_5$ - Diseño Experimental

Tabla 28. Datos etapa experimental osmosis inversa

	pH: Lix	pH: 7,0	pH: 6,0	Suma	Promedio
Testigo	2201	2306	2305	6812	2270,66667
T1: INICIAL	67	66,7	66,8	200,5	66,8333333
T2: 12 HORAS	68	67,3	68,76	204,06	68,02
T3: 24 HORAS	71	69,7	69,1	209,8	69,9333333
T4: 36 Horas	71	70,3	70,06	211,36	70,4533333
T5: 48 Horas	73	72,5	71,4	216,9	72,3
T6: 60 Horas	73,4	72,5	72	217,9	72,6333333
T7: 72 Horas	73,7	72,8	72,4	218,9	72,9666667

Tabla 29. Análisis de varianza de un factor

**RESUMEN**

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Testigo	3	6812	2270,666667	3640,33333
T1: INICIAL	3	200,5	66,83333333	0,02333333
T2: 12 HORAS	3	204,06	68,02	0,5332
T3: 24 HORAS	3	209,8	69,93333333	0,94333333
T4: 36 Horas	3	211,36	70,45333333	0,23853333
T5: 48 Horas	3	216,9	72,3	0,67
T6: 60 Horas	3	217,9	72,63333333	0,50333333
T7: 72 Horas	3	218,9	72,96666667	0,44333333

Tabla 30. Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12707620,45	7	1815374,35	3985,79494	1,03262E-24	2,6571966
Dentro de los grupos	7287,3768	16	455,46105			
Total	12714907,83	23				

**HO: Tt :T1: T2 : T3 No existen diferencias en los efectos de remoción de carga orgánica en referencia a la DBO, teniendo en cuenta el grupo testigo**

HA: Tt  $\neq$  T1  $\neq$  T2  $\neq$  T3 Al menos el efecto de la diferencia de tiempo respecto a los pH son diferentes

1

2

Estadística de prueba: F Calculada (3985,79494)

Valor crítico vs comparar F Tabla: Grado de libertad del numerador/Grado de libertad del denominador

3

2,6571966

Regla de decisión

4 Acepto  $H_0$  SI  $F$  calculada  $\leq$  que la  $F$  de la Tabla

3985,794944

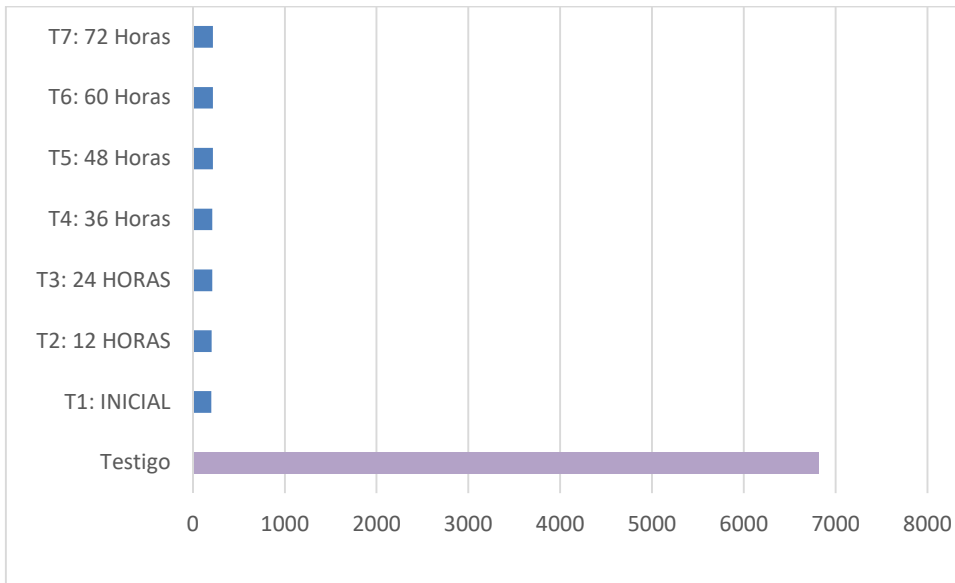


Figura 20: Sumatoria de datos experimentales DBO<sub>5</sub>

Se concluye que ninguno de los efectos respecto al tiempo y el pH en porcentajes de remoción es diferente, No existen diferencias significativas.

### 4.3 Estandarizar las mejores condiciones de operación durante el ensayo de tratabilidad realizado.

De acuerdo a los ensayos realizados las características de operatividad del sistema se efectuaron de la siguiente manera:

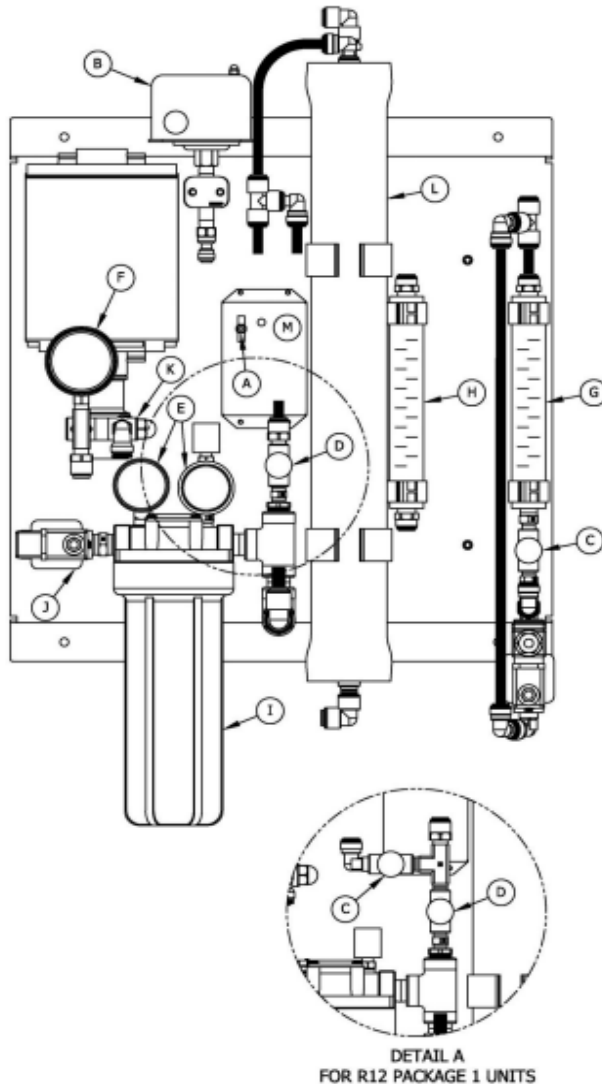


Figura 21: Sistema de Osmosis Inversa

CONTROLES, INDICADORES y COMPONENTES (ver figura 21)

A. Interruptor de encendido / apagado - Enciende y apaga la unidad.

B. Interruptor de presión del producto - Enciende y apaga automáticamente la unidad

Producto de la presión del agua.

C. Válvula de control de rechazo - Controla la cantidad de flujo de rechazo.

D. Válvula de control de reciclaje de rechazo - Controla la cantidad de flujo de reciclaje.

E. Indicadores de presión del prefiltro (opcional) - Indicar las presiones de entrada y salida del

Prefiltro La diferencia entre estos dos indicadores es el diferencial de prefiltro presión.

F. Manómetro de descarga de la bomba - Indica la presión de alimentación de la membrana.

G. Medidor de flujo de rechazo (opcional) - Indica el caudal de rechazo en galones por minuto (Gpm).

H. Medidor de caudal del producto (opcional) - Indica el caudal del producto en galones por minuto (Gpm).

I. Cubierta Prefiltro - Contiene el prefiltro RO.

J. Válvula de entrada automática: se abre cuando la bomba está encendida y se cierra cuando la bomba está apagada.

K. RO Bomba de alimentación - Presuriza el agua de alimentación RO.

L. RO Membrana Recipiente (s) - Contiene la (s) membrana (s) RO.

M. Indicador de baja presión.

La característica del equipo de Osmosis Inversa para la obtención de los resultados experimentales se llevó con las siguientes especificaciones técnicas:

Presión de trabajo: entre 15 Bar y 24 Bar  
 Conexión de entrada: 3/4”H  
 Conexión de salida (permeado): 1/2”H  
 Conexión de salida (rechazo): 1/2”H  
 Alimentación: 230V/50Hz  
 Manómetros de glicerina  
 Membranas de hasta 4”  
 Bomba rotativa de paletas.



Figura 22: Planta de Osmosis Inversa. Fuente Propia, 2019

De acuerdo con la carga contaminante se estableció la filtración de flujo cruzado (*cross flow*), como se observa en la figura 22, la alimentación fluye tangencialmente a la superficie de la

membrana. La diferencia de presión ejercida hace que parte del flujo de la alimentación atraviese la membrana, mientras el remanente arrastra continuamente las partículas que pudieran depositarse, reincorporándolas a la alimentación. Al aplicar el flujo cruzado sobre la superficie filtrante se provoca una auto limpieza en la superficie de la membrana, disminuyendo la frecuencia y los costos de limpieza (Escribano, 2005).

Los filtros de membrana utilizados en la etapa experimental según su material fueron utilizados de Poliamida, que dentro de sus características son hidrófilos y tienen resistencia química a las soluciones alcalinas y a los disolventes orgánicos, son resistentes a los cambios extremos de temperatura, pH lo que nos permite garantizar las altas remociones de carga orgánica presente en los lixiviado del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar.

