

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL PRETRATAMIENTO DE LA  
CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA EN EL  
TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO DE DOÑA JUANA

ALEJANDRO RODRÍGUEZ MACÍAS  
MARÍA CAMILA CASTAÑEDA BELTRÁN

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL PRETRATAMIENTO DE LA  
CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA EN EL  
TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO DE DOÑA JUANA

ALEJANDRO RODRÍGUEZ MACÍAS  
MARÍA CAMILA CASTAÑEDA BELTRÁN

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

---

Ing. David Triviño Rodríguez

Bogotá D. C., febrero de 2020

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingeniería

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIA

*En primera instancia a Dios que guio cada paso y decisión en este arduo camino, permitiéndome encontrar siempre las mejores soluciones y la mejor disposición en mi proyecto de vida. A mis padres que han sido mi apoyo incondicional, quienes me han brindado educación, amor y sabiduría, creyendo siempre mis capacidades y logros. Mi abuela que es mi ángel y la persona que siempre llevaré en mi corazón. Mis hermanos que día a día estuvieron presentes durante esta hermosa etapa. Mi novio que estuvo desde el inicio de este proyecto, que tuvo tranquilidad, paciencia y siempre estuvo apoyándome en todo momento. Mis amigos, compañeros y maestros de estudio que con su cariño me acompañaron lo largo de estos 5 años, forjándome personal y profesionalmente.*

*María Camila Castañeda Beltrán*

*A mis padres, mi hermano, en especial a mi abuelita materna quien ha brindado a mi vida todo su amor, paciencia, sus buenos consejos, a mis tíos y primos, ellos me ofrecieron su apoyo incondicional cuando tomé la decisión de estudiar Ingeniería Química, sin duda alguna han sido mi pilar, mi soporte, pero sobre todo el impulso que me lleva hoy a levantar mis brazos y con mi corazón lleno de alegría digo: GRACIAS DIOS por permitir cumplir el sueño que me propuse alcanzar, y que estoy haciendo realidad.*

*Alejandro Rodríguez Macías*

## AGRADECIMIENTOS

Al Relleno Sanitario Doña Juana darnos la oportunidad y permitirnos desarrollar satisfactoriamente el proyecto de grado. A los encargados de la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana. A la Universidad de América por aportar los conocimientos y herramientas necesarias para la culminación de este proyecto. A nuestras familias por el apoyo incondicional en el transcurso de este proyecto.

María Camila Castañeda Beltrán

Agradezco primero a Dios, por haberme iluminado el camino y por darme la sabiduría para sacar adelante mi carrera profesional. A mis padres y a mi hermano porque han sido pieza clave en este proceso, gracias infinitas por su amor, por brindarme la mano en los momentos difíciles, por impulsarme día tras día con sus palabras de ánimo, por estar siempre pendientes de todo lo que tuviera que ver con mi integridad física, emocional y académica, gracias a Dios por haberme dado esta increíble familia: responsables, incondicionales y amorosos; ellos han depositado su fe y confianza en mí y hoy soy lo que soy gracias a ellos.

No puedo dejar pasar al Colegio Seminario San Juan Apóstol de Facatativá, pues inculcaron en mí: responsabilidad, respeto a la diferencia, solidaridad, honestidad y sobre todo a trabajar todos los días de nuestra vida, por la excelencia.

Agradezco a mis compañeros y amigos de la Universidad por haberme dado la oportunidad de compartir con ellos, guardaré los más lindos recuerdos de cada momento vivido dentro y fuera de las aulas, recuerdos que quedarán marcados hasta el último aliento de mi existencia, con una huella imborrable en mi mente y en mi corazón.

Reconocimiento muy especial al personal de la Planta Tratamiento de Lixiviados Relleno Sanitario Doña Juana, por habernos permitido desarrollar nuestro trabajo de grado allí.

Por último, con sentimiento de profundo respeto, admiración, afecto y absoluto agradecimiento a mis profesores, pues ellos fueron la parte primordial de este sueño que hoy hago realidad, El Todo Poderoso los bendiga siempre, infinitas gracias por su paciencia, por su tiempo, gracias por hacer de nosotros los mejores discípulos, y tengan la certeza, que todo lugar que nuestros pies pisen, llevaremos con mucho orgullo y dejaremos en alto el nombre de nuestra querida: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA

Alejandro Rodríguez Macías

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>25</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>26</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>27</b>
1.1 RELLENO SANITARIO	27
1.1.1 Impactos en rellenos sanitarios	27
1.2 LIXIVIADOS	30
1.2.1 Características de los lixiviados	30
1.2.2 Factores influyentes en la generación de lixiviados	32
1.2.3 Composición básica de los lixiviados	33
1.3 TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS EN INGENIERÍA	34
1.3.1 Sumas Ponderadas	34
1.4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LIXIVIADOS	35
1.4.1 Definición	35
1.4.2 Variables en el proceso fisicoquímico	35
1.4.3 Operaciones Físicas Unitarias	36
1.4.4 Procesos Químicos Unitarios	36
1.4.5 Test de Jarras.	36
1.5 COAGULACIÓN	37
1.5.1 Definición	37
1.5.2 Factores influyentes en la Coagulación	37
1.5.3 Clases de Coagulantes	38
1.6 FLOCULACIÓN	38
1.6.1 Definición	38
1.6.2 Factores que influyen en la Floculación	39
1.7 TRATAMIENTOS ANAERÓBIOS	39
1.8 TRATAMIENTOS AERÓBIOS	40
1.9 OXIDACIÓN QUÍMICA	41
1.10 EVAPORACIÓN DE LIXIVIADOS	42
1.11 OSMOSIS INVERSA	43
1.11.1 Definición	43
1.11.2 Principio de Operación de Osmosis Inversa	43
1.11.3 Aplicación de osmosis inversa en lixiviados	44
1.11.4 Características de las membranas semi-permeables	45
1.11.5 Factores del agua de alimentación	45
<b>2. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO DOÑA JUANA</b>	<b>47</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PTL	47
2.1.1 Generalidades	47
2.1.2 Unidades de tratamiento de lixiviado	48
2.1.3 Función de cada unidad en el tratamiento fisicoquímico	55



2.2 CAUDAL DE LIXIVIADO EN LA PTL	56
2.2.1 Zonas de generación	56
2.2.2 Cálculo de caudal	58
2.2.3 Caudal anual de la PTL	58
2.2.4 Comportamiento de caudal en Fisicoquímico 3 y 1	61
2.3 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL LIXIVIADO	62
2.3.1 DQO, DBO, SST y Nitrógeno Amoniacal	62
2.3.2 pH	65
2.4 ESPECIFICACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADO CON TÉCNICA DE OSMOSIS INVERSA	67
2.4.1 Descripción de la planta de osmosis inversa	67
2.4.2 Especificaciones técnicas del sistema de osmosis inversa	68
2.5 VERIFICACIÓN DE UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	69
<b>3. SELECCIONAR UNA ALTERNATIVA DE PRETRATAMIENTO ACORDE AL DIAGNÓSTICO PARA LA ALIMENTACIÓN DE ÓSMOSIS INVERSA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS</b>	<b>73</b>
3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	73
3.1.1 Técnica para la toma de decisiones	73
3.1.2 Alternativas y criterios de evaluación	74
3.2 DESARROLLO A NIVEL EXPERIMENTAL	79
3.2.1 Test de Jarras para el ensayo 1	81
3.2.2 Test de Jarras para el ensayo 2	85
3.2.3 Test de Jarras para ensayo 3	90
3.2.4 Test de Jarras con ajuste de pH	93
<b>4. DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA</b>	<b>95</b>
4.1 DIAGRAMA DE EQUIPOS	95
4.1.1 Pondaje 7	96
4.2.1 Secador de Lodos	99
4.2.3 Reactores Secuenciales por Lote (SBR)	101
4.2.4 Pondajes Oriental y Occidental	106
4.2.5 Sistemas de Tratamiento Fisicoquímico 3 y 1	107
<b>5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE PRETRATAMIENTO A ESCALA REAL</b>	<b>111</b>
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN	111
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN	112
5.2.1 Costos de Insumos	112
5.2.2 Costos de energía eléctrica	113
5.2.3 Costos por mantenimiento	113
5.2.4 Costos por mano de obra	114
5.2.5 Costos por Caracterizaciones	114
5.3 COSTOS TOTALES	117

5.3.1 Costos totales proyección a 5 años	117
5.4 SANCIONES Y MULTAS	118
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>122</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>132</b>

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Valores de vertimiento de resolución 631 de 2015	133
<b>Anexo B.</b> Capacidad instalada de las unidades de tratamiento	134
<b>Anexo C.</b> Análisis estadístico para la determinación de caudales de lixiviado	139
<b>Anexo D.</b> Consolidado mensual de pH y calidad de vertimiento año 2018	142
<b>Anexo E.</b> Ficha técnica de la membrana de ósmosis inversa	145
<b>Anexo F.</b> Diagrama para la determinación de la alcalinidad del lixiviado	148
<b>Anexo G.</b> Ficha de seguridad del Cloruro Férrico	149
<b>Anexo H.</b> Ficha de seguridad de la Soda Cáustica	153
<b>Anexo I.</b> Ficha de seguridad de la Poliacrilamida.	159
<b>Anexo J.</b> Ficha de seguridad y ficha técnica del PAC	164
<b>Anexo K.</b> Demanda química de oxígeno SBR Norte	170
<b>Anexo L.</b> Demanda química de oxígeno SBR Sur	171
<b>Anexo M.</b> Demanda bioquímica de oxígeno SBR Norte	172
<b>Anexo N.</b> Demanda bioquímica de oxígeno SBR Norte	173
<b>Anexo O.</b> SST SBR Norte	174
<b>Anexo P.</b> SST SBR Sur	175
<b>Anexo Q.</b> SST Fisicoquímico 3	176
<b>Anexo R.</b> SST Fisicoquímico 1	177
<b>Anexo S.</b> Nitrógeno Amoniacal SBR Norte	178
<b>Anexo T.</b> Plano sistemas existentes Relleno Doña Juana	179
<b>Anexo U.</b> Caracterización Fisicoquímica ASINAL	180
<b>Anexo V.</b> Registro fotográfico del test de jarras	181
<b>Anexo W.</b> Técnicas de caracterización de DBO, DQO, SST y NH <sub>4</sub> -NH <sub>3</sub>	182

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Impactos específicos de un relleno sanitario	28
<b>Cuadro 2.</b> Composición básica de los lixiviados	33
<b>Cuadro 3.</b> Unidad de tratamiento: Pondaje 7	48
<b>Cuadro 4.</b> Unidad de tratamiento: Secador de lodos	49
<b>Cuadro 5.</b> Unidad de tratamiento: Reactores SBR sur y norte	49
<b>Cuadro 6.</b> Unidad de tratamiento: Pondaje Oriental y Occidental	50
<b>Cuadro 7.</b> Unidad de tratamiento: Fisicoquímico 3-1	50
<b>Cuadro 8.</b> Unidad de tratamiento: Sedimentador Terciario y Primario	51
<b>Cuadro 9.</b> Unidad de tratamiento: Pondaje Zona II	52
<b>Cuadro 10.</b> Unidad de tratamiento: Caja de entrada PTL	53
<b>Cuadro 11.</b> Unidad de tratamiento: Pre desnitrificador	53
<b>Cuadro 12.</b> Unidad de tratamiento: Zanjón de oxidación oriental y occidental	54
<b>Cuadro 13.</b> Unidad de tratamiento: Post desnitrificador	54
<b>Cuadro 14.</b> Unidad de tratamiento: Sedimentador secundario	54
<b>Cuadro 15.</b> Verificación de unidades de tratamiento de PTL	70
<b>Cuadro 16.</b> Calificación de los criterios para selección de alternativas	76
<b>Cuadro 17.</b> Características de Coagulantes	80
<b>Cuadro 18.</b> Características de nuevos coagulantes	90
<b>Cuadro 19.</b> Afluentes a unidades SBR	103

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Suma de productos de los diferentes criterios	34
<b>Ecuación 2.</b> Reacción de abstracción de hidrógeno	42
<b>Ecuación 3.</b> Reacción de la adición a la estructura del contaminante	42
<b>Ecuación 4.</b> Reacción de transferencia de carga	42
<b>Ecuación 5.</b> Determinación porcentaje de Remoción	83
<b>Ecuación 6.</b> Determinación de Alcalinidad	88
<b>Ecuación 7.</b> Factor de Dilución	89
<b>Ecuación 8.</b> Caudal medio de aguas residuales	97
<b>Ecuación 9.</b> $Q_m$ en $m^3/L$	97
<b>Ecuación 10.</b> Altura efectiva	97
<b>Ecuación 11.</b> Velocidad de asentamiento	98
<b>Ecuación 12.</b> Área superficial	98
<b>Ecuación 13.</b> Carga hidráulica	98
<b>Ecuación 14.</b> Volumen carga hidráulica	98
<b>Ecuación 15.</b> Volumen tiempo de retención	101
<b>Ecuación 16.</b> Concentración DBO de entrada	103
<b>Ecuación 17.</b> Caudal de entrada mínimo	104
<b>Ecuación 18.</b> $Q_{dmin}$ en L/s	104
<b>Ecuación 19.</b> Caudal de entrada máximo	105
<b>Ecuación 20.</b> $Q_{dmáx}$ en L/s	105
<b>Ecuación 21.</b> Caudal entrada mínimo según carga volumétrica	105
<b>Ecuación 22.</b> $Q_{dminV}$ en L/s	105
<b>Ecuación 23.</b> Caudal de entrada máximo según carga volumétrica	106
<b>Ecuación 24.</b> $Q_{dmáxV}$ en L/s	106
<b>Ecuación 25.</b> Conversión de HP a KW	113
<b>Ecuación 26.</b> Estimación de costo energético por mes	113
<b>Ecuación 27.</b> Estimación de costo $m^3$ de agua por mes	113
<b>Ecuación 28.</b> Importancia de la afectación	119
<b>Ecuación 29.</b> Valor monetario de la importancia de la afectación	119

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Fases de la generación de lixiviados	31
<b>Figura 2.</b> Componentes principales de un Reactor UASB	40
<b>Figura 3.</b> Tanques de aireación en aguas residuales	41
<b>Figura 4.</b> Evaporación de lixiviados	43
<b>Figura 5.</b> Esquema de las corrientes de flujo en una membrana	45
<b>Figura 6.</b> Diagrama Planta de tratamiento de lixiviados	48
<b>Figura 7.</b> Pondaje 7	48
<b>Figura 8.</b> Secador de Lodos	49
<b>Figura 9.</b> Reactores SBR	50
<b>Figura 10.</b> Pondaje Oriental y Occidental	50
<b>Figura 11.</b> Fisicoquímico 3 y 1	50
<b>Figura 12.</b> Sedimentador Terciario y Primario	51
<b>Figura 13.</b> Pondaje Zona II	52
<b>Figura 14.</b> Caja de entrada PTL	53
<b>Figura 15.</b> Pre desnitrificador	53
<b>Figura 16.</b> Zanjón de Oxidación Oriental y Occidental	54
<b>Figura 17.</b> Post desnitrificador	54
<b>Figura 18.</b> Sedimentado secundario	54
<b>Figura 19.</b> Zona VII, Zona VII y Optimización	56
<b>Figura 20.</b> Zona I y Zona II Relleno Sanitario Doña Juana	57
<b>Figura 21.</b> Zona Biosólidos y Zona Mansión	57
<b>Figura 22.</b> Zona IV Relleno Sanitario Doña Juana	58
<b>Figura 23.</b> Balance de masa en planta de ósmosis inversa	67
<b>Figura 24.</b> Línea A Tratamiento Fisicoquímico	74
<b>Figura 25.</b> $\text{FeCl}_3$	80
<b>Figura 26.</b> $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	80
<b>Figura 27.</b> $\text{Ca}(\text{OH})_2$	80
<b>Figura 28.</b> Diagrama de Flujo Ensayo 1	81
<b>Figura 29.</b> Diagrama de Flujo Ensayo 2	85
<b>Figura 30.</b> $\text{FeCl}_3$	90
<b>Figura 31.</b> $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	90
<b>Figura 32.</b> PAC	90
<b>Figura 33.</b> Diagrama de un Sedimentador	96
<b>Figura 34.</b> Diagrama de un Sedimentador para Tratamiento de Aguas	99
<b>Figura 35.</b> Diagrama de Reactores Aireados	102
<b>Figura 36.</b> Diagrama de Unidad Clarificadora de Aguas (Coag-Floc).	108

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
<b>Gráfica 1.</b> Precipitación promedio mensual del año 2018	60
<b>Gráfica 2.</b> %Remoción vs Dosificación de Coagulante Ensayo 1	84
<b>Gráfica 3.</b> %Remoción vs Dosificación de Coagulante Ensayo 2	87
<b>Gráfica 4.</b> %Remoción vs Dosificación de Coagulante Ensayo 3	92
<b>Gráfica 5.</b> Línea de Tratamiento Fisicoquímico de alternativa propuesta	95

## LISTA DE ABREVIATURAS

- DQO:** Demanda química de oxígeno.  
**DBO5:** Demanda bioquímica de oxígeno (incubación 5 días a 20°C).  
**NH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>:** Nitrógeno Amoniacal.  
**NTU:** Número de unidades de turbiedad.  
**PAC:** Hidroxicloruro de aluminio.  
**OD:** Oxígeno disuelto.  
**SST:** Sólidos suspendidos totales.  
**COT:** carbono orgánico total.  
**OI:** osmosis inversa.  
 **$\bar{X}$ :** Promedio aritmético.  
**NH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>:** Nitrógeno Amoniacal.