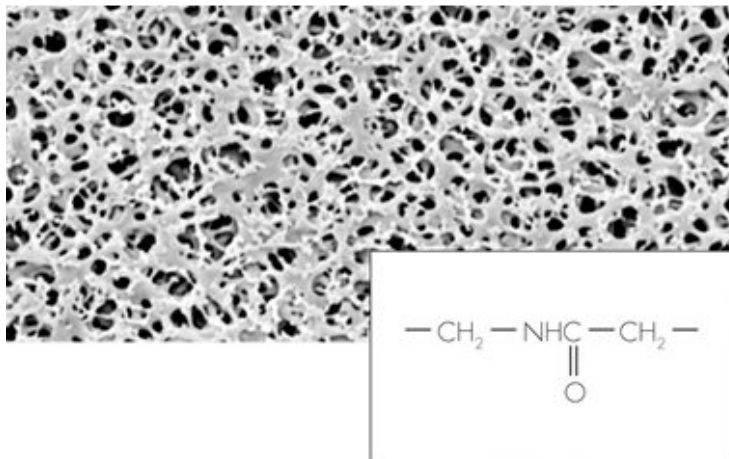


Figura 22. Membrana de Poliamida Vista Microscopio

Las presiones utilizadas en la fase experimental oscilaron entre 15 y 24 bar para superar la presión osmótica a través de la membrana.



#### 4.4 Conclusiones

Las evaluaciones de las características de los lixiviados muestran parámetros que corresponden tanto a lixiviados jóvenes como viejos; se reafirma con los resultados del pH arrojado, que es acorde al tiempo de operación del relleno sanitario, este lleva 20 años de operación y el pH se encuentra dentro del rango de lixiviado viejo (Renou, et al., 2007) mayores a 7,5. También se presentaron comportamientos de lixiviado de rellenos jóvenes menores a cinco años, presentando elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad ( $DBO_5/DQO$ ) superiores a 0,4 según Renou, et al., 2007. El comportamiento atípico obedece al proceso de recirculación como alternativa de tratamiento y por ende la mezcla de lixiviados jóvenes con los lixiviados viejos.

Los parámetros que incumplen con el marco normativo referente a la resolución 631 de 2015, se encuentran la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno  $DBO_5$  y Cloruros en el monitoreo de los años 2016, 2017 y 2018. En periodos intermitentes se evidenció el incumplimiento de los valores de pH, luego la variabilidad de los parámetros en el trascurso del monitoreo fisicoquímico no permite establecer un sistema de tratamiento de manera convencional. No obstante, según lo expresa Giraldo (2001) el tratamiento de los lixiviados de los rellenos sanitarios es un problema difícil de atacar, tal vez, sin exageración, uno de los problemas más desafiantes en la ingeniería del tratamiento de las aguas residuales, lo que indica que por su complejidad y lo que representa en costo es necesario evitar al máximo la generación. Por lo tanto, se requiere internalizar los costos ambientales en toda la cadena desde su producción, transformación, distribución, uso y descarte.

De acuerdo a los resultados del diseño experimental en la variable de DQO se dedujo que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, mostrando como resultados que ninguno de los efectos respecto al tiempo y el pH en porcentajes de remoción es diferente, No existen diferencias significativas como se puede observar en la Figura 19; lo que implica que son márgenes muy cercanos con porcentajes de remociones de carga orgánica que oscilan entre

un 94 al 97%, arrojando valores de concentraciones de 120 mg/l hasta 158 mg/l en términos de DQO. Lo que muestra que este parámetro se encuentra dentro de los valores permisibles de la resolución 631 de 2015 de la normatividad ambiental colombiana en materia de vertimientos.

Los resultados obtenidos en la medición de la variable de  $DBO_5$  el diseño mostró resultados de remociones que oscilan entre 95 y 97% con concentraciones de 66.7mg/l y 73,7 mg/l parámetro que se encuentran dentro de los valores permisibles de la resolución 631 de 2015 de la normatividad ambiental colombiana en materia de vertimientos.

Los resultados óptimos utilizando el equipo experimental de Osmosis inversa operado bajo flujo continuo, se presentó con presiones que oscilaban entre 15 a 24 bar, membranas de Poliamida y pH 7.0. Con estas condiciones se registraron remociones de carga orgánica superiores al 90% tanto para Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) como para la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Teniendo en cuenta las altas concentraciones de carga orgánica presente en las muestras de lixiviados para DQO de 5598 mg/l y de 2306 mg/l en  $DBO_5$  y los resultados arrojados en cada una de las fases experimentales, nos permite inferir la alta capacidad de remoción de compuestos orgánicos presente en los lixiviados a través del proceso de Osmosis Inversa. Lo que se considera viable como una alternativa de tratamiento, validando lo propuesto por Giraldo (2001) en donde manifiesta que se reportan unos excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes presentes en los lixiviados.

## 4.5 Recomendaciones

En próximas investigaciones, se deben realizar ensayos para evaluar la durabilidad de la membrana. Las pruebas se realizaron por lotes, lo que permitió realizar limpieza después de cada ensayo, si se hace de forma continua en flujo cruzado se puede evaluar la eficiencia de separación y durabilidad de la membrana durante la filtración.

Los ensayos de tratabilidad solo presentan resultados para evaluar la viabilidad técnica, es indispensable correlacionar los resultados con una evaluación de costos y así evaluar la viabilidad económica al sistema de tratamiento con el proceso de Osmosis Inversa.

Evaluar la remoción de metales pesados presente en los lixiviados y a su vez implementar tratamientos primarios que permitan bajar la carga de sólidos suspendidos para garantizar mayor tiempo de operatividad por parte de las membranas de Osmosis Inversa.

## Referencias Bibliográficas

- A.G. Martinez-Lopez\*, W. P.-H.-B.-C.-R.-L.-H.-M.-C. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 9(1) , 37- 47.
- Andrea Raquel, G. (2012) *Estudio sobre la Aplicación de la Tecnología de Membranas para la Recuperación del Ácido Fosfórico de las Aguas de Lavado en el Proceso de Anodizado del Aluminio*. [Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona]. Recuperado de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/69956#page=1>
- Álvarez, A & Suárez, G. (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta. *Ingeniería y Desarrollo*, 20, 95-105
- AWWA, Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. Capítulo 5 y 9. Primera edición. J Mallevalle et al. Eds., McGraw-Hill, 1998.
- Calvo-Brenes, G., Mora-Molina, J., Quesada-Kimsey, J., & Quesada-Carvajal, H. (2011). Aplicación de la tecnología de membranas en el tratamiento de algunos residuos líquidos altamente peligrosos. *Revista Tecnología En Marcha*, 23(1), pág. 94. Recuperado de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/136](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/136)
- Chen Li, Yu Yang, Ye Liu, Li-an Hou, (2018) Removal of PhACs and their impacts on membrane fouling in NF/RO membrane filtration of various matrices, *Journal of Membrane Science* 548, 439–448
- Congreso de Colombia. (19 de diciembre de 2008) *comparendo ambiental [Ley1259 de 2008]*. DO:47.208.
- Collazos, H. (2008). *Diseño de operación de Rellenos Sanitarios*. Tercera Edición. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 84-481-3596-2.
- Cortez S., Teixeira P., Oliveira R. y Mota M., (2009), Fenton’s oxidation as post-treatment of a mature municipal landfill leachate, *Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 57, p. 87-90.
- El-Fadel, M., Findikakis, A.N. and Leckie, J.O. (1997) Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management*, 50, 1-25. <http://dx.doi.org/10.1006/jema.1995.0131>
- Escribano, A. (2005). *Evaluación Tecnológica de la Aplicación de Reactores Biológicos de Membranas en Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales*. Cataluña.

- FOO K. y HAMEED B., (2009), An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 171, p. 54-60.
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *Revista de ingeniería*, (14), 44-55.
- Giraldo, E. (2003). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances Recientes. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 44-55.
- Guo, Q. (2018). *Tratamiento de aguas coloreadas procedentes de la industria textil mediante ósmosis inversa. Efecto de la conductividad sobre la eliminación de color*. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/111108>
- Wilson, DC, Rodic, L, Cowing, MJ et al. (7 more authors) (2015) 'Wasteaware' Benchmark Indicators for Integrated Sustainable Waste Management in Cities. *Waste Management*, 35. 329 - 342. ISSN 0956-053X <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.006>
- Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M. A., Hernández-Lara, J.M., Elvira-Hernández, E. A., Méndez, G. A., Tinoco-Magaña, J.C., Martínez-Castillo, J., Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química [en línea]* 2014, 9 (Enero-Abril) : [Fecha de consulta: 28 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93330767005> ISSN 1856-5301
- Pure Agua, Inc. (2012). *Tratamiento de Agua y Sistemas de Osmosis Inversa*. 2230 South Huron Dr. Santa Ana, CA 92704 USA: Catalogo.
- Méndez Novelo, R. I., Castillo Borges, E. R., Sauri Riancho, M. R., Quintal Franco, C. A., Giácoman Vallejos, G., & Jiménez Cisneros, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 133-145.
- Méndez Novelo, R. I., García Reyes, R. B., Castillo Borges, E. R., Riancho, S., & Rosa, M. (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación fenton. *Ingeniería e Investigación*; Vol. 30, núm. 1 (2010); 80-85.
- Méndez Novelo, R., Novelo López, A., Coronado Peraza, V., Castillo Borges, E., & Sauri Riancho, M. R. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto

- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales; Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Obtenido de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente: <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- Lozoya L., (2006), Caracterización y tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua, Reporte técnico Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- Namakforoosh, M. N. (2007). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Limusa.
- Noeggerath, I., & Salinas, M. (2011). Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios. (Bachelor's thesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Veracruz).
- Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356.
- Novelo, R. I., Borges, E. R., Riancho, M. R., Franco, C. A., Vallejos, G. G., & Cisneros, B. J. (2009). *Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados*. Recuperado de *Revista internacional de contaminación ambiental* vol.25 no.3: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300002)
- METALF & EDDY (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales* Volumen 1 pagina 97. McGraw-Hill.
- Presidencia de la Republica de Colombia. (28 de marzo de 2005) Disposición final de Residuos Sólidos. [Decreto 838 de 2005]. DO: 45.862.
- Ramírez Gómez, William (2006) *Consideraciones básicas y viabilidad de procesos de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración como alternativa para el tratamiento de agua en Colombia*. (Tesis Especialista, Universidad Nacional de Colombia) Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/1924/1/williamramirezgomez.2006.pdf>
- Renou, S. Givaudan, S. Poulain, S. Dirassouyan, P. Moulin, P. (2008) *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 468-493.
- Salazar, L. Saavedra, I. (2009) *Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas*. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Universidad del Norte, Colombia. 1-15

- Sanchez, A. C. (2012). *evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. Obtenido de Master en Tecnología Química Ambiental, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Sanz Escribano, D. (2007). *Estudio de viabilidad de la reutilización de las aguas residuales depuradas de una planta petroquímica mediante tecnología de membrana*. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12904/DESARROLLO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20OI%20PARA%20LA%20REUTILIZACI%3%93N%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEPURADAS%20DE%20UNA%20PLANTA%20.pdf?sequence=1>
- Sotto Díaz, A. (2008). *Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos*. (Tesis de Doctorado, Universidad Rey Juan Carlos). Recuperado de <https://ciencia.urjc.es/handle/10115/4605>
- (SSPD), S. d. (2016). *Disposicion Final de Residuos Solidos Informe Nacional - 2015* . Colombia: Edicion No 8.
- STANDARD METHODS. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (17 th edn.), APHA, AWWA and WPCF, USA. 1995.
- Torrez-Lozada, P., Barba-Ho, L. E., Ojeda, C., Martinez, J., & Castaño, Y. (Junio de 2014). Influencia de la Edad de los Lixiviados sobre su Composicion Fisico-Quimica y su Potencial de Toxicidad. *Revista U.D.C.A. de Actualidad & Divulgacion Cientifica Vol. 17 (1)*, 245 - 255. Obtenido de Revista U.D.C.A Actualidad & DIvulgacion Cientifica Vol. 17(1): 245-255: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/issue/view/55/%7B-%2A>
- VEGA, J.C. (2006) “*Tratabilidad de los lixiviados del Relleno Sanitario Doña en un reactor UASB*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

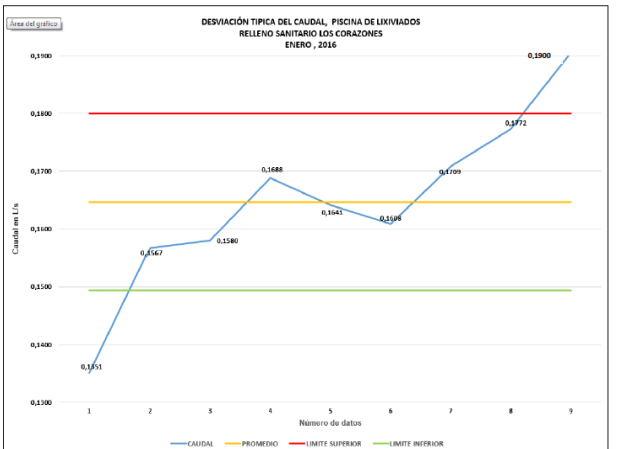
Anexo 1. Registro fotografico Puesta en funcionamiento Equipo de Osmosis Inversa



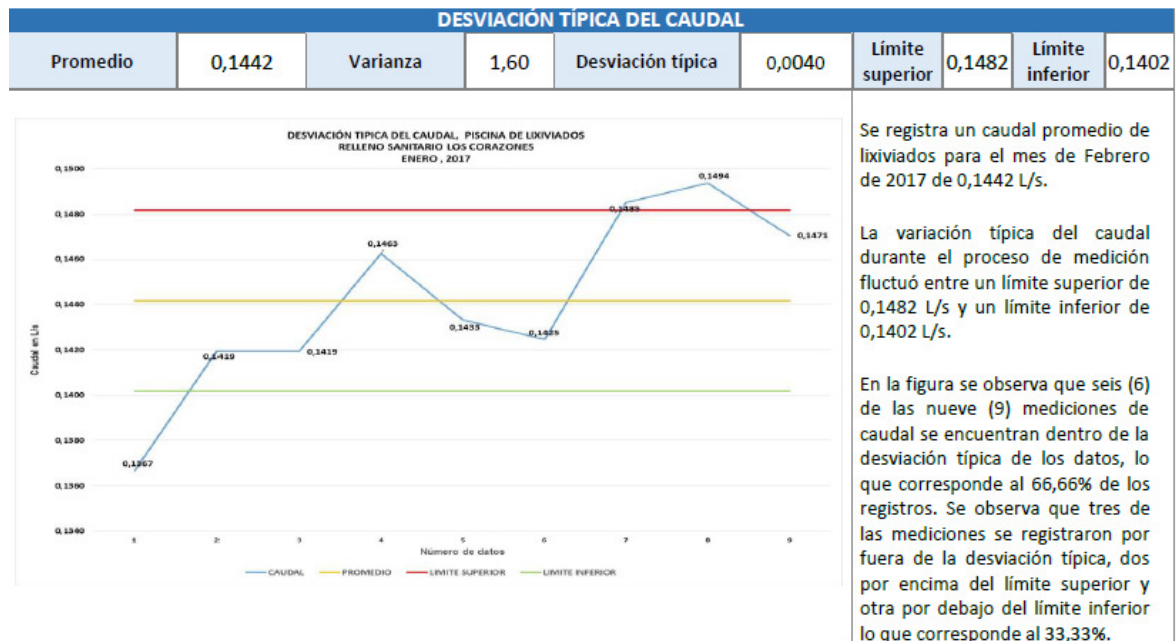
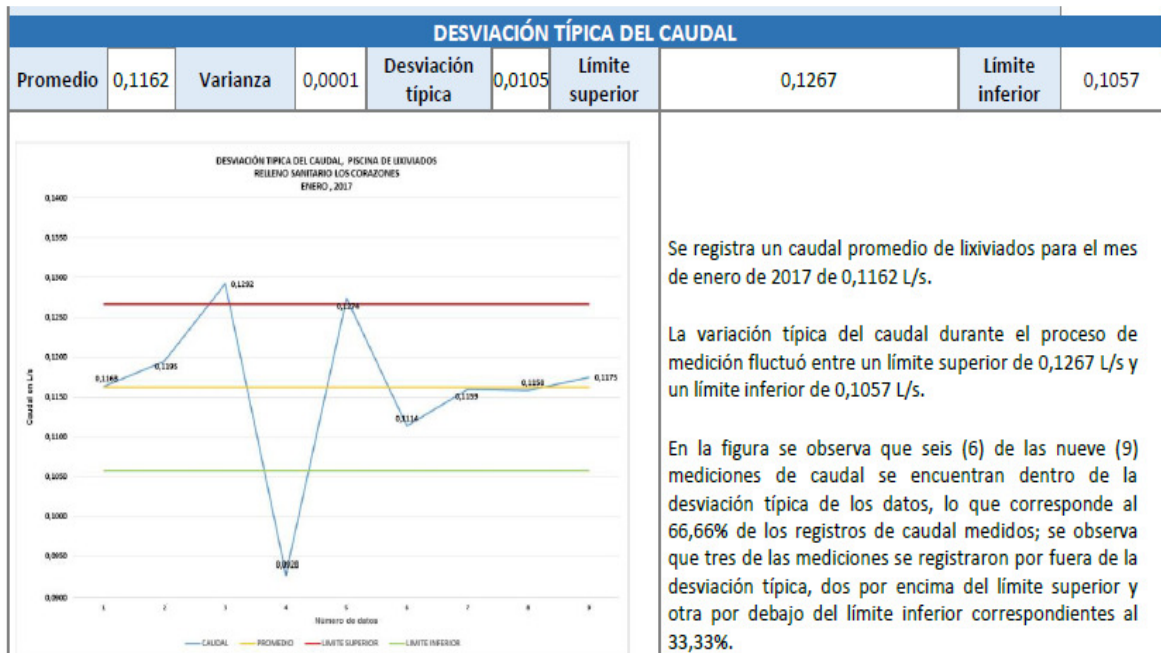