## LISTA DE SIGLAS

*PTL*, Planta de Tratamiento de Lixiviados.  
*CGR*, Centro de Gerenciamiento de Residuos Doña Juana.  
*SBR*, *Secuencial Batch Reactor*.  
*Me*, Mediana.  
*Mo*, Moda.  
*S*, Desviación Estándar.  
*Cv*, Coeficiente de Variación.  
*Qm*, Caudal medio de aguas residuales.  
*Tr*, Tiempo de retención.  
*h*, Altura efectiva.  
*Vs*, Velocidad de asentamiento.  
*As*, Área superficial.  
*Qh*, Carga hidráulica.  
*VQh*, Volumen de carga hidráulica.  
*VTr*, Volumen de tiempo de retención.  
 $M_{DBO_i}$ , Concentración de DBO de entrada.  
 $X_{SSVLM}$ , Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezclado.  
*F/M*, Relación alimento microorganismo.  
*V*, Volumen del Reactor.  
*Qdmín*, Caudal mínimo de entrada.  
*Qdmáx*, Caudal máximo de entrada.  
*Lv*, Carga volumétrica.  
 $QdmínV$ , Caudal de entrada mínimo según carga volumétrica.  
 $QdmáxV$ , Caudal de entrada máximo según carga volumétrica.

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Parámetros SBR Norte y Sur	49
<b>Tabla 2.</b> Parámetros Pondaje oriental y occidental	50
<b>Tabla 3.</b> Parámetros fisicoquímicos 3 -1	51
<b>Tabla 4.</b> Parámetros sedimentador terciario y primario	51
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de Pondaje 2.1-2.2	52
<b>Tabla 6.</b> Consolidado de caudales de lixiviados por mes en la PTL	59
<b>Tabla 7.</b> Caudal de entrada a fisicoquímico 3	61
<b>Tabla 8.</b> Caudal de entrada a fisicoquímico 1	61
<b>Tabla 9.</b> Caracterización fisicoquímica en salida de unidades de tratamiento	64
<b>Tabla 10.</b> Consolidado % de Eficiencia en remoción de SBR Norte	64
<b>Tabla 11.</b> Consolidado % de Eficiencia en remoción de SBR Sur	64
<b>Tabla 12.</b> Consolidado mensual de pH año 2018	65
<b>Tabla 13.</b> Ficha técnica membrana (OI) vs calidad actual de lixiviado	68
<b>Tabla 14.</b> Valoración de criterios para evaluación de alternativas	76
<b>Tabla 15.</b> Ponderación de criterios de selección	77
<b>Tabla 16.</b> Definición de escala de evaluación para cada criterio	77
<b>Tabla 17.</b> Matriz de Selección: Sumas Ponderadas	78
<b>Tabla 18.</b> Listado de alternativas por puntuación	78
<b>Tabla 19.</b> Resultados primer ensayo	83
<b>Tabla 20.</b> Resultados segundo ensayo	86
<b>Tabla 21.</b> Dosis de coagulante para cada jarra, SLN madre al 10%	89
<b>Tabla 22.</b> Resultados tercer ensayo	91
<b>Tabla 23.</b> Comparación de parámetros de las membranas de ósmosis inversa	92
<b>Tabla 24.</b> Resultados con ajuste de pH a la mejor jarra del ensayo 3	93
<b>Tabla 25.</b> Caudales Pondaje 7 a diferentes unidades	97
<b>Tabla 26.</b> Capacidad instalada Pondaje Secador de Lodos	100
<b>Tabla 27.</b> Caudales Secador de lodos a diferentes unidades	101
<b>Tabla 28.</b> Caudales Reactores SBR a diferentes unidades	103
<b>Tabla 29.</b> Tiempo de llenado por ciclo	106
<b>Tabla 30.</b> Caudales Pondaje Oriental y Occidental a diferentes unidades	107
<b>Tabla 31.</b> Parámetros básicos de la cámara de Coagulación	108
<b>Tabla 32.</b> Especificaciones de Paletas de Coagulación	109
<b>Tabla 33.</b> Parámetros básicos de la cámara de Floculación	109
<b>Tabla 34.</b> Especificaciones de paletas de Floculación	109
<b>Tabla 35.</b> Costos de inversión de equipos	108
<b>Tabla 36.</b> Costos de insumos	109
<b>Tabla 37.</b> Costos de energía eléctrica	113
<b>Tabla 38.</b> Costos de mano de obra	114
<b>Tabla 39.</b> Costos caracterización	115
<b>Tabla 40.</b> Costos totales	117
<b>Tabla 41.</b> Costos totales Proyección a 5 años	118

## GLOSARIO

**AGUAS RESIDUALES:** son todas aquellas aguas que han sido usadas en los entornos domésticos y urbanos, en las industrias y ganaderías, así como las aguas naturales. De este modo, nos encontramos con que las aguas residuales son agua, pero, además de agua, también contienen una gran cantidad de elementos contaminantes, ya sean sólidos o disueltos en la misma agua<sup>1</sup>.

**ALCALINIDAD:** es la capacidad que tiene el lixiviado para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden llegar a ser tituladas.

**CÁMARA DE MEZCLA:** unidad de tratamiento en donde se adicionan los coagulantes y floculantes para llevar a cabo las reacciones de coagulación y floculación.

**COAGULACIÓN:** es la desestabilización de partículas por adición de compuestos apropiados, para la remoción de material disuelto y formar un precipitado con estas partículas, es uno de los procesos más importantes en el tratamiento del agua, ya que remueve grandes cantidades de material tanto orgánico como inorgánico disueltos en el agua.

**COAGULANTES:** es una sustancia utilizada en el proceso de coagulación, puede ser química o de origen natural. Su función es desestabilizar las partículas contaminantes para facilitar la remoción de las mismas.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable. También se define como la cantidad de oxígeno en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en función del tiempo y temperatura especificados.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual<sup>2</sup>.

**EVAPORACIÓN:** técnica para la gestión de lixiviados en donde se utilizan estanques recubiertos y se evacua en los meses cálidos.

**FLOCULACIÓN:** es la agregación de las partículas, que su superficie eléctrica fue reducida o desestabilizada; y productos de precipitación desarrollados por la adición de coagulantes que formaron partículas más grandes, denominadas “floc”.

---

<sup>1</sup> Ecología Verde: ¿Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican? [sitio web]. España; Enrique Arriols; 6 agosto de 2018. [Consulta: 08 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>

<sup>2</sup> Demanda química de oxígeno y materia orgánica [en línea]. Argentina: Hanna Instruments. [Consulta: 08 febrero 2020]. Disponible en: [http://www.hannaarg.com/pdf/002DQO\\_notas\\_tecnica.pdf](http://www.hannaarg.com/pdf/002DQO_notas_tecnica.pdf)

**FLÓCULOS:** sólidos en suspensión de los lixiviados que pueden ser eliminados en un tratamiento secundario.

**GEOMEMBRANA:** láminas geo sintéticas dispuestas en un espacio para estanquidad de una superficie, generalmente están hechas de polietileno de alta y baja densidad.

**INFILTRACIÓN:** acción relacionada a la escorrentía superficial y subterránea provocada por las precipitaciones.

**LIXIVIADO:** es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación<sup>3</sup>.

**LODOS ACTIVADOS:** proceso de tratamiento biológico de aguas residuales en un ambiente aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque por medio de unos difusores de aire que contiene alta concentración de microorganismos.

**MATERIA ORGÁNICA:** es toda la materia que está compuesta químicamente por carbono entre sus átomos fundamentales, está relacionada a la vida.

**MATRIZ DE SELECCIÓN:** técnica para clasificar jerárquicamente alternativas o soluciones propuestas basadas en criterios específicos.

**MÉTODO NEFELOMÉTRICO<sup>4</sup>:** es aplicado para determinar la turbidez en el agua, por la precisión, sensibilidad y fácil aplicabilidad. Se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra caracterizada y la dispersada por una solución patrón, donde a mayor intensidad de la luz dispersa, la turbidez será más intensa

**NITRÓGENO AMONIACAL:** es el resultado de la primera transformación del nitrógeno orgánico. Esta forma del nitrógeno es soluble en agua y queda retenido por el poder absorbente del suelo.

**OSMOSIS INVERSA:** tratamiento de sólidos disueltos en agua que al estar presurizada los retiene en una membrana permitiendo solo el paso de agua, esta presión debe ser superior al de la presión osmótica.

**OXIDACIÓN BIOLÓGICA:** proceso biológico en el cual se pueden tratar lixiviados eliminando un porcentaje considerable de su alta carga orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes.

---

<sup>3</sup> UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS UAESP. [sitio web]. Bogotá: UAESP. [Consulta: 07 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.uaesp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/lixiviado>

<sup>4</sup> CARPIO, Tania. Turbiedad por Nefelometría. [en línea]. Bogotá D.C.: IDEAM, 2007. [Consulta: 07 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

**PERMEADO:** corriente que atraviesa la membrana y queda libre de sólidos disueltos tales como minerales, materia orgánica, además de microorganismos.

**pH:** Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución.

**PONDAJE:** lugar específico para la recolección de lixiviados en un relleno sanitario. Son principalmente piscinas recubiertas con geomembrana para que dichos fluidos no se dispersen a terrenos aledaños.

**RECHAZO:** efluente con altas concentraciones de sales, provenientes de osmosis inversa y pueden producir salinización del suelo donde se disponen.

**RELLENO SANITARIO:** un relleno sanitario es uno de los principales medios para tratar residuos sólidos de zonas municipales; hay generación de gases como metano y dióxido de carbono al igual que de aguas residuales<sup>5</sup>.

**SBR (Reactores secuenciales por batch):** son reactores discontinuos en donde se llevan a cabo tres etapas principalmente: reacción, aeración y clarificación.

**SECADOR DE LODOS:** unidad con la función principal de reducir el peso de los lodos, se crea mediante la evaporación del agua que existe en estos.

**SEDIMENTACIÓN:** proceso mediante el cual la materia orgánica o la materia putrescible precipita.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST):** parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua, indica la cantidad de sólidos (mg/L) presentes en suspensión.

**SUBPRODUCTOS:** es un producto obtenido y se considera como secundario y algunas veces indeseado.

**TEST DE JARRAS<sup>6</sup>:** procedimiento para la simulación a escala laboratorio de la coagulación y floculación en el tratamiento de agua, se realiza para indicar la concentración óptima del coagulante y anticipar las condiciones de operación.

**TRATAMIENTO PRIMARIO:** tratamiento en el cual se remueve una porción de los sólidos suspendidos y la materia orgánica del agua residual.

**TRATAMIENTO SECUNDARIO:** tratamiento encargado directamente de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

---

<sup>5</sup> WANG, Ning, et al. Investigation of volatile methyl siloxanes in biogas and the ambient environment in a landfill. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES. [En línea]. May 2020. periodicidad 91 p. 54-61 [Consultado 07 febrero 2020]. ISSN 1001-0742. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100107422030005X>

<sup>6</sup> Cabrera Bermúdez, Xiomara; Fleites Ramírez, Marisol; Contreras Moya, Ana M. Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del granma" a escala de laboratorio. Tecnología Química. [en línea]. Santiago de Cuba (Cuba): Universidad del Oriente, vol. XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 64-73. [Consulta: 07 febrero 2020]. ISSN 0041-8420. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

**TURBIDEZ:** propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz incidente sea reemitida y no transmitida a través de ella; representa la relación entre la luz incidente y la sustancia diseminante.

**VACTOR:** sistema de lavado y succión utilizado para mantenimiento de limpieza de pozos, sumideros y destape de cañerías.

**VALENCIA:** número de posibilidades de combinación que tiene un átomo para lograr constituir un compuesto.

## RESUMEN

El proyecto de grado partió de un diagnóstico de las unidades del Relleno Sanitario Doña Juana. Se hizo énfasis en la línea de tratamiento fisicoquímico en la que se basa nuestro trabajo de grado. En el diagnóstico se hizo el muestreo del lixiviado para determinar los parámetros que actualmente no se están cumpliendo en la planta, teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente: Resolución 631 del 2015. Además, se verificó el funcionamiento de las unidades actuales de tratamiento realizando análisis estadísticos según la capacidad volumétrica; se hicieron análisis del comportamiento del pH y de los parámetros como DBO, DQO y SST.

Seguido de esto, se procedió a determinar por medio de una matriz de selección de alternativas multicriterio (Método de Sumas Ponderadas), la unidad de pretratamiento que sea más adecuada para el tratamiento del lixiviado y que permita cumplir con los parámetros críticos de las fichas técnicas de las membranas de osmosis inversa, con el fin de que, al finalizar el proceso, el vertimiento de esta agua cumpla con los parámetros medioambientales. Se realizó luego la experimentación del sistema de Tratamiento Fisicoquímico (Coagulación-Floculación) como la mejor alternativa de pretratamiento por medio de un análisis de tratabilidad por Test de Jarras. La dosificación de Cloruro Férrico 3500mg/L al 10% se consideró como la mejor al obtener un porcentaje de remoción de turbidez del 55.18% respecto a los otros coagulantes. Se analizan gráficas de turbidez por cada dosificación y además se concluye que los parámetros críticos de DBO, DQO y SST cumplen satisfactoriamente con los valores estipulados por las membranas de ósmosis inversa.

Habiendo hecho la parte experimental, se procedió a hacer la determinación de especificaciones técnicas y requerimientos de área de la alternativa. Se realizó en compañía del grupo CGR Doña Juana, laboratorio encargado de la planta de Tratamiento de Lixiviados. Para finalizar, se realiza el análisis a nivel financiero con el fin de tener en cuenta costos de inversión y de operación de la alternativa contemplada en el desarrollo del proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** Lixiviados, Ósmosis Inversa, Corriente de Rechazo, Relleno Sanitario, Caracterización, Pretratamiento.

## ABSTRACT

The degree project was based on a diagnosis of the Doña Juana Landfill units. Emphasis was placed on the physicochemical treatment line on which our grade work is based. In the diagnosis, the leachate was sampled to determine the parameters that are currently not being met in the plant, taking into account the current environmental regulations: Resolution 631 of 2015. In addition, the operation of the current treatment units was verified by performing analysis statistics according to volumetric capacity; analysis of the behavior of the Ph and the parameters such as BOD, COD and OSH were made.

Following this, we proceeded to determine through a matrix of selection of multi-criteria alternatives (Weighted Sum Method), the pretreatment unit that is most suitable for the treatment of leachate and that allows to comply with the critical parameters of the technical data sheets of the reverse osmosis membranes, so that, at the end of the process, the discharge of this water meets the environmental parameters. The experimentation of the Physicochemical Treatment System (Coagulation-Flocculation) was then carried out as the best pretreatment alternative through a treatability analysis by Jarras Test. The dosage of Ferric Chloride 3500mg / L at 10% was considered the best when obtaining a turbidity removal percentage of 55.18% compared to the other coagulants. Turbidity graphs are analyzed for each dosage and it is also concluded that the critical parameters of BOD, COD and OSH satisfactorily comply with the values stipulated by reverse osmosis membranes.

Having done the experimental part, the technical specifications and area requirements of the alternative were determined. It was carried out in the company of the CGR Doña Juana group, a laboratory in charge of the Leachate Treatment plant.

Finally, the degree work concluded with the analysis of both investment and operating costs of the units that must be implemented in the plant to guarantee the correct treatment of the leachate. Emphasis was placed mainly on reverse osmosis membranes, since these are the ones that must be safeguarded from constant maintenance and replacement.

**KEY WORDS:** Leaching, Reverse Osmosis, Rejection Current, Sanitary Landfill, Characterization, Pretreatment



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la tecnología de ósmosis inversa presenta una gran cantidad de aplicaciones entre las que se encuentran la obtención de agua potable (40%), desalinización de agua de mar y agua salobre (50%) y como sistemas de descontaminación de aguas urbanas e industriales (10%). En cualquiera que sea su aplicación, este proceso requiere de una calidad en su corriente de alimentación que permita un rendimiento adecuado del proceso<sup>7</sup>. Es por esto, que se considera el pretratamiento como parte fundamental para minimizar el ensuciamiento de las membranas permitiendo el funcionamiento óptimo de las mismas.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en el Relleno Doña Juana. Ésta hará parte de la planta de tratamiento de Lixiviados (PTL), mediante la implementación de una nueva fase cuyo costo se estima, supere los 80.000 millones de pesos, y con la cual se pretende eliminar entre un 99-99.5% de la carga contaminante en los líquidos. Puesto que actualmente la PTL solo logra remover el 70% de la carga contaminante de los lixiviados<sup>8</sup>. Uno de los procesos previos al tratamiento con ósmosis inversa, es una línea de tratamiento, principalmente fisicoquímico, que favorezca a la disminución de parámetros del lixiviado y que cumpla con los parámetros críticos de la ficha técnica de las membranas para así evitar el ensuciamiento y la vida útil de las mismas.

El no solucionar este problema, impide a la empresa seguir desarrollando sus actividades con tranquilidad, debido a que estarían sujetos a sanciones bastante graves por parte de entidades ambientales que supervisen el buen funcionamiento de la planta; no solo por incumplir con los parámetros del vertimiento del lixiviado, sino también respecto a costos operativos al saber que se sigue operando la planta sin tener mejores % de remoción del efluente.

El trabajo de grado concluyó con un análisis financiero de los costos tanto de inversión como de operación de las unidades que se deben implementar en la planta para garantizar el correcto tratamiento del lixiviado. Se hizo énfasis principalmente en las membranas de ósmosis inversa, ya que, son éstas las que hay que salvaguardar de un mantenimiento y reemplazo constante.

---

<sup>7</sup> QUEVEDO, Noelia. Selección de alternativas de pretratamiento de ósmosis inversa. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

<sup>8</sup> ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. 37 Años más de vida útil tendrá el relleno sanitario Doña Juana. En ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. [Sitio Web]. [Consulta 15 de marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/temas-de-ciudad/habitat/se-podra-extender-la-vida-util-del-relleno-dona-juana>

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una alternativa para el pretratamiento de la corriente de alimentación del proceso de ósmosis inversa en el tratamiento de lixiviados del relleno de Doña Juana.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el sistema actual de tratamiento de lixiviados del relleno Doña Juana.
- Seleccionar una alternativa de pretratamiento acorde al diagnóstico para la alimentación de ósmosis inversa en el tratamiento de lixiviados.
- Determinar las especificaciones y requerimientos técnicos de la alternativa propuesta.
- Realizar el análisis de costos de la implementación de la alternativa de pretratamiento a escala real.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 RELLENO SANITARIO

Según Cristancho, se puede decir que un relleno sanitario es un lugar seleccionado, diseñado y operado con el fin de controlar los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales; para lograr esto, se usan principios de ingeniería, los cuales ayudan a confinación y aislamiento de residuos sólidos en un área mínima con compactación de residuos.<sup>9</sup>

Dichos residuos sólidos tienen material orgánico, el cual, produce gases y líquidos contaminantes que se filtran por el suelo y deterioran el ambiente cercano a estos residuos, como lo son el suelo y el agua. Según Ulloa a medida que el suelo reduce la carga de contaminación, dependen de características físicas y químicas tales como porosidad, capacidad de intercambio de iones, así como la habilidad para absorber y precipitar los sólidos disueltos; y, bajo ciertas condiciones hidrológicas la filtración de los líquidos percolados (lixiviación), puede pasar a través del suelo no saturado, que se halla debajo de los rellenos y contaminar las aguas subterráneas.<sup>10</sup>

**1.1.1 Impactos en rellenos sanitarios.** En el cuadro 2, se muestran los principales impactos de un relleno sanitario en el ambiente. Es importante resaltar este cuadro para nuestro proyecto debido a que muestra un barrido general sobre cómo se debe hacer la recuperación de terrenos que hayan sido afectados negativamente ya sea por la deposición de residuos sólidos al igual que por infiltración de líquidos contaminantes a aguas tanto superficiales como subterráneas. Pero dentro de este marco general, sobresale lo concerniente a los lixiviados, ya que se necesita saber antes de atacar cualquier problemática, principalmente la composición de este material y los posibles riesgos que hay que tener en cuenta para poder planificar las intervenciones necesarias.

---

<sup>9</sup> CRISTANCHO MONTENEGRO, Diana Lucía. Estimación del efecto del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana sobre la calidad del agua del Río Tunjuelo y su posible tratamiento en la PTAR Canoas [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, 2013. [Consulta: 20 noviembre 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45405/1/52480760.2013.pdf>

<sup>10</sup> ULLOA, José. Los Rellenos Sanitarios. En: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. [sitio web]. Ecuador: LA GRANJA. Revista. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

**Cuadro 1.** Impactos específicos de un relleno sanitario

<b>Etapa</b>	<b>Ambiente físico</b>	<b>Ambiente biológico</b>	<b>Ambiente modificado por el ser humano.</b>
<b>1. Implantación</b>			
Elección del sitio	Contaminación ambiental	Alteración en áreas de interés ecológico	Empleo de segregadores y riesgos a la salud pública de los trabajadores
Relevamientos topográficos	No significativo	Impactos en la flora y fauna	Atracción de trabajadores de otras regiones
Sondeos	No significativo	Desequilibrio de ecosistemas e impactos moderados en la fauna	Impactos sobre la vivienda de la vecindad
Remoción de vegetación y preparación preliminar del sitio	Pérdida del suelo, erosión que resulta del desmonte no controlado y mayor sedimentación de los ríos	Pérdidas de vegetación y animales silvestres en el área ocupada	Accidentes laborales
Preparación del terreno	Contaminación de acuíferos		
Terraplenaje o accesos	Inestabilidad de las capas del suelo	Los accesos y tráfico de vehículos pueden impactar sobre la flora e impedir el movimiento de la fauna	Accidentes de trabajo
Nivelación y compactación	Generación de procesos erosivos y polvos		Generación de ruidos
Drenaje y cercas	Emisión de gases generados por la descomposición de desechos		Invasión de áreas por segregadores

**Cuadro 1. (Continuación)**

<b>Etapa</b>	<b>Ambiente físico</b>	<b>Ambiente biológico</b>	<b>Ambiente modificado por el ser humano.</b>
<b>2. Operaciones</b>			
Descarga y compactación	Generación de polvos	Generación de vectores	Problemas de salud por contacto con basura, el polvo es un irritante ocular que puede portar patógenos
Recubrimiento y paisajismo	Desfiguración del paisaje por el destroce de vegetación y excavaciones		
<b>3. Mantenimiento</b>			
Drenaje líquido y de gases	Deterioro de calidad de las aguas superficiales y subterráneas, contaminación del acuífero	La descomposición de los desechos produce gas metano, potencialmente explosivo y gases orgánicos potencialmente tóxicos	

Fuente: elaboración propia en base a ULLOA, José. Los Rellenos Sanitarios. En: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. [sitio web]. Ecuador: LA GRANJA. Revista. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>.

## 1.2 LIXIVIADOS

Según Cárdenas, el lixiviado es un líquido que se produce cuando el agua que proviene de la escorrentía superficial, lluvia o de la descomposición de los residuos se asocia con residuos, provocando que se exceda la capacidad de absorción de estos y aumentando la concentración de contaminantes. Dicho líquido tiene la capacidad de dirigirse a las aguas subterráneas, superficiales y al suelo próximo<sup>11</sup>.

**1.2.1 Características de los lixiviados.** La caracterización de un lixiviado está dada por las cantidades de materia orgánica (biodegradable, pero también refractaria a la biodegradación), las sales orgánicas e inorgánicas, nitrógeno, metales pesados y otras sustancias químicas diluidas que esta tiene; la composición del lixiviado va variando con la edad del vertedero, las características del residuo depositado, la meteorología del lugar y modo de operación<sup>12</sup>. La carga orgánica de los lixiviados alcanza los máximos valores en los primeros años de operación y decrece gradualmente con la edad del vertedero<sup>13</sup>.

En cuanto el pH del lixiviado, se tiene en cuenta no solamente de la concentración de los ácidos que están de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el gas de vertedero que está en contacto con los presentes, sino también lixiviado. Según Sánchez, la concentración de amonio puede estar en el lixiviado en cantidades superiores a 2000 mg/l, no decrece y a menudo constituye su principal contaminante; y, en cuanto al contenido en metales pesados, las concentraciones en la fase metalogénica son muy bajas, pero sí son importantes en la fase inicial del vertedero (fase ácida). Esto genera, durante la fase ácida de la descomposición, un pH bajo y concentraciones de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO, nutrientes, y metales pesados altos.<sup>14</sup> Además de la fase ácida, también se encuentra la fase de fermentación del metano, en donde el pH estará en un rango de 6.5 y 7.5, y las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO y de los nutrientes serán significativamente más bajos.

Por otro lado, 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. Esto se debe a que la mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros<sup>15</sup>.

---

<sup>11</sup> SÁNCHEZ CÁRDENAS, Ana Carolina. Evaluación de desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. En: Escuela Técnica Superior De Ingeniería Universidad De Sevilla. [sitio web]. España: e-Reding. Trabajos y proyectos fin de estudio de la E.T.S.I. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70357/fichero/9.+MARCO+TEORICO.pdf>

<sup>12</sup> Ibid, p. 30

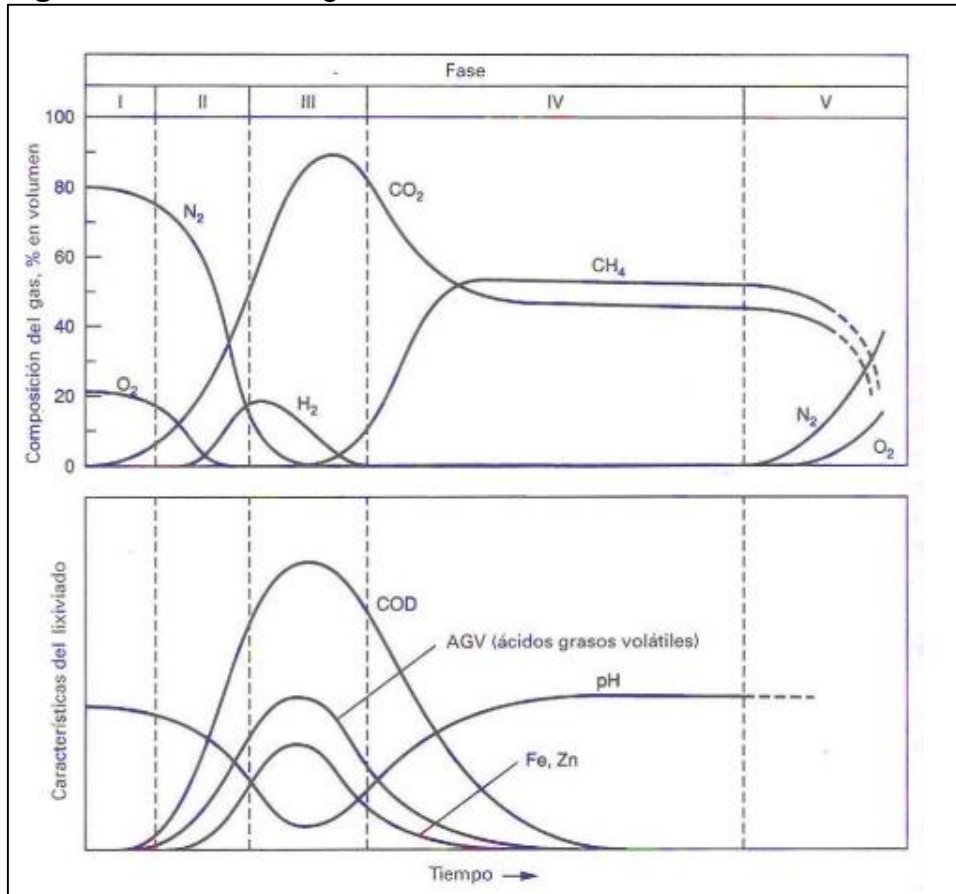
<sup>13</sup> ESPINOSA, María del Carmen. Lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. [en línea]. Centro de investigaciones del ozono. La Habana, Cuba. [Citado el 09 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303677305\\_Lixiviados\\_de\\_Vertederos\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_Urbanos\\_Monografia](https://www.researchgate.net/publication/303677305_Lixiviados_de_Vertederos_de_Residuos_Solidos_Urbanos_Monografia)

<sup>14</sup> Ibid, p. 30

<sup>15</sup> SÁNCHEZ, op cit. p.30

En la figura 1, se presentan las fases de la generación de lixiviados en las cuales se tiene, (I) ajuste inicial, (II) fase de transición, (III) fase ácida, (IV) fermentación del metano, (V) fase de maduración.

**Figura 1.** Fases de la generación de lixiviados



Fuente: Wordpress: Cambios paramétricos en los lixiviados de los vertederos. Producción de biogás. El blog de los lixiviados. [Consulta: 08 febrero 2020]. Disponible en: <https://lixiviados.wordpress.com/2018/09/07/cambios-parametricos-en-los-lixiviados-de-los-vertederos-produccion-de-biogas/>

- Ajuste inicial: los componentes orgánicos biodegradables sufren descomposición microbiana.
- Fase de transición: Desciende el oxígeno y comienza a desarrollarse condiciones anaerobias, el pH comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos.