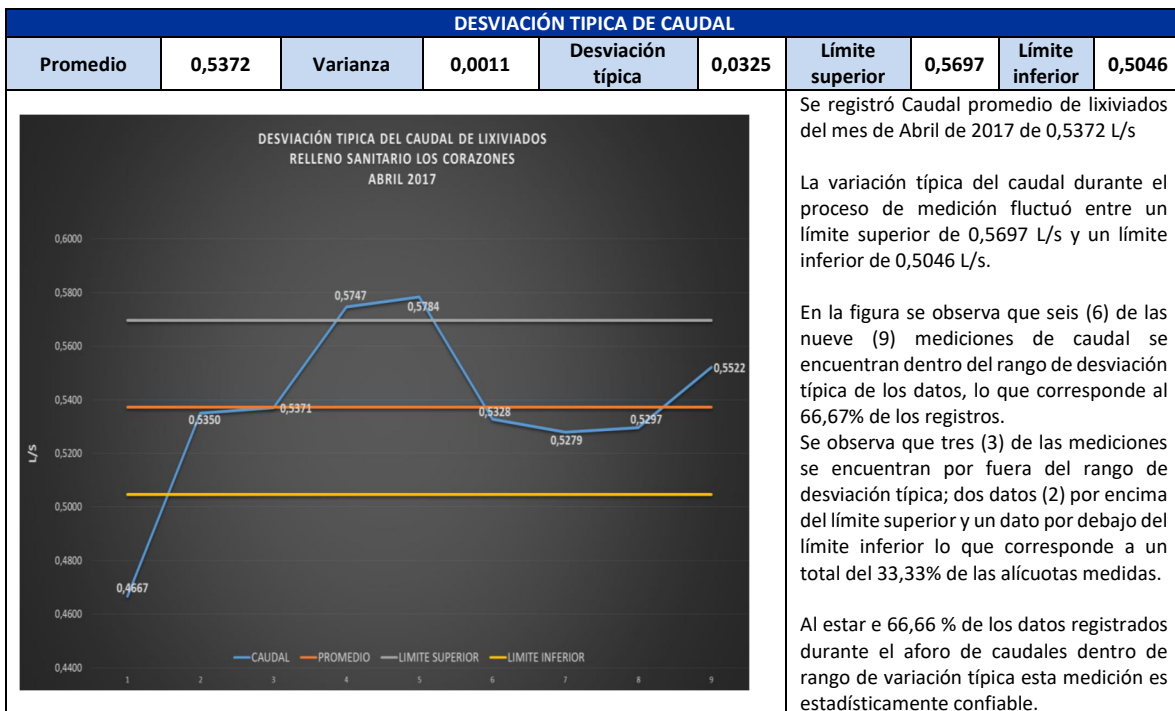
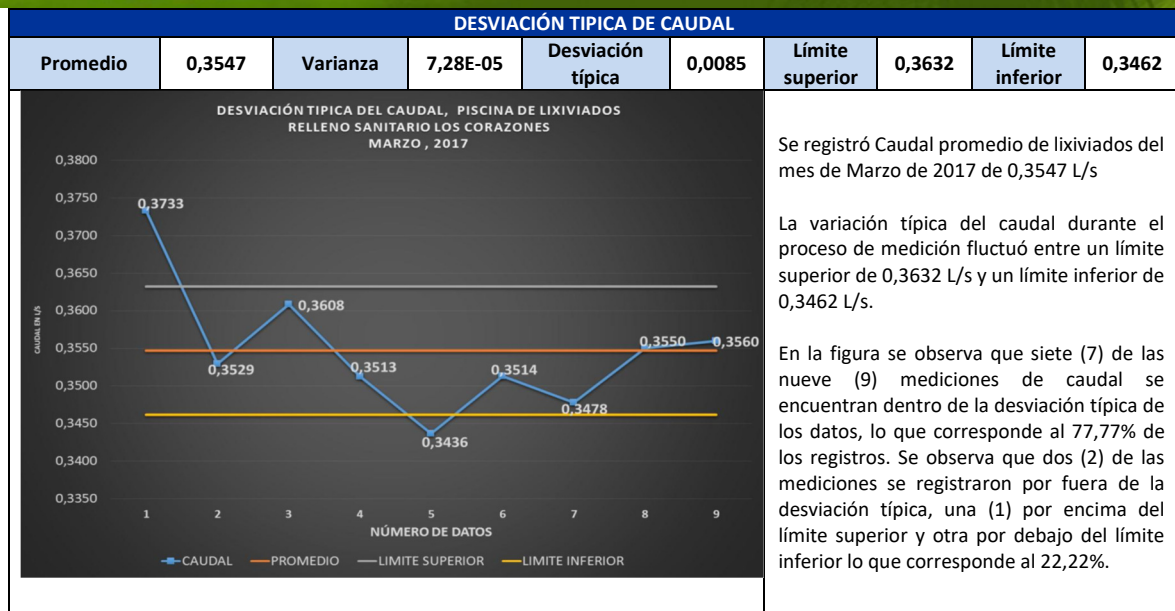


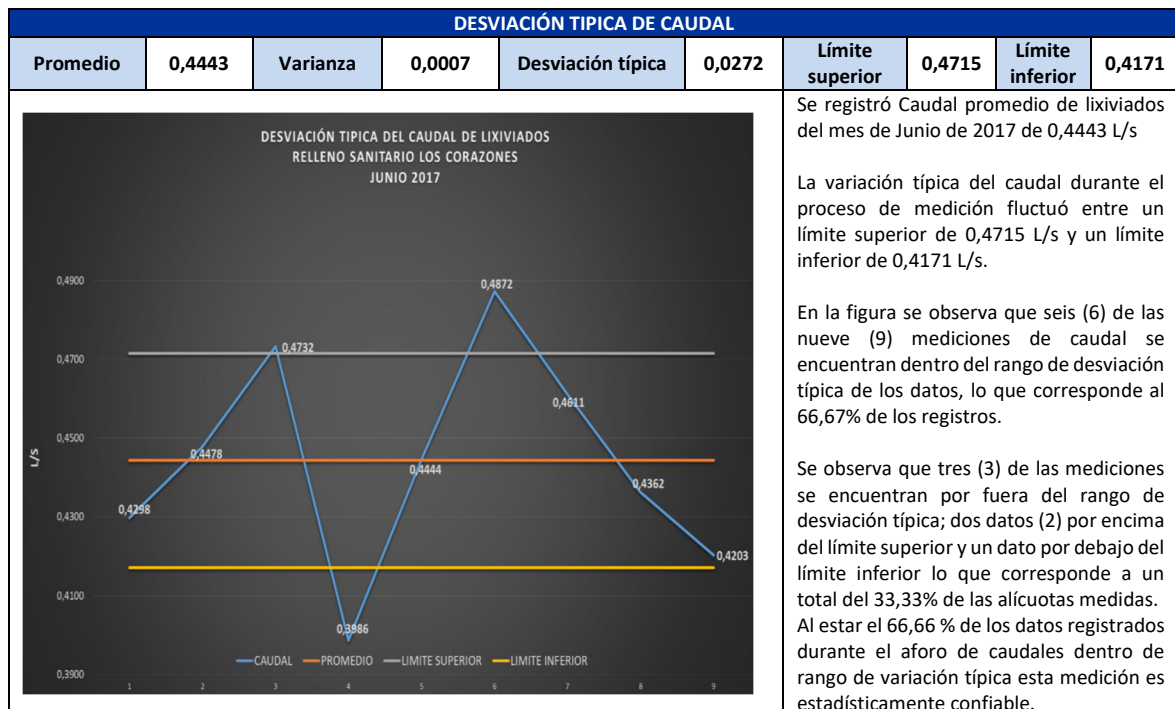
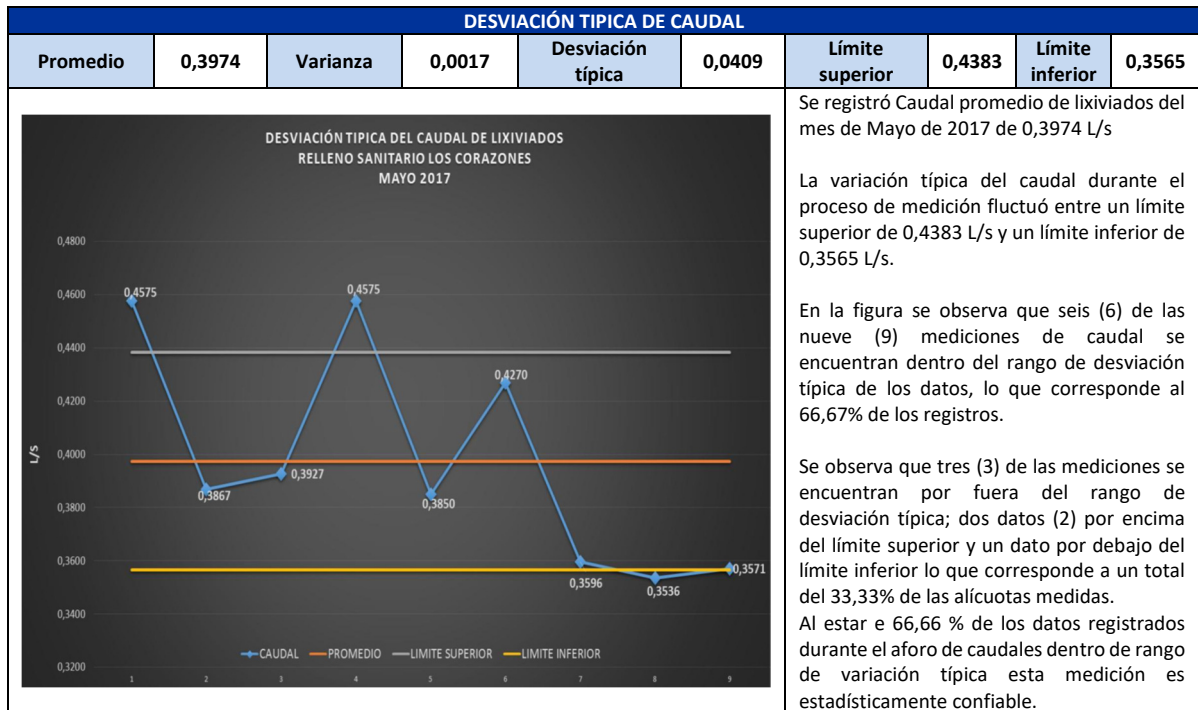
Anexo 2. Punto de muestreo y aforo de Caudal



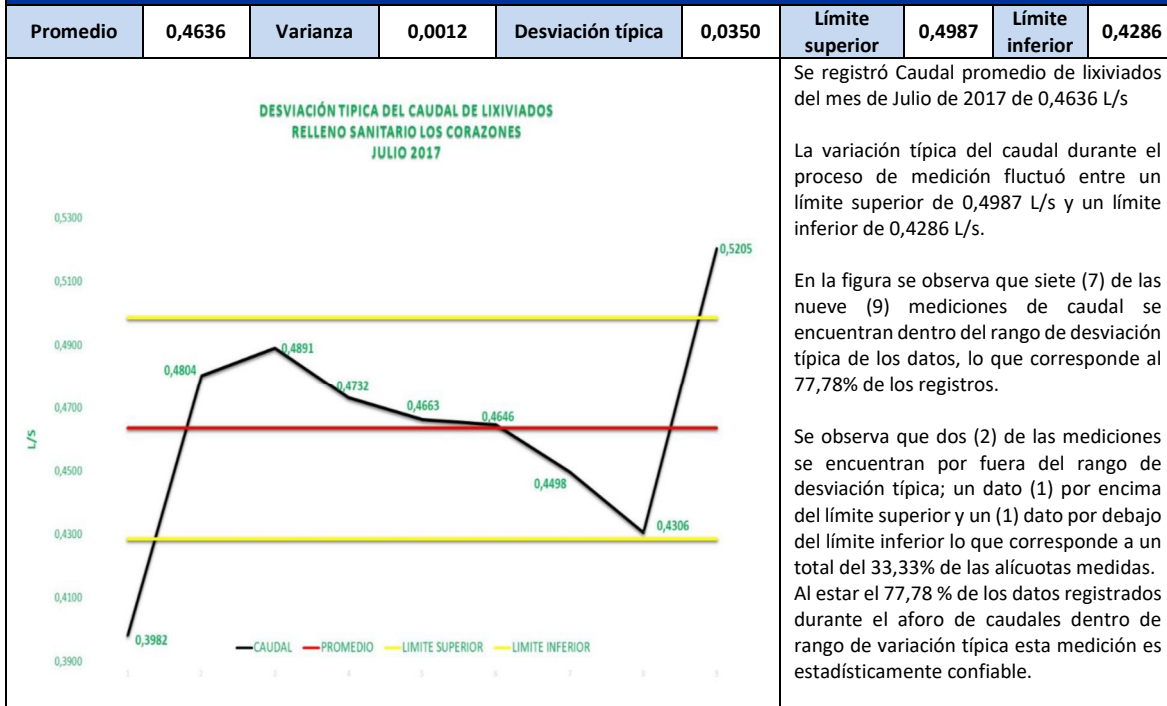
### Anexo 3. Aforo de Caudal.



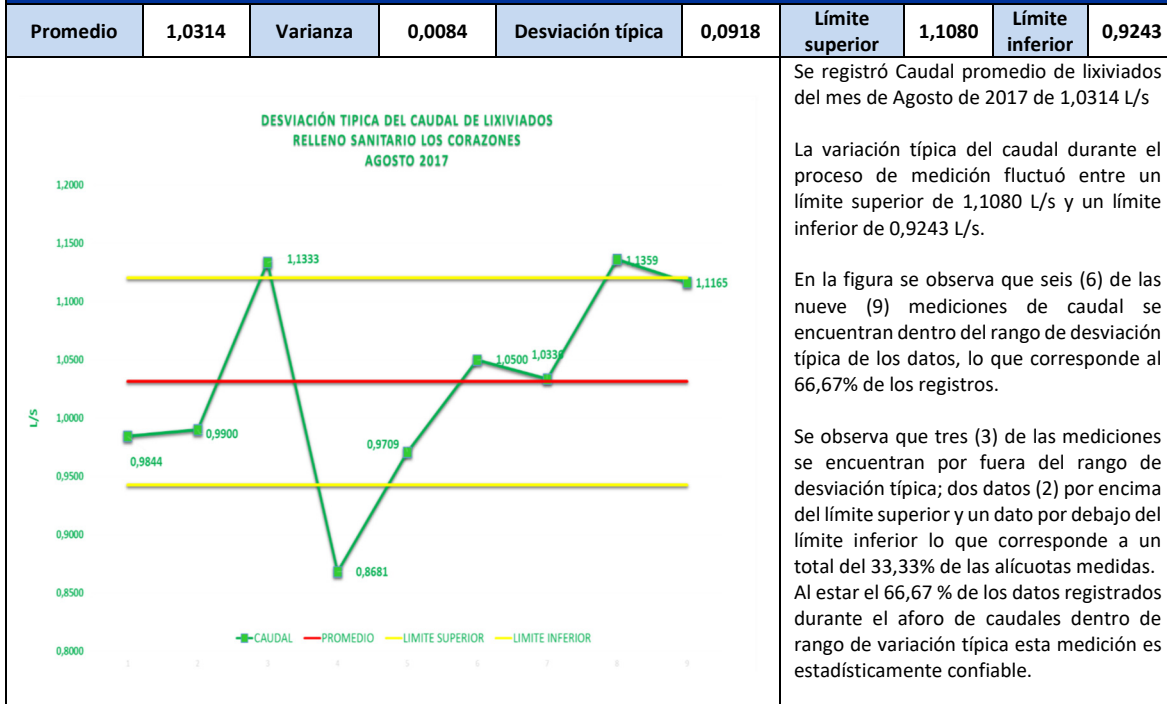




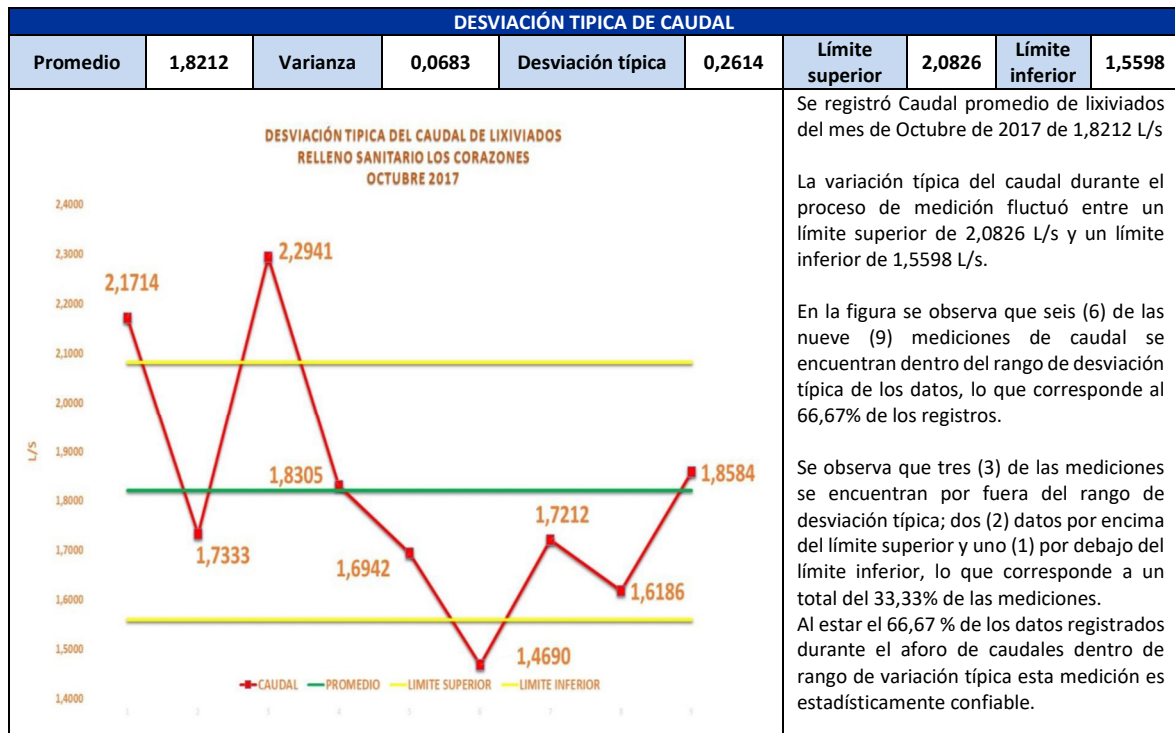
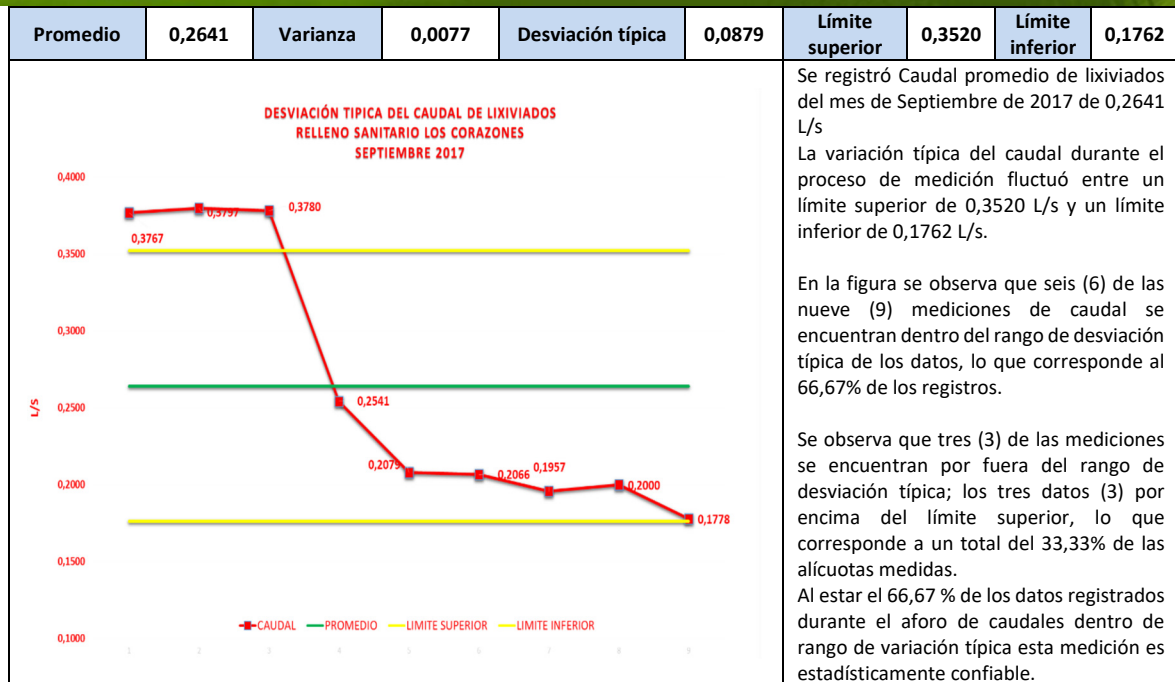
**DESVIACIÓN TÍPICA DE CAUDAL**