- Fase de acidogénesis: se acelera la actividad microbiana con la producción de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas hidrogeno.
- Fase de metanogénesis: un grupo de microorganismos que convierten el ácido acético y el gas hidrogeno son más predominantes. Aparece la formación de metano, sube pH a valores más neutros.
- Fase de maduración: se produce después de convertirse el material inorgánico en metano y CO<sub>2</sub>.<sup>16</sup>

**1.2.2 Factores influyentes en la generación de lixiviados.** Entre el lixiviado de un relleno sanitario se deben tener en cuenta las variaciones de las composiciones y el flujo volumétrico<sup>17</sup>; ya que, según Méndez, esto es tóxico por las altas concentraciones de metales pesados, como hidrocarburos y pesticidas, por ello, la calidad de los lixiviados es determinada fundamentalmente por la composición de la basura depositada en el relleno sanitario; teniendo en cuenta que no todos los residuos tienen las mismas características, debido a los procesos de reacción bioquímica que tiene lugar en dicho relleno y dadas las condiciones de manejo del lixiviado por factores ambientales.

Algunos factores que influyen en la composición de los lixiviados son<sup>18</sup>:

- Porosidad del suelo.
- Compactación del terreno.
- Proximidad del vertedero a aguas superficiales.
- Capas de aguas subterráneas.
- La precipitación anual.
- La cantidad y calidad de los residuos.
- La climatología de la región.
- Antigüedad del área de vertido.

---

<sup>16</sup> CHÁVEZ MONTES, Wendy Margarita. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. De Chihuahua, Méx. [en línea]. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2011. [Consultado 16 agosto 2019]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy%20Margarita%20Ch%20C3%A1vez%20Montes%20MCTA.pdf>

<sup>17</sup> MÉNDEZ NOVELO, et al. Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. Ingeniería Revista Académica. [en línea]. Mérida (México): Universidad Autónoma de Yucatán México. 2002, mayo-agosto. Vol. 6, nro. 2. [Consultado 09 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen6/influencia.pdf>

<sup>18</sup> PASTOR PIÑERO, Jesús. Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados. En: Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. [Consulta 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/46985/1/vertederos%20controlados%20pastor675.pdf>



**1.2.3 Composición básica de los lixiviados.** En el cuadro 1, se presenta la composición básica de los lixiviados, entre los que se encuentran compuestos volátiles, metales y otras sustancias básicas.

**Cuadro 2.** Composición básica de los lixiviados

<p><b>Compuestos orgánicos volátiles</b></p>	<p>Los compuestos orgánicos volátiles son compuestos formados básicamente por átomos de carbono e hidrógeno que se evapora fácilmente</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Benceno</li> <li>-Cloroformo</li> <li>-1,1-dicloroetano</li> <li>-Etilbenceno</li> <li>-Cloruro de metileno</li> <li>-Tetracloroetileno</li> <li>-Tolueno</li> <li>-Tricloroetileno</li> <li>-1,1,1-tricloroetileno</li> <li>-Cloruro de vinilo</li> <li>-Xileno</li> </ul>
<p><b>Metales</b></p>	<p>Los metales contenidos en los residuos depositados en los rellenos, debido al carácter ácido de los líquidos lixiviados, son disueltos y transportados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arsénico</li> <li>-Plomo</li> <li>-Mercurio</li> <li>-Níquel</li> <li>-Cadmio</li> <li>-Cromo</li> </ul>
<p><b>Otras sustancias químicas</b></p>	<p>Otros compuestos químicos que pueden encontrarse dentro de los lixiviados son los compuestos orgánicos sintéticos y alcoholes</p>	<p>Sustancias químicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-2,4-D</li> <li>-Lindano</li> <li>-pentaclorofenol</li> </ul> <p>Alcoholes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-etanol</li> <li>-1-propanol</li> <li>-2-propanol</li> <li>-4-nitrofenol</li> </ul>

Fuente: elaboración propia en base en Universidad Libre Colombia. Documentación acerca de la contaminación por lixiviados generados en rellenos sanitarios en Colombia. *Innovando en la u.* 2016, vol. 8, pp. 77-84. [Consulta: 15 noviembre 2019]. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/innovando/article/view/3907>

### 1.3 TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS EN INGENIERÍA

Seleccionar el método más apropiado y ajustado a las necesidades de la empresa en relación al tratamiento de agua residual del proceso de nitruración requiere la toma de decisión a partir de varias alternativas de las cuales hay que decidir a favor de una alternativa. Para ello, se comparan las alternativas, con medios que las valoran y califican, a partir de diferentes criterios y atributos. Las técnicas de toma de decisión multicriterio estructuran el proceso de decisión, selecciona las alternativas, formula criterios, establece los compromisos entre criterios, determina los pesos, aplica el juicio de valor, evalúa y toma la decisión<sup>19</sup>.

**1.3.1 Sumas Ponderadas.** La matriz se construye colocando en la primera columna todos los criterios o variables a evaluar y en las siguientes columnas cada alternativa. Es necesario convertir los criterios en valores numéricos, definiendo una escala de valoración. A cada criterio se le asigna un peso dependiendo la importancia de este en relación con los demás, por ejemplo. La suma de los pesos de los criterios debe corresponder a 1. Cuando un criterio tiene la misma o casi la misma calificación para todas las alternativas se elimina ese criterio ya que no brinda información relevante para la toma de decisión<sup>20</sup>. Luego de calificar las alternativas, se realiza la suma de productos en los diferentes criterios, multiplicados por los pesos de ponderación de los criterios (ecuación 1). La alternativa con mayor puntuación corresponde a la de mayor preferencia.

**Ecuación 1.** Suma de productos en los diferentes criterios

$$M_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} \times W_j$$

Donde  $M_i$  corresponde a la calificación ponderada por alternativa,  $a_{ij}$  es la calificación de la alternativa  $i$  en el criterio  $j$  y  $W_j$  es el peso de ponderación del criterio  $j$ <sup>21</sup>.

---

<sup>19</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. 6. Análisis Y Selección De Alternativas. 8. [Consultado el 14/05/2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/v8490s/v8490s08.htm>

<sup>20</sup> PALLARES RUIZ, Jaime. Métodos de decisión multicriterio ELECTRE y TOPSIS aplicados a la aplicación de elección de dispositivos móvil. Universidad de Sevilla, 2015. p. 24-27.

<sup>21</sup> FERNÁNDEZ MURILLO, Juan Sebastián. Propuesta para el sistema de tratamiento de agua residual del proceso de nitruración en la empresa Aluica S.A.S. [en línea]. Tesis de Pregrado. Fundación Universidad de América, 2018. Bogotá D.C. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/simple-search?query=aluica>

## 1.4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LIXIVIADOS

**1.4.1 Definición.** Según Trabinox, el tratamiento fisicoquímico del agua residual se puede considerar como una etapa, o, se puede dar a conocer como parte de un proceso de depuración complementario entre el pretratamiento y el tratamiento biológico. Esto se realiza con el fin de eliminar las materias finas en suspensión no decantables, y de las materias coloidales; y se hace mediante la adición de ciertos productos químicos, los cuales generan una alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación o flotación.<sup>22</sup>

**1.4.2 Variables en el proceso fisicoquímico.** Las operaciones que se llevan a cabo en el proceso fisicoquímico para el tratamiento de una solución coloidal son:

- Mezclado
- Coagulación
- Floculación
- Separación

Es necesario tener en cuenta las variables del diseño u operación que tienen cada una de estas operaciones, ya que, con la variación de dichas variables se logra un buen resultado durante el proceso de purificación del agua. Cabe resaltar que, las dos primeras operaciones, mezclado – coagulación, se deben considerar como una sola, ya que después del mezclado se logra la coagulación.

Según Aguilar, las variables que intervienen y que hay que considerar para lograr una buena operación son:

I. Variables de las soluciones<sup>23</sup>:

- Aceite y/o grasas presentes
- pH
- Sólidos suspendidos
- Metales presentes
- Alcalinidad

---

<sup>22</sup> TRABINOX S.L. Proceso Físico-Químico de Tratamiento de Aguas Residuales. [Consultado: 27 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.trabinox.net/es/fisico.php>

<sup>23</sup> AGUILAR, M. I. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales: coagulación-floculación [en línea]. Editum, 2002. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

## II. Variables del equipo<sup>24</sup>:

- Tipo de equipo
- Parámetros específicos

El tratamiento de los lixiviados es particularmente difícil no solo por la complejidad del agua residual misma sino por las variaciones que se presentan frecuentemente en el flujo y composición de estos. La calidad del lixiviado crudo está determinada principalmente por la naturaleza de los residuos sólidos, por los procesos de reacción bioquímica y por factores ambientales. Para el tratamiento de los lixiviados la relación DBO5/DQO es un parámetro importante en la selección de los procesos. Una relación  $> 0,7$  caracteriza un lixiviado joven mientras que una relación entre 0,3 y 0,7 representa residuos parcialmente estabilizados.<sup>25</sup>

**1.4.3 Operaciones Físicas Unitarias.** Debido a que en la mayoría de los métodos de tratamiento físico prima la acción de fuerzas físicas, se tienen en cuenta estas operaciones físicas unitarias, las cuales son, por ejemplo, el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transparencia de gases y filtración<sup>26</sup>.

**1.4.4 Procesos Químicos Unitarios.** Para realizar una eliminación o conversión de los contaminantes en el agua, se adicionan productos químicos, los cuales, van a generar ciertas reacciones químicas, como, por ejemplo, la precipitación, absorción y la desinfección<sup>27</sup>.

**1.4.5 Test de Jarras.** Este es un método, el cual se basa en la coagulación química y la dosificación conveniente de reactivos para lograr una clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras permite realizar una simulación química de la clarificación; y, se realiza por medio de un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas, el cual, permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales van a estar a condiciones hidráulicas similares. Para realizar esta prueba se necesita una concentración óptima de coagulante, ya que, por medio de estos se va a obtener las mejores características.

---

<sup>24</sup> Ibid, p. 35

<sup>25</sup> CRISTANCHO MONTENEGRO, Diana Lucía. Estimación del efecto del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana sobre la calidad del agua del Río Tunjuelo y su posible tratamiento en la PTAR Canoas. [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, 2013. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45405/1/52480760.2013.pdf>

<sup>26</sup> SIN AUTOR. Fundamentos del Tratamiento de Agua Residual. [sitio web]. [Consulta 10 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf)

<sup>27</sup> Ibid, p. 38

## 1.5 COAGULACIÓN

**1.5.1 Definición.** Se puede definir coagulación como la desestabilización eléctrica de ciertas partículas, dicha desestabilización sucede por la coagulación provocada por la adición de sustancias químicas. Esta adición se realiza mediante unidades y tanques de mezcla rápida, en donde, se va a dar una solución homogénea después de cierto tiempo de agitación. Según Restrepo, este proceso se usa para<sup>28</sup>:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

**1.5.2 Factores influyentes en la Coagulación.** Dentro de los factores influyentes en la coagulación, según Restrepo, se encuentran algunos factores como<sup>29</sup>:

- **Valencia:** Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- **Capacidad de cambio:** Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- **Concentración de iones H<sup>+</sup> o pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.

---

<sup>28</sup> RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. En: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2009. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239\\_2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf)

<sup>29</sup> RESTREPO OSORNO, op. cit. p. 20

- **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación<sup>30</sup>.

**1.5.3 Clases de Coagulantes.** Según Fúquene, los coagulantes se clasifican en tres tipos, los coagulantes a base de sales metálicas, a base de polímero sintéticos y de origen natural. Se explican a continuación<sup>31</sup>:

- **Coagulantes a base de sales metálicas:** Estos coagulantes se usan de forma convencional en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Un ejemplo de estos coagulantes son los compuestos a base de sales de hierro y aluminio.
- **Coagulantes a base de polímeros sintéticos:** Se caracterizan por tener alto peso molecular y generar un aumento en la viscosidad de la solución; comúnmente, se usan como productos complementarios de los coagulantes a base de sales metálicas en la neutralización de partículas coloidales.
- **Coagulantes de origen natural:** Se derivan de productos orgánicos los cuales presentan beneficios equivalentes o superiores a los de los coagulantes convencionales; un ejemplo son los almidones y polisacáridos naturales como la celulosa, las semillas de moringa las plantas de cardón guajiro y el quitosano.

## 1.6 FLOCULACIÓN

**1.6.1 Definición.** La floculación consiste en el amontonamiento, por medio de la agitación controlada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor densidad y peso específico (flocs). El objetivo principal de la floculación es aglomerar micro flóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el floculo favoreciendo su precipitación, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración<sup>32</sup>.

---

<sup>30</sup> RESTREPO OSORNO, op. cit. p. 20

<sup>31</sup> FÚQUENE, Diana Marcela y YATE, Andrea Viviana. Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Documentos de Trabajo ECAPMA. 2018. [en línea]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional Abierta y a Distancia. nro. 1. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/download/2771/2857>

<sup>32</sup> RESTREPO OSORNO, op. cit. p. 36

**1.6.2 Factores que influyen en la Floculación.** Se encuentran algunos factores como<sup>33</sup>:

- **Concentración y naturaleza de las partículas:** la velocidad de formación del floculo es directamente proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño preliminar de estos.
- **Tiempo de detención:** la velocidad de acumulación de las partículas es proporcional al tiempo de interrupción. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de Test de Jarras, esto se puede lograr seccionando la unidad de floculación en cámaras.
- **Gradiente de velocidad:** es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un máximo de gradiente que no puede ser excedido, para evitar deshacer del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener unidades intermedias con gradientes elevados.

## 1.7 TRATAMIENTOS ANAERÓBIOS

Estos procesos se caracterizan por realizarse en ausencia de oxígeno<sup>34</sup>. Según Torres, este tratamiento biológico se realiza con el fin de promover la coagulación y eliminar las partículas coloidales no sedimentables, la estabilización de la materia orgánica, y en algunos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales por medio de una etapa anaerobio sola o la combinación de otro tratamiento biológico<sup>35</sup>. Estas etapas no solo tratan el agua residual y producción de metano, sino que, al finalizar la etapa anaerobia se pueden recuperar y utilizar los subproductos de esta etapa.<sup>36</sup>

Por medio del estudio de Giraldo, se puede observar que, en este proceso, se puede observar que hay reducciones considerables de DBO, lo que quiere decir que su eficiencia es muy alta; y, teniendo en cuenta que los procesos anaerobios tienen mayor simplicidad en su proceso y una menor producción de lodos, se ven menores costos de inversión de capital, operación y mantenimiento.