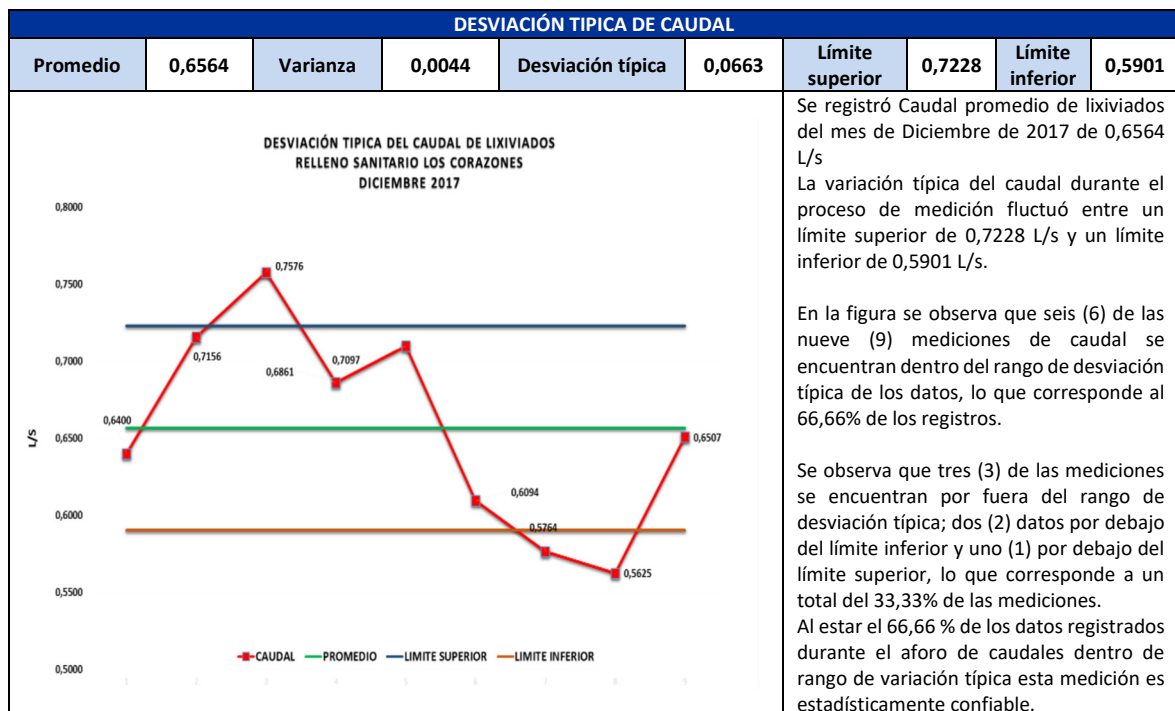
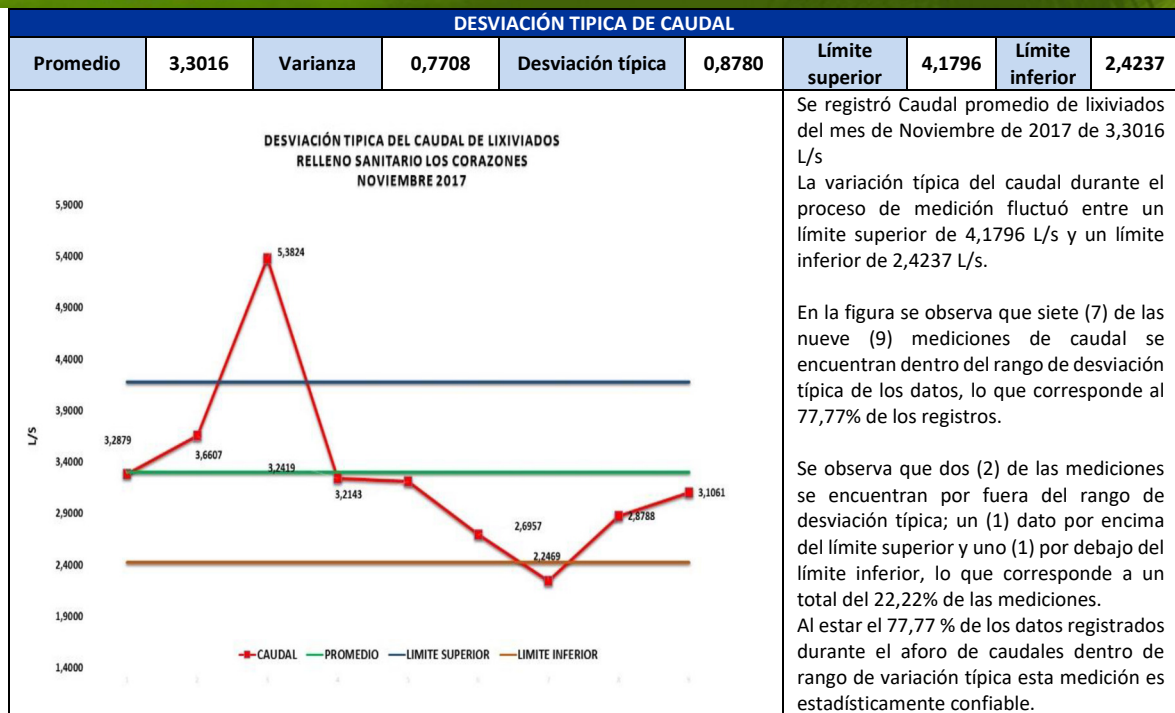