---

<sup>33</sup> RESTREPO OSORNO, op. cit. p. 36

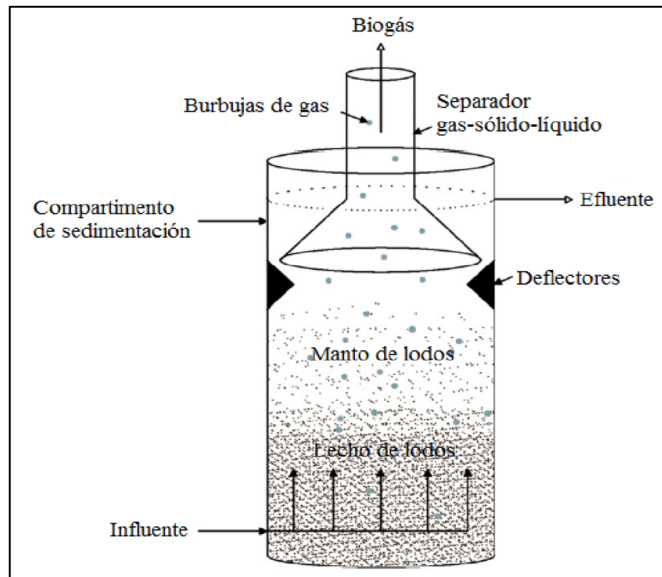
<sup>34</sup> SIN AUTOR. Fundamentos del Tratamiento de Agua Residual. [sitio web]. [Consulta 10 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf)

<sup>35</sup> TORRES LOZADA, Patricia., RODRÍGUEZ, Jenny Alexandra., BARBA, Luz Edith., MORÁN, Adriana., NARVÁEZ, Jorge. Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB [en línea]. 2005, julio-diciembre, núm. 18, pp. 50-60. [Consulta 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/852/85201804.pdf>

<sup>36</sup> TORRES LOZADA, Patricia., RODRÍGUEZ, Jenny Alexandra., BARBA, Luz Edith., MORÁN, Adriana., NARVÁEZ, Jorge. Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB [en línea]. 2005, julio-diciembre, núm. 18, pp. 50-60. [Consulta 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/852/85201804.pdf>

Pero, por su alto contenido de amoníaco y minerales disueltos, se genera una gran toxicidad para los microorganismos, lo que limita sus aplicaciones.<sup>37</sup>

**Figura 2.** Componentes principales de un Reactor UASB



Fuente: GUARDIA PUEBLA, D. Yans. Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2012. [Consulta 11 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Componentes-principales-del-reactor-UASB-Chong-et-al-2012\\_fig2\\_315789274](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Componentes-principales-del-reactor-UASB-Chong-et-al-2012_fig2_315789274)

## 1.8 TRATAMIENTOS AERÓBIOS

Son aquellos procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno<sup>38</sup>. Se disponen de pocos datos del tratamiento de lixiviados con procesos aerobios. Esto se debe a que el agua a tratar debe estar en condiciones estables para poder tener cierto grado de eficiencia de remoción, cualidad que no ofrecen los lixiviados. Los tratamientos aerobios que se han utilizado en condiciones limitadas

<sup>37</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances recientes. Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de los Andes. [en línea]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

<sup>38</sup> SIN AUTOR. Fundamentos del Tratamiento de Agua Residual. [sitio web]. [Consulta 10 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf)



son las lagunas aerobias, lodos activados y los biofiltros. Se alcanzan rendimientos de aproximadamente un 98% en eliminación de DQO<sup>39</sup>.

Es este tipo de tratamientos, según Giraldo, cuando hay inyección de aire por medio de sopladores, la generación de espumas acarrea a inconvenientes a nivel operativo dentro de las unidades. Es importante tener en cuenta que las concentraciones de DBO en los lixiviados son muy altas y por tal razón es fácil tener remociones. Al ser los lixiviados aguas con altas concentraciones de materia orgánica y sólidos en suspensión, los costos de inversión y de operación son más altos que los de tratamientos anaerobios, como es el caso de un lixiviado joven. Por lo que se logran mejores relaciones beneficio / costo cuando se utilizan para tratar lixiviados con concentraciones medias o bajas de DBO. Por esta razón, y dependiendo de las exigencias del efluente, se requieren preferencialmente como pos tratamiento a los sistemas anaerobios, o para lixiviados viejos con bajos niveles de DBO<sup>40</sup>.

**Figura 3.** Tanques de aireación en aguas residuales



Fuente: ¡Cuidemos el planeta!: Ecología y Medio Ambiente. [Consulta 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://cuidemoselplaneta.org/aireacion-en-aguas-residuales/>

## 1.9 OXIDACIÓN QUÍMICA

Según Méndez la oxidación química es un tratamiento muy prometedor, ya que en dicha oxidación se genera en el contaminante con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton); este proceso ocurre, comúnmente a presión atmosférica, temperatura entre 20 °C y 40 °C, y, con un pH ácido, ya que

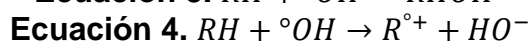
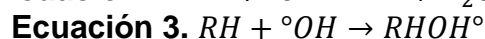
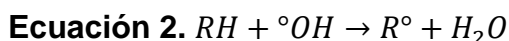
<sup>39</sup> FONDO SOCIAL EUROPEO. Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados. [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixivados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixivados_11_JUN_2010.pdf)

<sup>40</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances recientes. Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de los Andes. [en línea]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

esto genera una alta concentración de remoción de los contaminantes orgánicos<sup>41</sup>. Cabe resalta, según Hermosilla, que este tratamiento es una alternativa factible, práctica y a costos bajos; además, puede ser usado como pre o post tratamiento biológico<sup>42</sup>.

La oxidación química, también llamado como el proceso Fenton, se genera con la adición de un catalizador de sal ferrosa soluble en agua y peróxido de hidrógeno en un medio ácido; ya que, por medio de estos se generan radicales hidroxilos (OH•), los cuales reaccionan rápidamente con los compuestos orgánicos (R) del agua, de manera no selectiva debido a su elevado potencial de oxidación<sup>43</sup>.

Los principales mecanismos de reacción que se llevan a cabo con estos últimos son abstracción de hidrógeno (Ecuación 2), adición a la estructura del contaminante (Ecuación 3) o transferencia de carga<sup>44</sup> (Ecuación 4) respectivamente.



## 1.10 EVAPORACIÓN DE LIXIVIADOS

El uso de la evaporación de lixiviados como sistema de tratamiento es un avance reciente. En este se utiliza la energía del biogás del relleno sanitario en evaporar el lixiviado por calentamiento<sup>45</sup>. El lixiviado que no se evapora se recircula hacia el pondaje. Los vapores que genera el calentamiento del lixiviado son llevados hacia un filtro. La profundidad de los estanques es entre 0,6 y 0,9 metros y las cargas orgánicas de 1,6 a 0,4 Kg/m<sup>3</sup><sup>46</sup>.

---

<sup>41</sup> MÉNDEZ NOVELO, Roger Iván., GARCÍA REYES, Refugio Bernardo., CASTILLO BORGES, Elba René y SAURI RIANCHO, María Rosa. Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton [en línea]. Ingeniería e investigación vol. 30 No. 1, abril de 2010 (80-85). [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>

<sup>42</sup> HERMOSILLA, Daphne; CORTIJO, Manuel and HUANG, Chin Pao. Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. [En línea]. periodicidad 407 p. 3473-3481 [Consultado 11 febrero 2020]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.009>

<sup>43</sup> PRIMO MARTÍNEZ, Oscar. Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada [en línea]. Tesis doctoral. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones, 2008. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/10692;jsessionid=755A5BDD81092A6929BFB3EBF7C5B4C9#page=1>

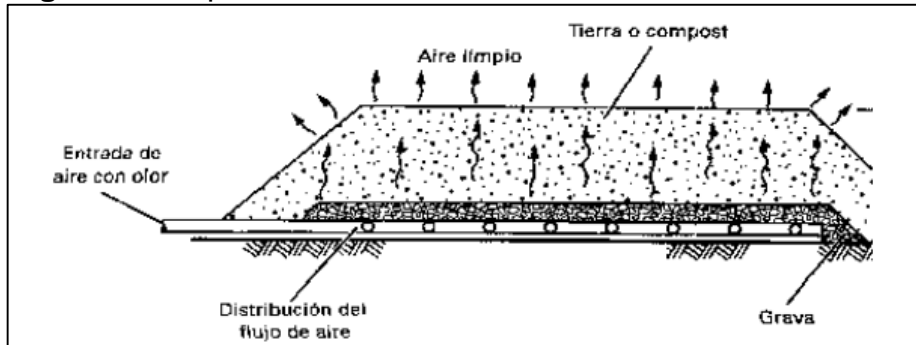
<sup>44</sup> RUBIO-CLEMENTE, Ainhoa; CHICA, Edwin L. and PEÑUELA, Gustavo A. Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. [En línea] Dec 1. periodicidad 16 p. 211-223 [Consultado 11 febrero 2020]. ISSN 0123-3033. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30332014000200019&lng=en&tng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332014000200019&lng=en&tng=en)

<sup>45</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances recientes. Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de los Andes. [en línea]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

<sup>46</sup> FONDO SOCIAL EUROPEO. Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados. [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixivados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixivados_11_JUN_2010.pdf)

Desafortunadamente, la función principal del sistema de evaporación es la disminución de volumen, mas no brinda una depuración o tratamiento como tal de los lixiviados<sup>47</sup>.

**Figura 4.** Evaporación de Lixiviados



Fuente: Fondo Social Europeo. Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados. [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixivados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixivados_11_JUN_2010.pdf)

## 1.11 OSMOSIS INVERSA

**1.11.1 Definición.** La osmosis inversa es un tratamiento el cual asegura el tratamiento desalinizador físico, químico y bacteriológico del agua; se da por medio de membranas de poliamida semipermeables, enrolladas en espiral, las cuales actúan por medio de un filtro el cual retiene la mayoría de las sales disueltas, junto con las bacterias y los virus, alcanzando así un agua de alta pureza<sup>48</sup>.

**1.11.2 Principio de Operación de Osmosis Inversa.** Según Moreno, este proceso se realiza por medio de varias etapas las cuales, van de una solución menos concentrada, aumentando en cada etapa la concentración de la solución; en cada etapa, el agua pasa a través de una membrana semipermeable, en donde, cabe resaltar que al aplicar una presión mayor que la presión osmótica a la solución más

<sup>47</sup> ELJAIK URZOLA, Mónica., TORRES GIL, Leydy Karina., BERMUDEZ ROBLES, Wil. Alternativas de tratamiento de lixiviados aplicables al relleno sanitario parque ambiental Loma de Los Cocos de la Ciudad de Cartagena, Colombia [en línea]. Cartagena (Colombia): Universidad de Cartagena. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Alternativas%20Tratamiento%20Lixiviados%20Vertedero%20Colombia.pdf>

<sup>48</sup> SOTTO DÍAZ, Arcadio. Aplicación de la tecnología de membranas de nano filtración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Rey Juan Carlos España, 2008. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Arcadio\\_Sotto/publication/48989441\\_Aplicacion\\_de\\_la\\_tecnologia\\_de\\_membranas\\_de\\_nanofiltracion\\_y\\_osmosis\\_inversa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_disoluciones\\_acuosas\\_de\\_compuestos\\_fenolicos\\_y\\_acidos\\_carboxilicos/links/551ab9480cf251c35b4ecc79/Aplicacion-de-la-tecnologia-de-membranas-de-nanofiltracion-y-osmosis-inversa-para-el-tratamiento-de-disoluciones-acuosas-de-compuestos-fenolicos-y-acidos-carboxilicos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arcadio_Sotto/publication/48989441_Aplicacion_de_la_tecnologia_de_membranas_de_nanofiltracion_y_osmosis_inversa_para_el_tratamiento_de_disoluciones_acuosas_de_compuestos_fenolicos_y_acidos_carboxilicos/links/551ab9480cf251c35b4ecc79/Aplicacion-de-la-tecnologia-de-membranas-de-nanofiltracion-y-osmosis-inversa-para-el-tratamiento-de-disoluciones-acuosas-de-compuestos-fenolicos-y-acidos-carboxilicos.pdf)

concentrada, el solvente comenzara a fluir en el sentido inverso, el flujo del solvente depende de<sup>49</sup>:

- Presión aplicada.
- Presión Osmótica aparente.
- Área de membrana presurizada<sup>50</sup>.

**1.11.3 Aplicación de osmosis inversa en lixiviados.** Según Corena, la aplicación del osmosis inversa para lixiviados se realiza con concentraciones de DBO relativamente bajas (menores a 1000 mg/l); dichas concentraciones se pueden observar en lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo<sup>51</sup>.

Se requieren bajas concentraciones de DBO, debido a las problemáticas que se reportan en la precipitación de calcio y el hierro en las membranas semipermeables; dichas precipitaciones minimizan los efectos del tratamiento en el agua contaminada. Para mejorar esto, se aplican sustancias químicas que modifiquen las condiciones bajo las cuales ocurre la precipitación, hasta la incorporación de nuevos procesos tales como la osmosis directa o la precipitación-cristalización.<sup>52</sup>

---

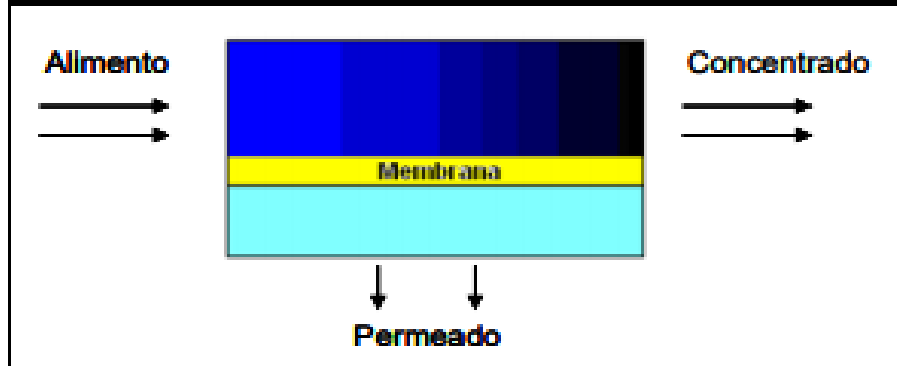
<sup>49</sup> MORENO BENAVIDES, José Alberto. Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. [en línea]. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Occidente de Santiago de Cali, 2011. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3076/1/TBM00990.pdf>

<sup>50</sup> MORENO BENAVIDES, José Alberto. Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. [en línea]. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Occidente de Santiago de Cali, 2011. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3076/1/TBM00990.pdf>

<sup>51</sup> CORENA, Mironel. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Universidad de Sucre, [en línea]. 2008, pp 12. [Consultado: 15 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>

<sup>52</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances recientes. Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de los Andes. [en línea]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

**Figura 5.** Esquema de las corrientes de flujo en una membrana.



Fuente: SOTTO DÍAZ, Arcadio. Aplicación de la tecnología de membranas de nano filtración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Rey Juan Carlos España, 2008. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Arcadio\\_Sotto/publication/48989441\\_Aplicacion\\_de\\_la\\_tecnologia\\_de\\_membranas\\_de\\_nano\\_filtracion\\_y\\_osmosis\\_inversa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_disoluciones\\_acuosas\\_de\\_compuestos\\_fenolicos\\_y\\_acidos\\_carboxilicos/links/551ab9480cf251c35b4ecc79/Aplicacion-de-la-tecnologia-de-membranas-de-nanofiltracion-y-osmosis-inversa-para-el-tratamiento-de-disoluciones-acuosas-de-compuestos-fenolicos-y-acidos-carboxilicos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arcadio_Sotto/publication/48989441_Aplicacion_de_la_tecnologia_de_membranas_de_nano_filtracion_y_osmosis_inversa_para_el_tratamiento_de_disoluciones_acuosas_de_compuestos_fenolicos_y_acidos_carboxilicos/links/551ab9480cf251c35b4ecc79/Aplicacion-de-la-tecnologia-de-membranas-de-nanofiltracion-y-osmosis-inversa-para-el-tratamiento-de-disoluciones-acuosas-de-compuestos-fenolicos-y-acidos-carboxilicos.pdf)

**1.11.4 Características de las membranas semi-permeables.** Una membrana semipermeable es una membrana que permite el paso de algunas moléculas o iones por medios difusores. La selectividad hacia las moléculas depende de la presión ejercida, la concentración de partículas de soluto, la temperatura de las moléculas y la permeabilidad de la membrana para cada soluto. Aquellas moléculas que logran atravesar la membrana se las conoce como “el permeado” y a las que no lo hacen es las conoce como “el rechazo”<sup>53</sup>.

**1.11.5 Factores del agua de alimentación.** Los factores del agua de alimentación que afectan las membranas son:

- **Presión.** La presión del agua influye en la cantidad y calidad del agua generada por ósmosis inversa. Baja presión del agua causa baja corriente y baja pureza<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> MORENO BENAVIDES, José Alberto. Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. [en línea]. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Occidente de Santiago de Cali, 2011. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3076/1/TBM00990.pdf>

<sup>54</sup> DISEÑOS Y SOLUCIONES SOSTENIBLES DSS. S.A. Ingeniería para un desarrollo sostenible: ósmosis inversa (RO). [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: [http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis\\_inversa.pdf](http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis_inversa.pdf)

- **pH.** Es recomendado emplear una diversidad más amplia de membranas cuando el agua de alimentación es básica, ácida o inestable<sup>55</sup>.
- **Temperatura.** El agua de alimentación debe ser de 25°C. Cuando la temperatura es menor, es recomendado que el agua caliente y fría se mezclan para que la temperatura suba a 25°C. El agua de alimentación que tiene una temperatura superior a 35°C dañara la mayoría de las membranas<sup>56</sup>.
- **Índice de Saturación de Langelier (Langelier Stauration Index – LSI):** El LSI indica el principio de la formación de una incrustación o sarro sobre el área de la membrana. El LSI se calcula con la temperatura, el total de sólidos inorgánicos, la dureza alcalina, y pH del agua de alimentación. Si el índice LSI es positivo, se recomienda instalar un suavizador de agua ante del sistema de osmosis inversa<sup>57</sup>.
- **Cloro Libre (TFC) y Bacterias:** Las membranas de acetato de celulosa necesitan una limpieza constante de TFC para impedir la propagación de bacterias y que se dañe la membrana. En contraste, la poliamida y las membranas finas, como cintas, son dañadas por el TCF. El carbón activado es usado para remover el TCF cuando la poliamida y las membranas finas lo necesitan<sup>58</sup>.

---

<sup>55</sup> Ibid, p. 46

<sup>56</sup> Ibid, p. 46

<sup>57</sup> ESSENCE WATER TECHNOLOGY. ¿Qué es la ósmosis inversa?: [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.essence.pe/blog/osmosis-inversa/>

<sup>58</sup> Ibid, p. 46

## 2. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO DOÑA JUANA

El sistema actual del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana trabaja constantemente para disminuir las cargas hacia los vertederos y por mantener el lixiviado proveniente de basuras y acumulaciones bajo ciertas concentraciones de tal manera que el impacto que genere en su disposición no sea considerado crítico. Acorde a esto se estima la posibilidad de mejoramiento para algunas unidades del sistema de tratamiento puesto que el sistema debe garantizar y cumplir con la normativa vigente. Inicialmente se debía cumplir con lo solicitado en el decreto 1594 de 1984 y para el momento con los requerimientos de la resolución 631 de 2015.

En base a esto, la ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales) generó una alerta acerca del permiso para vertimientos debido a las condiciones en las que se encuentra su sistema de tratamiento con los lixiviados<sup>59</sup>. Seguido de esto se espera que con la implementación de la nueva etapa que incluye una planta de osmosis inversa se logre disminuir en un porcentaje considerable dichas concentraciones para los vertimientos puesto que a la fecha el Relleno Sanitario Doña Juana se encuentra incumpliendo con los requisitos legales ambientales.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PTL

**2.1.1 Generalidades.** En el montaje actual hay unidades que se encuentran deshabilitadas o incumpliendo con su funcionalidad debido al mal manejo que se les ha otorgado y otras que debido al excesivo incremento de estos caudales han tenido que pasar a cumplir la función de almacenamiento. Las principales unidades de tratamiento en la planta de lixiviados se encuentran divididas en la línea A y la línea B, donde A es la línea de tratamiento fisicoquímico que a su vez está compuesta por Pondaje 7, secador de lodos, sistemas SBR, Pondajes Zona II, Pondaje oriental, Pondaje occidental, Fisicoquímico 3, Fisicoquímico 1, sedimentador terciario y sedimentador primario.

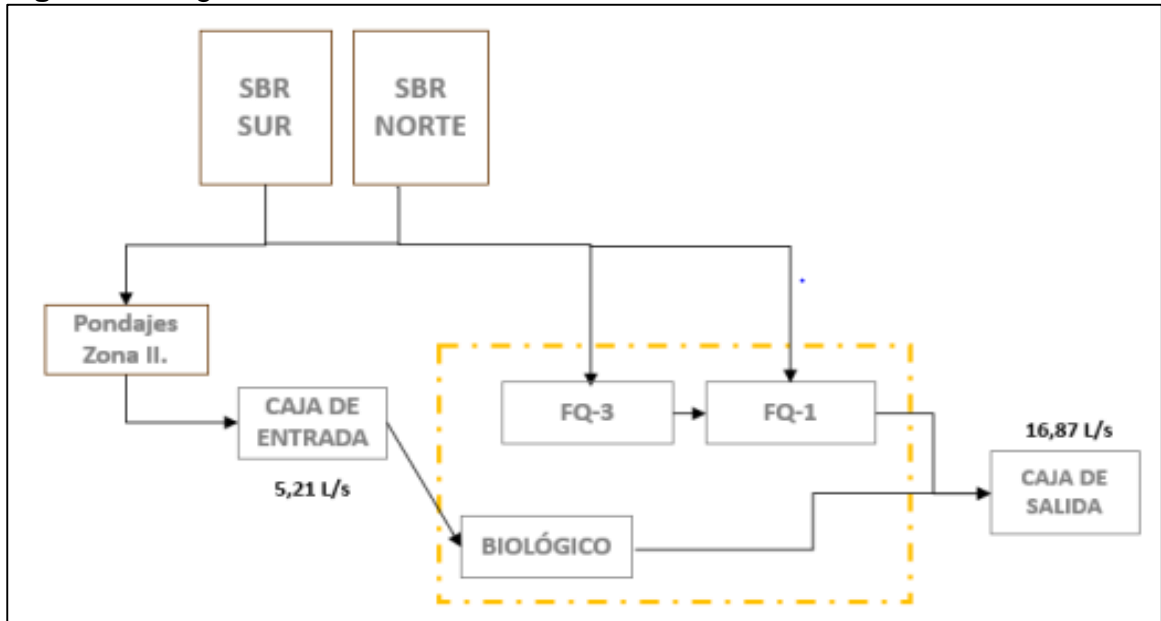
Por otra parte, se encuentra la línea B, la cual consiste en el tratamiento biológico compuesto por Pondaje Zona II, caja de entrada, Pre Desnitrificador, zanjones de Oxidación, Pos Desnitrificación, sedimentador secundario y caja de salida PTL. A continuación, se nombran las principales instalaciones y dimensiones de cada una de las unidades de la Planta de Tratamiento de Lixiviados, dando a conocer su capacidad actual y panorama general con el fin de entender el dimensionamiento de la posible alternativa a plantear para el tratamiento fisicoquímico 1 y 3.

---

<sup>59</sup> RESOLUCIÓN N° 00813 DEL 01 DE JUNIO DE 2018. Autoridad de Licencias Ambientales ANLA Por la cual se imponen medidas adicionales en desarrollo de un control y seguimiento ambiental y se toman otras determinaciones. En: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. [sitio web]. Bogotá D.C. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res\\_0813\\_01062018\\_ct\\_2633.pdf](http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_0813_01062018_ct_2633.pdf)

Cabe aclarar que cada uno de los cuadros que se presentarán a continuación en el numeral 2.1.2 fueron elaborados con base a un capítulo que la PTL del Relleno nos suministró y que para su veracidad se registran los datos en el Anexo A.

**Figura 6.** Diagrama Planta de tratamiento de lixiviados




Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**2.1.2 Unidades de tratamiento de lixiviado.** Se presentan a continuación las unidades de tratamiento tanto para la línea A como línea B:

**2.1.2.1 Línea A.** Línea de tratamiento fisicoquímico de la PTL


**Cuadro 3.** Unidad de tratamiento: Pondaje 7

<p><b>Figura 7.</b> Pondaje 7</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibe los lixiviados provenientes de Zona VII, Zona VIII y optimización (sin incluir patógenos).</li> <li>• Presenta recubrimiento con geo membranas</li> <li>• Los lodos generados son retirados mediante succión vector.</li> <li>• <b>Volumen:</b> 3709 m<sup>3</sup></li> <li>• <b>Altura efectiva:</b> 4,50 m</li> </ul>
---	---

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana




**Cuadro 4. Unidad de tratamiento: Secador de Lodos**

<p><b>Figura 8. Secador de Lodos</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibe los caudales de provenientes de Zona Biosólidos y Zona Mansión</li> <li>• Los lixiviados almacenados actualmente son bombeados hacia SBR SUR.</li> <li>• Presenta un recubrimiento con geomembrana.</li> <li>• Puede recibir lixiviados provenientes de Pondaje 7.</li> <li>• <b>Volumen:</b> 1047 m<sup>3</sup></li> <li>• <b>Altura efectiva:</b> 3,0 m</li> </ul>
--	--

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 5. Unidad de tratamiento: Reactores SBR Sur y Norte**

<p><b>Figura 9. Reactores SBR</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibe los lixiviados provenientes de Pondaje 7.</li> <li>• El SBR NORTE recibe caudal de aire de dos (2) sopladores.</li> <li>• El SBR SUR no recibe caudal de aire por colmatación de lodos en el tanque. Recibe lixiviados de Secador de Lodos.</li> <li>• Presenta un recubrimiento con geomembrana. No cuenta con un sistema de salida apropiado para un SBR.</li> </ul>
--	--


Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Tabla 1. Parámetros SBR Norte y Sur**

<b>SBR Norte</b>	<b>SBR Sur</b>
<b>Volumen:</b> 12688 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 11007 m <sup>3</sup>
<b>Largo:</b> 100 m	<b>Largo:</b> 98 m
<b>Ancho:</b> 28 m	<b>Ancho:</b> 27 m
<b>Altura efectiva:</b> 6,0 m	<b>Altura efectiva:</b> 6,0 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 6.** Unidad de tratamiento: Pondaje Oriental y Occidental

<p><b>Figura 10.</b> Pondaje Oriental-Occidental</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los lixiviados que se rebosan de la caja de entrada de la PTL, son transportados a este pondaje.</li> <li>• La succión de los lixiviados se realiza por medio de bombas centrifugas.</li> <li>• Presenta un recubrimiento con geomembrana</li> </ul>
--	---


Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Tabla 2.** Parámetros Pondaje oriental y occidental

<b>Pondaje oriental</b>	<b>Pondaje occidental</b>
<b>Volumen:</b> 999 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 999 m <sup>3</sup>
<b>Área:</b> 333 m <sup>2</sup>	<b>Área:</b> 333 m <sup>2</sup>
<b>Altura efectiva:</b> 3,0 m	<b>Altura efectiva:</b> 3,0 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 7.** Unidad de tratamiento: Físicoquímico 3-1

<p><b>Figura 11.</b> Físicoquímico 3-1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibe caudales provenientes de pondajes oriental y occidental. Además de lixiviados descargados de los SBR.</li> <li>• Fabricados en concreto. Cuentan con mezcladores para mezcla lenta y rápida. Además de medidores de pH.</li> <li>• Se adiciona Poli cloruro de aluminio y polímero catiónico, para propiciar las reacciones que dan lugar a la coagulación y floculación.</li> </ul>
--	--


Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos 3 -1

<b>Tratamiento fisicoquímico 3</b>	
<b><i>Mezcla rápida</i></b>	<b><i>Mezcla lenta</i></b>
<b>Volumen:</b> 2,65 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 30,32 m <sup>3</sup>
<b>Largo:</b> 1,70 m	<b>Largo:</b> 5,40 m
<b>Ancho:</b> 1,50 m	<b>Ancho:</b> 2,70 m
<b>Altura efectiva:</b> 1,04 m	<b>Altura efectiva:</b> 2,08 m
<b>Tratamiento fisicoquímico 1</b>	
<b><i>Mezcla rápida</i></b>	<b><i>Mezcla lenta</i></b>
<b>Volumen:</b> 2,65 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 30,32 m <sup>3</sup>
<b>Largo:</b> 1,70 m	<b>Largo:</b> 5,40 m
<b>Ancho:</b> 1,50 m	<b>Ancho:</b> 2,70 m
<b>Altura efectiva:</b> 1,04 m	<b>Altura efectiva:</b> 2,08 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 8.** Unidad de tratamiento: sedimentador Terciario y Primario

<p><b>Figura 12.</b> Sedimentador 3rio y 1rio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibe el agua residual proveniente de los sistemas Físico Químico 3 y Físico Químico 1.</li> <li>• Fabricados en concreto.</li> <li>• En dicha unidad por efecto de la gravedad retira los floc's físico químicos generados en las unidades anteriores.</li> </ul>
---	--

Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Tabla 4.** Parámetros sedimentador terciario y primario

<b>Sedimentador terciario</b>	<b>Sedimentador primario</b>
<b>Volumen:</b> 362,24 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 230,62 m <sup>3</sup>
<b>Diametro efectivo:</b> 11,63 m	<b>Diametro efectivo:</b> 9,52 m
<b>Altura efectiva:</b> 3,41 m	<b>Altura efectiva:</b> 3,24 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

### 2.1.2.2 Línea B. Línea de tratamiento biológico de la PTL

**Cuadro 9.** Unidad de tratamiento: Pondaje Zona II

<p><b>Figura 13.</b> Pondaje Zona II</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compuesto por cuatro (4) pondajes interconectados entre sí, los cuales almacenan los lixiviados salientes de los SBR.</li> <li>• El Pondaje 2.3 recibe lixiviados provenientes de Zona II y Zona I.</li> <li>• Presenta un recubrimiento con geomembrana.</li> <li>• El canal aguas abajo de dichos pondajes reciben lixiviados de Zona IV, que son transportados hacia la caja de entrada.</li> </ul>
--	---


Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Tabla 5.** Parámetros de Pondaje 2.1-2.2

<b>Pondaje 2.1</b>	<b>Pondaje 2.2</b>
<b>Volumen:</b> 8583 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 8654 m <sup>3</sup>
<b>Altura:</b> 5,0 m	<b>Altura:</b> 5,0 m
<b>Pondaje 2.3</b>	<b>Pondaje 2.4</b>
<b>Volumen:</b> 7413 m <sup>3</sup>	<b>Volumen:</b> 6300 m <sup>3</sup>
<b>Altura:</b> 5,0 m	<b>Altura:</b> 5,0 m


Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 10.** Unidad de tratamiento: Caja de entrada PTL

<p><b>Figura 14.</b> Caja entrada PTL</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recibe los lixiviados provenientes de pondajes Zona II.</li><li>• Los lixiviados almacenados son bombeados hacia la unidad de predesnitrificación.</li><li>• Cuando el caudal que ingresa es mayor, se rebosa hacia pondajes oriental y occidental.</li><li>• Fabricados en concreto.</li><li>• <b>Volumen:</b> 23,7 m<sup>3</sup></li><li>• <b>Altura efectiva:</b> 1,1 m</li><li>• <b>Largo:</b> 6,1 m</li><li>• <b>Ancho:</b> 3,52 m</li></ul>
---	---

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 11.** Unidad de tratamiento: Pre-desnitrificador

<p><b>Figura 15.</b> Pre desnitrificador</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recibe los lixiviados bombeados desde caja de entrada. De otro lado, recibe recirculación de lodos provenientes del sedimentador secundario.</li><li>• Contiene un agitador mecánico.</li><li>• Fabricados en concreto.</li><li>• <b>Volumen:</b> 383 m<sup>3</sup></li><li>• <b>Diámetro efectivo:</b> 10 m</li><li>• <b>Altura efectiva:</b> 4,88 m</li></ul>
---	---

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 12.** Unidad de tratamiento: Zanjón de Oxidación Oriental y Occidental

**Figura 16.** Zanjón Oxidación Oriental y Occidental



- Recibe aguas tratadas del pre desnitrificador.
- Los procesos aerobios se generan gracias a la alimentación de aire a través de difusores de burbuja fina.
- Se evidencia la avería de alguna parrilla de difusores en el pondaje oriental.
- Fabricados en concreto
- **Volumen:** 8558,5 m<sup>3</sup>
- **Largo:** 63 m
- **Ancho:** 20,90 m
- **Altura efectiva:** 6,50 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 13.** Unidad de tratamiento: Post-desnitrificador

**Figura 17.** Post desnitrificador



- Recibe aguas tratadas de los zanjones de oxidación.
- Contiene un mezclador mecánico que propicia las condiciones anóxicas.
- **Volumen:** 383,3 m<sup>3</sup>
- **Diámetro efectivo:** 10 m
- **Altura efectiva:** 5 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Cuadro 14.** Unidad de tratamiento: Sedimentador secundario

**Figura 18.** Sedimentador secundario



- Recibe el agua residual proveniente del sistema de pos des-nitrificación.
- Fabricados en concreto.
- En dicha unidad por efecto de la gravedad retira los floc's biológicos generados en las unidades anteriores.
- **Volumen:** 719,8 m<sup>3</sup>
- **Diámetro efectivo:** 16 m
- **Altura efectiva:** 3,6 m

Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**2.1.3 Función de cada unidad en el tratamiento fisicoquímico.** Este numeral se describe con base a otro capítulo suministrado por la PTL del Relleno que también puede ser observado en el Anexo B.