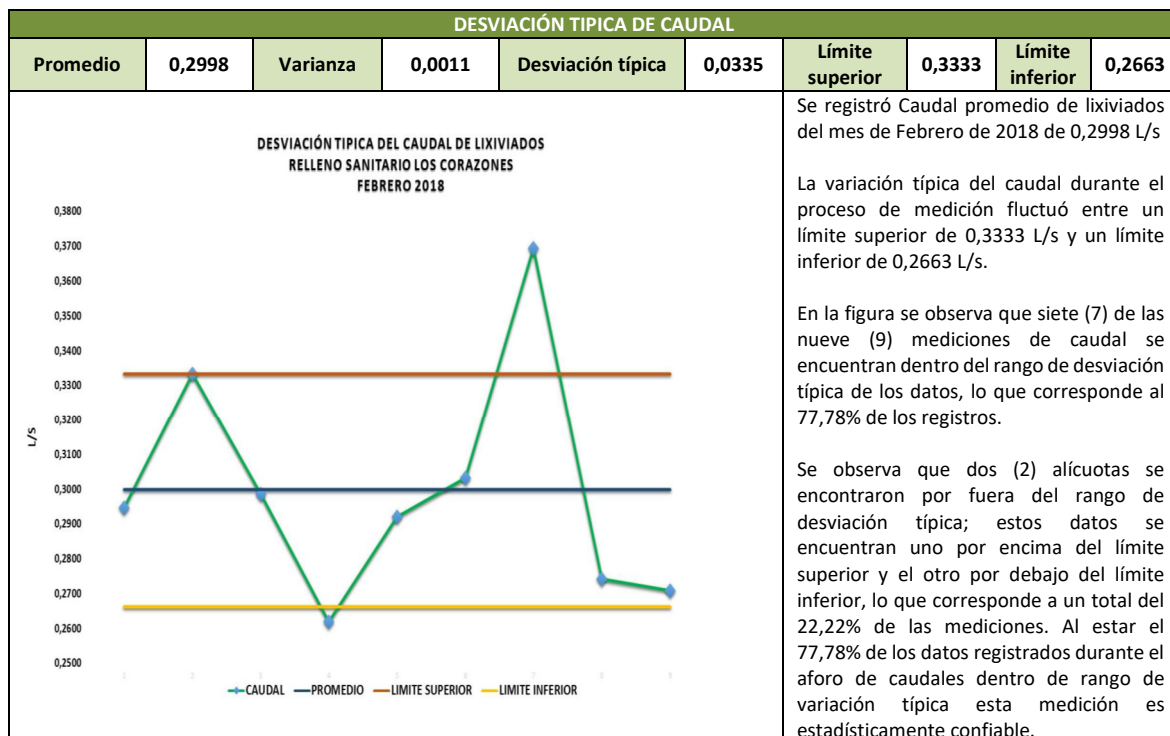
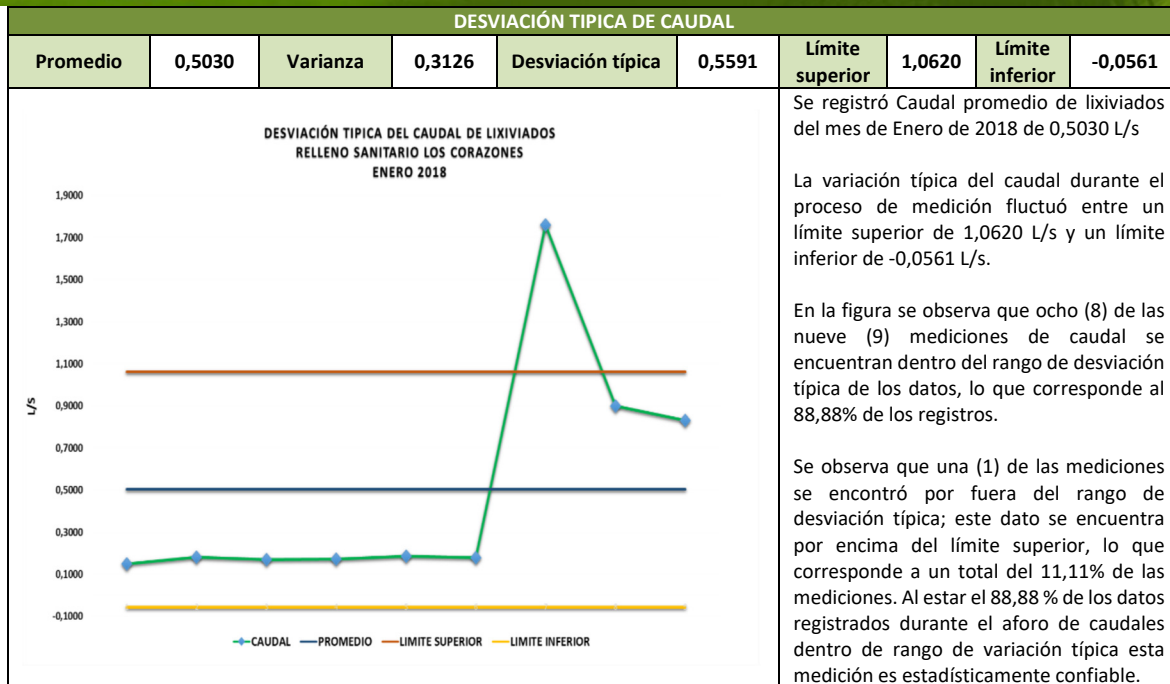
**DESVIACIÓN TÍPICA DE CAUDAL**



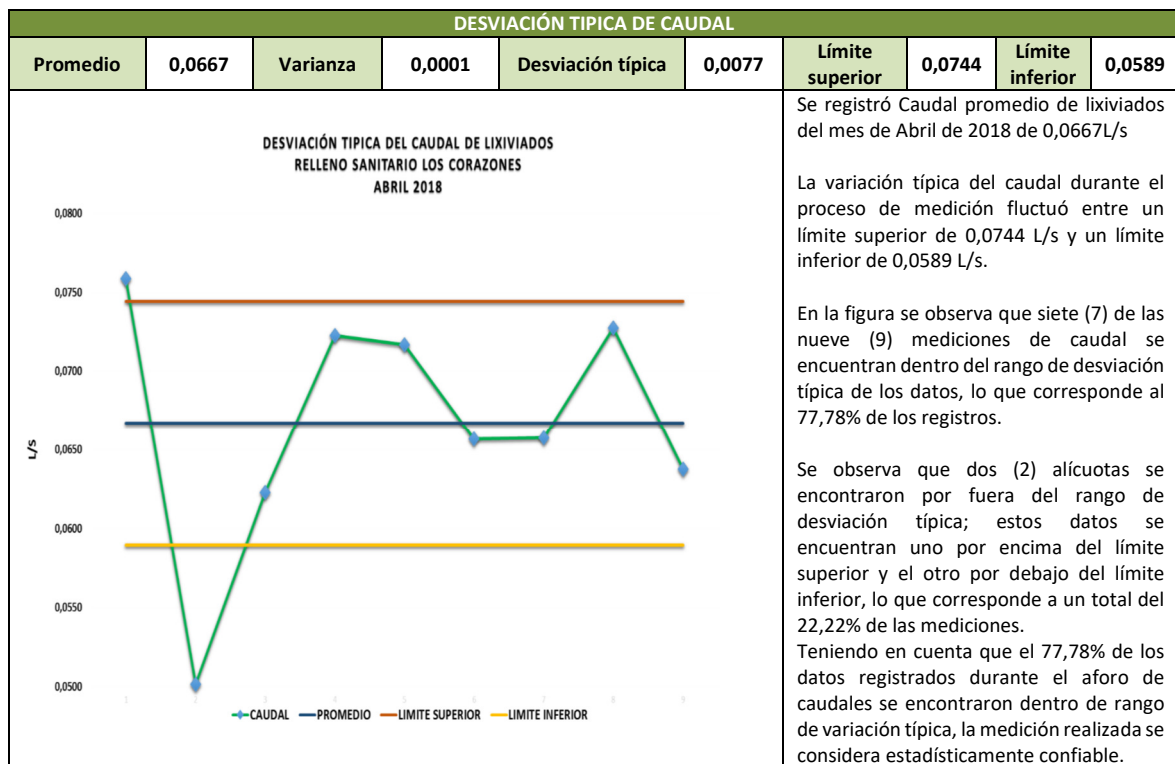
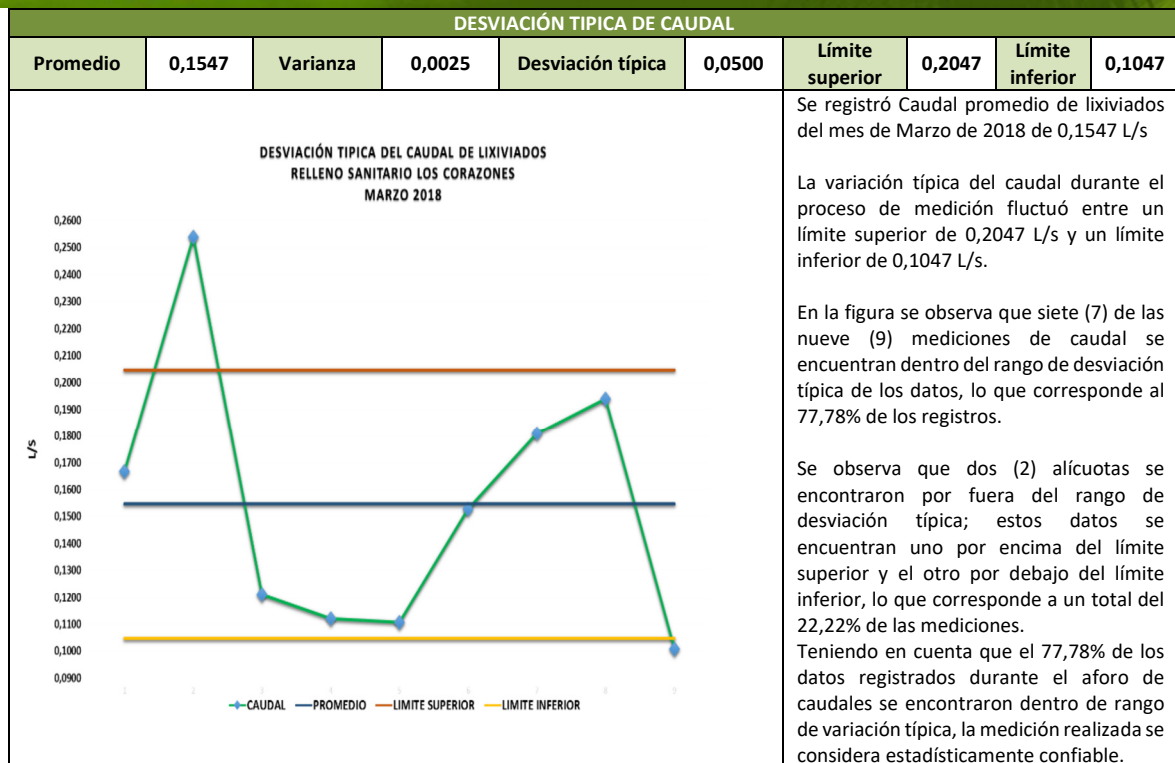
**DESVIACIÓN TÍPICA DE CAUDAL**

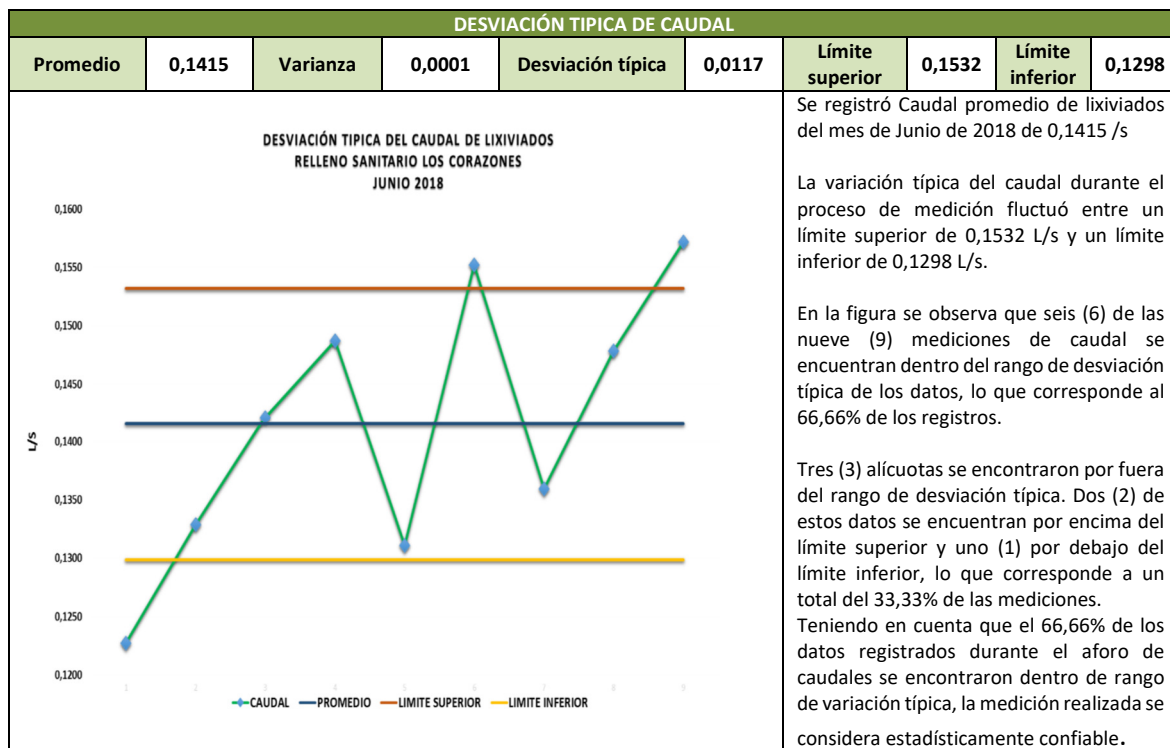
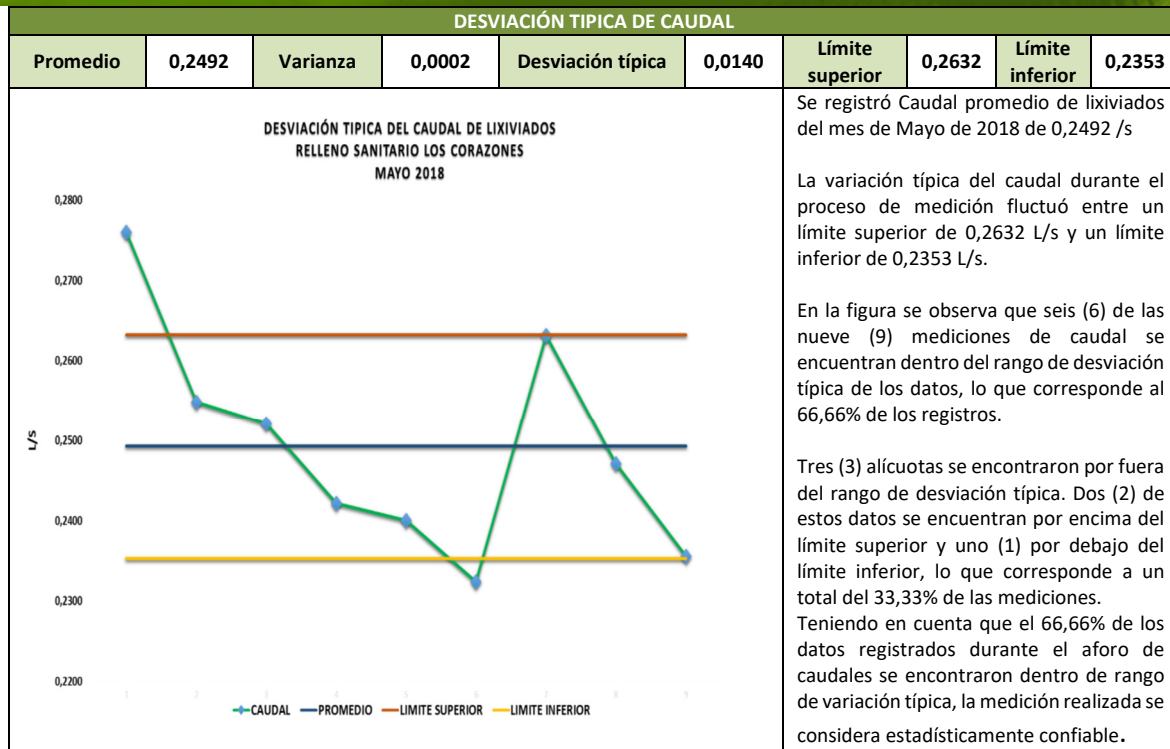












Anexo 4 – Ficha Técnica de la Membrana

**VONTRON**

VONTRON TECHNOLOGY CO., LTD

## MEMBRANA SERIE ULP



La membrana **ULP31-4021** se caracteriza por combinar un alto rechazo de sales con un extraordinario permeado y bajo consumo de energía, es decir, baja presión, lo cual le confiere a esta familia de productos se los más utilizados en Sistemas de Ósmosis Inversa, ya que pueden trabajar con **aguas solobres de pozo, red municipal, superficiales, etc.**

Su excelente versatilidad y garantía de alta pureza, hace que las membranas serie ULP sean la mejor opción para importantes aplicaciones tales como:

- Potabilización de agua.
- Reducción de Silice.
- Reducción moderada de TOC.
- Recuperación de efluentes en Post-Tratamientos.
- Alimentación de agua de ósmosis para calderas para disminuir la frecuencia de purgas.
- Reducción de Arsénico, Flúor, Boro.

### CARACTERÍSTICAS

#### DESEMPEÑO

Flujo promedio de permeado: 850 GPD (3.2 m3)  
Rechazo Estable de sales: 99.5%  
Mínimo Rechazo: 99.0%

#### TIPO

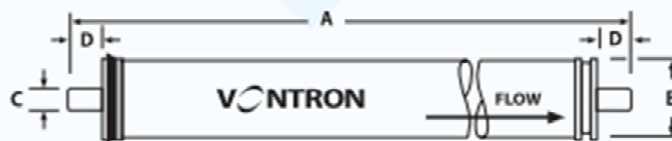
Configuración: Enrollada en espiral  
Polímero de Membrana: Compuesto de Poliamida  
Área Nominal de Membrana: 36 (3.3) ft<sup>2</sup>

#### LIMITES Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

Presión máxima de operación: 600 psi (41 bar)  
Flujo máximo de alimentación: 75 GPM  
Temperatura máxima del agua de alimentación: 45° C (113° F)  
Máximo Índice de Densidad de Sedimentos (SDI) en agua de entrada: 5  
Máxima concentración de Cloro Libre: <0.1 ppm  
Flujo de permeado para cualquier elemento: 5:1

**Máxima caída de presión por elemento: 15 psi (1.03 bar)**

\* Los límites mostrados son para uso general. Los valores pueden ser más conservadores en proyectos especiales para asegurar el desempeño y vida más larga de la membrana



Notified to Europe requirements  
by Chinese Center for Disease  
Control & Prevention.

MODELO	A*	B*	C*	D*	AVERAGE REJECTION (%)	NOMINAL PRODUCTION (gpd)	NOMINAL PRODUCTION (m <sup>3</sup> /d)	ACTIVE AREA (ft <sup>2</sup> )	ACTIVE AREA (m <sup>2</sup> )
ULP31-4021	533.4mm (21")	99.7mm (3.9")	19.1mm (0.75")	26.7mm (1.05")	99,5	850	3.2	36	3.3

\*Dimensiones en mm [inch].

Nota: El flujo de permeado para membranas individuales puede variar será dentro de un límite de tolerancia +/- 15% de su producción nominal. Cada elemento se suministrará con un sello tipo V y un interconector con sus rings. Todas las membranas han sido probadas y tratadas con una solución de Hidrosulfato de Sodio para propósitos de almacenamiento, empaquetadas en una bolsa de polietileno cerrada al vacío y colocadas en una caja de cartón. Se recomienda lavar la membrana con agua de Ósmosis Inversa con un 1% de Hidrosulfato de Sodio. La información y datos proporcionados son correctos y no es una garantía, dados los métodos y condiciones de uso de nuestras membranas fuera de nuestro control. El usuario es 100% responsable de los daños que pueda sufrir la membrana si esta es utilizada en aplicaciones diferentes o con agua fuera de las características haya proporcionado originalmente.



Water Technologies de México, S. A. de C. V. Serafin Peña # 408 Sur, Centro 64000 Monterrey, N. L. México T. 01 (81) 8344 5050  
www.tratamientosdeagua.com ventas@tratamientosdeagua.com