**2.1.3.1 Pondaje 7.** Esta unidad actualmente recibe caudales provenientes de zona VII, zona VIII y optimización, que en promedio son 16 L/s. Dicho pondaje consta de una capacidad total de 3709 m<sup>3</sup>. De acuerdo con los registros de caudal analizados el caudal máximo que llegaría al pondaje 7 sería de 825 L/s para un tiempo de retención de 4 horas, caudal que sobrepasa el caudal medio, de tal manera que el pondaje cuenta con la capacidad suficiente para amortiguar dicho caudal.

**2.1.3.2 Secador de lodos.** El pondaje que ha sido denominado secador de lodos almacena de forma temporal los lixiviados provenientes de las celdas Biosólidos y Mansión. Dicho pondaje tiene una capacidad aproximada de 1047 m<sup>3</sup>. El objetivo actual del pondaje es almacenar dichos lixiviados.

**2.1.3.3 SBR norte y SBR sur.** Los tanques denominados SBR podrán efectivamente operar como reactores de cargas secuenciales bajo la modalidad de lodos activados por aireación extendida, para caudales entre 12,37 L/s y 25,48 L/s.

**2.1.3.4 Fisicoquímico 3.** El sistema físico químico de la planta de tratamiento de lixiviados recibe los caudales provenientes de los pondajes Oriental y Occidental por medio de una bomba centrífuga, así como de uno de los SBR Norte y Sur. La estructura cuenta con tres recamaras en las cuales se efectúan los procesos de mezcla rápida y lenta para llevar a cabo las reacciones de coagulación y floculación. De acuerdo con los registros y en términos de tiempos de retención hidráulica, se estima que la cámara rápida opera en rangos de caudales que oscilan entre 178,5 L/s y 45 L/s. Por otra parte, la cámara 2 y 3 podrían operar en rangos de caudales de 11,34 L/s y 34,02 L/s y 18 L/s y 6 L/s respectivamente.

**2.1.3.5 Sedimentador terciario.** Los flóculos fisicoquímicos generados en el proceso de mezcla lenta (floculación) son enviados por gravedad hacia un sedimentador o decantador terciario, con el fin de separarlos del efluente tratado. El decantador es una unidad que aprovecha la densidad de las partículas presentes en el agua para permitir su precipitación. Con base en los registros se determina que la capacidad instalada del decantador terciario esta entre 39,34 L/s y 50,2 L/s.

**2.1.3.6 Fisicoquímico 1.** Posterior al paso del sedimentador terciario, el agua se conduce hacia un tanque de neutralización, el cual cuenta con bombas sumergibles que transportan el lixiviado hacia el sistema fisicoquímico. Dicho sistema recibe los caudales provenientes de los pondajes Oriental y Occidental de la planta de tratamiento por medio de la misma manguera que lleva el lixiviado hacia el sistema fisicoquímico 3.

También cuenta con tres recamaras en las cuales se generan los efectos de mezcla rápida y lenta para llevar a cabo las reacciones químicas en los procesos de coagulación y floculación. Se estima que la cámara de mezcla rápida puede operar en rangos de caudales que oscilan entre 27 L/s y 107,7 L/s. Por otro lado, la cámara 2 y 3 podrían opera en rangos de caudales de 4,9 L/s – 14,7 L/s y 4,9 L/s – 14,7 L/s respectivamente.

**2.1.3.7 Sedimentador primario.** Durante este proceso de tratamiento el sedimentador primario cumple la misma función del sedimentador terciario, es decir, que los flóculos fisicoquímicos formados son retirados por efecto de la gravedad en dichas unidades. Se determina que la capacidad instalada del decantados terciario esta entre 26,36 L/s y 32 L/s.

## 2.2 CAUDAL DE LIXIVIADO EN LA PTL

**2.2.1 Zonas de generación.** Antes de especificar cada una de las unidades donde se lleva a cabo el tratamiento de lixiviados en el Relleno Sanitario Doña Juana se realizó la revisión de cómo están distribuidos los caudales dentro del relleno, debido a que algunas unidades reciben estos caudales de zonas específicas. Partiendo de cómo se encuentra distribuido el Relleno. Además de tener en cuenta el caudal vertido a través del tiempo, se incluyen las variaciones climáticas de la región, así como la variación de las concentraciones de ciertos contaminantes.

Para determinar los caudales que se están generando en el Relleno Doña Juana, y así evaluar la capacidad de tratamiento de las unidades que actualmente están operando en la Planta de Lixiviados, se analizaron los registros de caudales para año 2018 en las celdas que se encuentran en operación y aquéllas que, a pesar de haber sido clausuradas en años anteriores, aún generan lixiviados, aunque en menor proporción. Las celdas analizadas se muestran a continuación:

**Figura 19.** Zona VII, Zona VIII y Optimización



Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana



**Figura 20.** Zona I y Zona II Relleno Sanitario Doña Juana



Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Figura 21.** Zona Biosólidos y Zona Mansión



Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

**Figura 22.** Zona IV  
Relleno Sanitario Doña  
Juana



Fuente: Documentación  
otorgada de registros  
Relleno Doña Juana

**2.2.2 Cálculo de caudal.** Acorde a la información otorgada acerca de los caudales totales por mes, se logrará establecer el caudal total que en promedio está generando el Relleno Sanitario Doña Juana. De igual manera se calcula el caudal por celda de forma separada y de esta manera lograr conocer los puntos donde se genera el mayor caudal de lixiviados. A continuación, se muestra el consolidado de caudales de lixiviados mensualmente en la PTL. con su respectivo análisis estadístico que consiste en el cálculo de promedio, mediana, moda, desviación estándar y coeficiente de variación.

**2.2.3 Caudal anual de la PTL.** El consolidado de los datos por mes de caudal de lixiviado del relleno sanitario Doña Juana se presentan en la Tabla 7. En el Anexo D se encuentra la información correspondiente al análisis estadístico.

**Tabla 6.** Consolidado de caudales de lixiviados por mes en la PTL

Mes	Qmáx (L/s)	Qmín (L/s)	$\bar{X}$	Me	Mo	S	Cv
Enero	26,70	7,42	16,67	14,92	11,43	5,59	33,57
Febrero	24,74	4,57	15,51	14,53	12,56	4,15	26,77
Marzo	29,26	9,46	13,53	12,71	11,06	3,57	26,41
Abril	29,52	10,48	17,46	15,63	11,95	4,62	26,45
Mayo	46,69	14,17	26,15	26,13	26,07	7,30	27,91
Junio	40,16	16,04	24,94	24,70	24,21	5,08	20,36
Julio	30,30	16,49	22,48	22,08	21,28	3,79	16,84
Agosto	36,41	15,03	20,44	19,43	17,41	4,94	24,16
Septiembre	26,52	13,74	18,13	17,51	16,27	3,37	18,59
Octubre	28,28	9,36	17,26	16,50	14,98	3,76	21,80
Noviembre	27,62	9,17	16,13	15,71	14,86	4,55	28,20
Diciembre	16,54	10,99	13,37	13,21	12,88	1,26	9,44
<b>SUMA</b>	<i>362,74</i>	<i>136,92</i>	<i>222,07</i>	<i>213,06</i>	<i>194,96</i>		
<b>PROMEDIO</b>	<i>30,22</i>	<i>11,41</i>	<b>18,51</b>	<b>17,76</b>	<b>16,25</b>		

Fuente: Elaboración propia en base a documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

Como se logra observar en la tabla anterior, se realiza el cálculo del caudal promedio del relleno sanitario Doña Juana, esto con los datos de los caudales mensuales del año 2018, dando como resultado un caudal de **18,5 L/s**. Adicionalmente se mencionan los parámetros estadísticos de mediana y moda, donde sus promedios al año son de **17,76 L/s** y **16,5 L/s** respectivamente. Los valores de desviación estándar de los caudales para el año 2018 presentan una dispersión importante de los datos con relación a la media, principalmente en enero, mayo y noviembre, es decir que dichos caudales pueden presentar variaciones considerables.

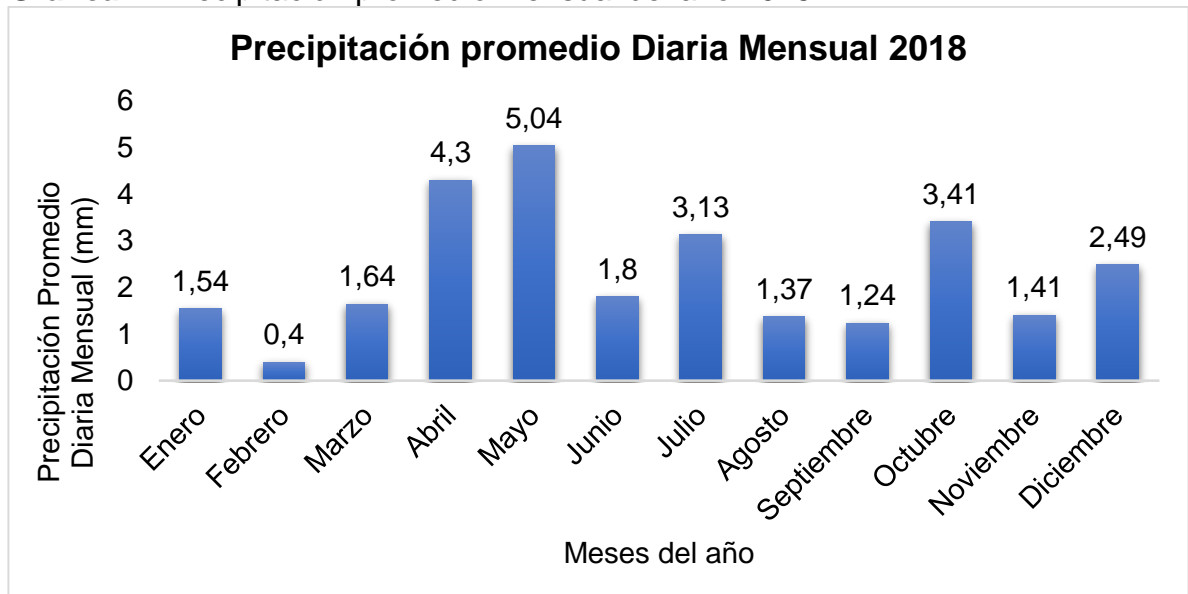
Además de esto, debido la posible incertidumbre de los datos analizados se toma el valor más alto de los caudales promedio calculados, donde se determina en **18,5 L/s** el caudal promedio generado por el Relleno Sanitario Doña Juana.

De tal manera que el caudal máximo mensual es de **36,41 L/s**, para un promedio anual máximo de **30,2 L/s**; Por otro lado, el caudal mínimo mensual es de **7,42 L/s** para un promedio anual mínimo de **11,7 L/s**.

En base a los datos obtenidos, se establece que el caudal promedio total que genera el relleno Doña Juana es de **18,5 L/s**.

Este valor es importante para fines de la propuesta que se quiere presentar con respecto al tratamiento fisicoquímico en la planta de tratamiento de lixiviados y también para comparar con la capacidad instalada que se mencionara posteriormente. Adicional de este caudal interfiere la corriente proveniente de las precipitaciones a lo largo del año. Las precipitaciones en promedio que se registran en el relleno sanitario se presentan en la siguiente gráfica.

**Gráfica 1.** Precipitación promedio mensual del año 2018



Fuente: Documentación otorgada de registros Relleno Doña Juana

De acuerdo con los registros de caudal promedio mensual generados en el Relleno Sanitario Doña Juana, aquellos meses que presentan caudales pico son en los meses de mayo y junio, caudales que prácticamente coinciden con los valores anteriores de precipitación en el Relleno. Esto implica que los valores analizados tienen en cuenta las aguas lluvias que se infiltran.

**2.2.4 Comportamiento de caudal en Físicoquímico 3 y 1.** En el funcionamiento de la planta de tratamientos de lixiviados se distribuye en diferentes unidades de tratamiento. A continuación, se presenta los caudales que se han registrado en los meses de enero, febrero y marzo del año 2019 con respecto a las unidades de tratamiento físicoquímico 3 y 1 otorgados por el Relleno, donde básicamente se desarrolla el presente proyecto, ya que son estas unidades a las que se pueden realizar modificaciones.

**Tabla 7.** Caudal de entrada a físicoquímico 3

<b>Entrada Físicoquímico 3</b>			
Mes	Caudal promedio (L/s)	Caudal máximo (L/s)	Caudal mínimo (L/s)
Enero	7,81	48,83	9,13
Febrero	7,22	32,49	9,10
Marzo	7,87	41,56	12,02
<b>Suma</b>	22,90	122,89	30,25
<b>Promedio</b>	7,63	37,03	10,56

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8.** Caudal de entrada a físicoquímico 1

<b>Entrada Físicoquímico 1</b>			
Mes	Caudal promedio (L/s)	Caudal máximo (L/s)	Caudal mínimo (L/s)
Enero	9,79	61,18	11,02
Febrero	9,37	38,97	11,67
Marzo	9,18	44,58	22,75
<b>Suma</b>	28,34	144,73	45,44
<b>Promedio</b>	9,45	41,78	17,21

Fuente: elaboración propia.

Acorde al muestreo realizado durante estos primeros meses del año 2019 se logra evidenciar un caudal de entrada a la unidad de físicoquímico 3 en promedio de 7,63 L/s, para el caso del físicoquímico 1 de 9,45 L/s.

Éste difiere ya que son alimentadas por zonas de diferente capacidad de almacenamiento. Los datos obtenidos proporcionan información para las alternativas que se expondrán posteriormente, así como el escalamiento y análisis de costos.

## 2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL LIXIVIADO

**2.3.1 DQO, DBO, SST y Nitrógeno Amoniacal.** Para la primera fase de la caracterización del proyecto se presentan los datos de DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), Sólidos suspendidos totales y Nitrógeno amoniacal, considerados como los parámetros básicos de diseño para la alternativa a proponer, ya que estos son los que llevan un riguroso seguimiento en cuanto a medición y son los parámetros que también se encuentran por fuera de especificaciones en la normatividad del vertimiento (Resolución 631 de 2015) por ende, se consideran significativos los resultados que puedan llegar a presentar al culminar el pretratamiento a proponer.

A continuación, se mencionan resumidos los datos de las caracterizaciones en promedio realizadas a la salida de las unidades que componen la línea A del tratamiento de lixiviados. Las fechas de este muestreo comprenden desde octubre del año 2018 a marzo del presente año. Siendo muestras representativas en las unidades y con las que se puede visualizar un comportamiento con respecto a estos parámetros.

La técnica empleada por el personal de los laboratorios de CGR Doña Juana para la determinación de los siguientes parámetros (DBO, DQO, SST y Nitrógeno Amoniacal) se describe a continuación y para la recolección de la muestra se tiene en cuenta el Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales elaborado por la subdirección de hidrología y grupo de laboratorio de calidad ambiental del IDEAM.

**2.3.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).** La oxidación microbiana es una de las reacciones primordiales que ocurren en los cuerpos naturales de agua y esta constituye una demanda de oxígeno ejercida por los microorganismos la cual debe ser cuantificada. Esta medida supone la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en los residuos<sup>60</sup>.

- Preparación del agua en dilución
- Verificación del agua de dilución y blanco
- Preparación de la semilla o cepa
- Estándar de glucosa y ácido glutámico
- Pretratamiento de la muestra
- Procedimiento del análisis de la muestra

---

<sup>60</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM: Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. [Consulta: 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

**2.3.1.2 Demanda Química de Oxígeno (DBO).** Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua, bajo las siguientes condiciones en específico: agente oxidante, temperatura y tiempo. La muestra se oxida mediante reflujo cerrado en solución ácida<sup>61</sup>, en la que se tienen los siguientes pasos principales:

- Digestión de la muestra
- Valoración del titulante
- Titulación de las muestras

**2.3.1.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados por la acción de arrastre y soporte del movimiento de agua. Es un método gravimétrico que se basa en la retención de partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio, en donde se hace pasar una muestra homogénea y el residuo que ésta genera se seca a 103-105°C. Por lo que el incremento en peso del filtro es lo que representa la cantidad de sólidos suspendidos totales<sup>62</sup>.

**2.3.1.4 Nitrógeno Amoniacal.** El método está basado en la determinación de nitrógeno amoniacal por electrodo selectivo de amoníaco, el cual utiliza una membrana permeable al gas para separar la solución de muestra de una solución interna del electrodo de cloruro de amonio. Donde se lleva a cabo la respectiva curva de calibración, la medición de las muestras y el procesamiento de datos para los resultados<sup>63</sup>.

---

<sup>61</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM:. Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. [Consulta 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

<sup>62</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM:. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. [Consulta 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

<sup>63</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM:. Nitrógeno amoniacal en agua por electrodo selectivo de amoníaco (Orion). [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitr%C3%B3geno+Amoniacal+en+Agua+por+Electrodo+Selectivo+de+Amoniaco..pdf/835f77f7-2dba-48ce-abd3-56ab30013b82>

**Tabla 9.** Caracterización fisicoquímica en salida de unidades de tratamiento

<b>Parámetro</b>	<b>SBR Norte</b>	<b>SBR sur</b>	<b>Fisicoquímico 3</b>	<b>Fisicoquímico 1</b>
DBO (mg/L)	1733	14747	5499	6571
DQO (mg/L)	8099	24972,2	5010,05	5343,86
SST (mg/L)	1010	2242,24	1206,71	1158,95
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	2968	1427,09	1632,23	1628,5

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal a cargo de la caracterización en la PTL.

**Tabla 10.** Consolidado % de Eficiencia en remoción de SBR Norte

<b>Parámetro</b>	<b>SBR Norte</b>		<b>Eficiencia (%)</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	
DQO (mg/L)	7591	6806	10
DBO (mg/L)	1911	789	58
SST (mg/L)	867	1065	-22
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	3408	3150	7,5

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal a cargo de la caracterización en la PTL.

**Tabla 11.** Consolidado % de Eficiencia de remoción de SBR Sur

<b>Parámetro</b>	<b>SBR Sur</b>		<b>Eficiencia (%)</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	
DQO (mg/L)	7651	26783	-250
DBO (mg/L)	2113	15683	58
SST (mg/L)	841	1957	-22

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal a cargo de la caracterización en la PTL.

Las caracterizaciones analizadas permiten determinar que, al ser repartidos los flujos de los caudales en las diferentes unidades de tratamiento, no se están cumpliendo las eficiencias de remoción esperadas por el tratamiento en esta planta y para las que fue diseñada. Ejemplo de esto, es el aumento de los valores de sólidos suspendidos cuando ingresa o cuando sale de los SBR, esto se debe a que estas unidades no operan exactamente como reactores de cargas secuenciales por las siguientes razones:

En primera medida no hay inyección controlada de aire, no existe la manera de incluirse ciclos alternados de llenado, reacción, sedimentación y decantación. Además, el elemento de extracción del líquido clarificado consiste simplemente en un tubo de salida y existe un aporte descontrolado de lixiviados provenientes de



Secador de lodos al SBR sur, el cual no cuenta con un dispositivo de aireación (este se encuentra operando como una laguna de sedimentación en vez de un reactor biológico). Adicional a esto, ninguno de los cuatro parámetros mencionados cumple con la normatividad vigente en vertimientos (Resolución 631 de 2015).

### 2.3.2 pH.

**Tabla 12.** Consolidado mensual de pH año 2018.

<b>Mes</b>	<b>pH (unidades)</b>
Enero	8,54
Febrero	8,77
Marzo	8,82
Abril	8,92
Mayo	8,58
Junio	8,50
Julio	8,4
Agosto	8,4
Septiembre	8,8
Octubre	8,44
Noviembre	8,28
Diciembre	8,4
<b>Promedio</b>	<b>8,57</b>

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal de la PTL.

Como se evidencia en la tabla acerca de las mediciones de pH mes a mes del año 2018, presenta un comportamiento constante entre un rango de 8,28 a 8,92 unidades de pH obteniendo como promedio un pH de 8,57. Se esperaría que el pH aumente con la edad del lixiviado, ya que coincide con la reducción de los AGV (Ácidos Grasos Volátiles) y estos se pueden convertir en metano o dióxido de carbono<sup>64</sup>.

Luego de realizar la caracterización de las muestras mencionadas, se logra recolectar el histórico del comportamiento de la calidad del lixiviado para el año 2018, donde se presentan cada uno de los parámetros, su medición por mes y el promedio de cada uno de los parámetros comparado con los valores máximos permisibles en los vertimientos de la norma 631 de 2015. El histórico se presenta en el Anexo D.

<sup>64</sup> TORRES LOZADA, Patricia; et al. Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad: Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica [en línea]. 2014, enero-junio, 17 (1). 245 – 255. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>

Según estos datos, se logra identificar que parámetros como:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB5)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Grasas y aceites
- Aluminio (Al)
- Arsénico (As)
- Cadmio (Cd)
- Cinc (Zn)
- Cromo (Cr)
- Manganeseo (Mn)
- Molibdeno (Mo)
- Níquel (Ni)
- Plomo (Pb)
- Vanadio (V)

No cumplen con la normatividad vigente de vertimiento, acorde a esto el Relleno Doña Juana ya se encuentra trabajando en la instalación de la planta de osmosis inversa que a través del sistema de filtros y membrana conseguirá eliminar los niveles de metales pesados y sales minerales como Plomo, Sodio y Nitratos. Además de este sistema las alternativas propuestas ayudarán a disminuir contaminantes como: Níquel (Coagulación-Floculación), Plomo (Oxidación química), Mercurio y Cadmio (Coagulación-Floculación), grasas y aceites (Coagulación-Floculación).

Sin embargo, la propuesta no tiene como alcance el tema para disminuir directamente contaminantes como: Cromo, Manganeseo y Molibdeno. Así que de esta manera se tendría que incluir una propuesta complementaria el pretratamiento como puede ser: una micro filtración previa, esta suele utilizarse como pretratamiento para la osmosis inversa y permite remover materia organica, solidos suspendidos, pequeños coloidales, bacterias y turbidez.

Según los datos obtenidos del histórico del año 2018 se evidencia que los parámetros que más presentan variación mes a mes son: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos suspendidos Totales (SST) y grasas y aceites. La Demanda Química de Oxígeno varía entre 7188 mg/L a 19606 mg/L, presentando un comportamiento ascendente, para el caso del DBO inicia con 2784 mg/L a 12348 mg/L, tiene también un comportamiento ascendente a través del tiempo, igual es el caso para los Sólidos suspendidos Totales (SST) estos varían de 439 (mg/L) a 1623 (mg/L). Otro parámetro que tiene un incremento significativo es el de las grasas y aceite que inicia con 6.25 (mg/L) a 792 (mg/L)

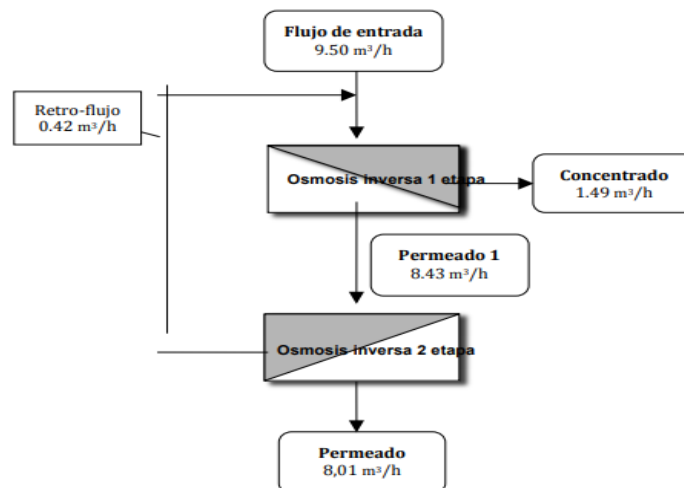
## 2.4 ESPECIFICACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADO CON TÉCNICA OSMOSIS INVERSA

### 2.4.1 Descripción de la planta de osmosis inversa.

- El flujo pre tratado es presurizado por una bomba de alta presión y alimenta a la primera fase de ósmosis inversa.
- La primera fase consta de 5 bloques sucesivos, cada uno constituido por un conjunto de hasta 5 membranas. Las bombas de recirculación garantizan una concentración casi constante en todo el bloque.
- El flujo entra en el módulo a una presión de 25 - 65 bar (máximo 75 bar). Parte del agua (permeado) fluye hacia el tubo central.
- El concentrado alimenta al siguiente bloque; Este procedimiento se repite en todos los módulos.
- El concentrado sale de la planta al final del último bloque a través de la válvula de control de presión que controla el flujo de concentrado preestablecido.
- El permeado de la primera fase se puede suministrar a la segunda fase sin tanque de almacenamiento intermedio.
- El permeado de la segunda etapa saldrá de la planta y se recogerá en un tanque de almacenamiento externo, se controla el valor del pH y la temperatura.

A continuación, se presenta un balance de masa de una planta de osmosis inversa de 75000 m<sup>3</sup>, el cual representa el caudal actual del relleno Sanitario con el cual se implementarían 9 unidades para tratar la mayor cantidad del lixiviado actual.

**Figura 23.** Balance de masa en planta de ósmosis inversa



Fuente: C-DEG, S.A.S. Planta de ósmosis inversa C-Deg 2017. p 1-13

**2.4.2 Especificaciones técnicas del sistema de osmosis inversa.** En la siguiente tabla se relacionan los datos que por ficha técnica de las membranas son los parámetros óptimos para que el sistema funcione en su total efectividad, comparados con la calidad actual del lixiviado en promedio del año 2018. En el Anexo F se encuentra la ficha técnica de las membranas con su respectivo proveedor. Los valores registrados en la columna “Calidad actual” fueron caracterizados por parte de ASINAL S.A.S. El informe con sello de la empresa no se registra, pero los datos fueron suministrados por la directora de nuestro proyecto y se evidencian en el Anexo E.

**Tabla 13.** Ficha técnica membrana (osmosis inversa) vs calidad actual de lixiviado

Parámetros	Lixiviado de entrada	Calidad actual
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)</b>	< 4.000	6423
<b>Demanda química de Oxígeno (mg/L)</b>	< 10.000	11721
<b>Nitrógeno amoniacal (mg/L)</b>	< 1.000	760
<b>Nitrógeno total</b>	< 1.000	2569
<b>Nitrito de nitrógeno (mg/L)</b>	< 10	0.05
<b>Nitrato de nitrógeno (mg/L)</b>	< 30	0.60
<b>Sulfato (mg/L)</b>	< 150	172.3
<b>Cloruro (mg/L)</b>	< 5.000	3506.43
<b>Fosforo (mg/L)</b>	< 20	14.0
<b>Sólidos disueltos totales (g/L)</b>	< 10	0.10
<b>Sólidos suspendidos (mg/L)</b>	< 120	871
<b>Hidrocarburo absorbible halogenado AOX (mg/L)</b>	1,8	0.85
<b>Temperatura (°C)</b>	20	18.80
<b>Calcio (mg/L)</b>	< 150	No Registra
<b>Hierro (mg/L)</b>	< 50	No Registra
<b>Numero de pH</b>	7.6	8.43
<b>Mercurio (mg/L)</b>	< 0.05	0.02
<b>Cadmio (mg/L)</b>	< 0.005	0.04
<b>Cromo (mg/L)</b>	< 1.0	0.56
<b>Níquel (mg/L)</b>	< 0.1	0.51
<b>Plomo (mg/L)</b>	< 0.001	0.11
<b>Cobre (mg/L)</b>	< 0.07	0.17
<b>Cinc (mg/L)</b>	< 0.5	0.48
<b>Silicio (mg/L)</b>	< 30	No Registra
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	< 20.000	No Registra

Fuente: elaboración propia con base en valores presentados en los Anexos E y F.

Teniendo en cuenta los valores registrados en la tabla anterior, se puede observar que hay parámetros los cuales no se están cumpliendo en el efluente. Esto se debe principalmente a que la corriente pertenece a un lixiviado joven y hay varias razones por las cuales los parámetros, comparándolos con la ficha técnica de la membrana de ósmosis, están incumpliendo.

Para DBO y DQO la relación en un lixiviado joven es alta, permitiendo una mayor biodegradabilidad de la materia orgánica<sup>65</sup>. Respecto a la concentración del Nitrógeno Total (2569 mg/L), para lixiviados jóvenes el rango oscila entre 100-1000 mg/L, es decir que está en una fase de estabilización de transición y a medida que el lixiviado vaya envejeciendo, la concentración disminuiría hasta rangos de Fase de Acidogénesis-Metanogénesis (1030-430) mg/L<sup>66</sup> y así poder cumplir con la expectativa de la membrana.

Respecto a los sulfatos, cabe mencionar que al tener contenidos elevados de sulfatos, insolubilizan los metales pesados presentes minimizando la toxicidad<sup>67</sup>.

## 2.5 Verificación de unidades del sistema de tratamiento

Por último, dentro del diagnóstico es importante conocer todas las unidades de tratamiento con el fin hacer una descripción de su funcionamiento actual y las posibles mejoras que se harían con el fin de llegar a cumplir con los parámetros fisicoquímicos del lixiviado. A continuación, se muestra una tabla de cada unidad con su respectivo funcionamiento y la posible mejora que se le podría realizar.

---

<sup>65</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. En: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. [sitio web]. [Consulta 10 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

<sup>66</sup> FONDO SOCIAL EUROPEO. Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados. [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixivados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixivados_11_JUN_2010.pdf)

<sup>67</sup> SANCHA ANTUÑA, Melania. Caracterización físico-química y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero. [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad de Oviedo, 2013. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM\\_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf)

**Cuadro 15.** Verificación de unidades de tratamiento de PTL

<b>UNIDAD</b>	<b>Principio</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Problemática</b>	<b>Posible Mejora</b>
<b>Pondajes</b>	Son unidades estacionarias (piscinas de gran volumen) en las que se almacenan los lixiviados.	Son unidades de paso o almacenamiento. Genera el metabolismo para la materia orgánica.	Actualmente no hay problemática seria con los Pondajes, aunque en ciertas ocasiones puede haber rebosamiento de los mismos.	Si tienen posibilidad de mejora al ser utilizados, ya sean como sedimentadores preliminares o como tanques de homogeneización
<b>Secador de lodos</b>	Actúa como unidad en donde los lodos provenientes de una unidad de sedimentación son deshidratados y retirados.	El pondaje secador de lodos recibe caudales provenientes de Biosólidos y Mansión. Los lixiviados almacenados actualmente son bombeados hacia SBR SUR.	El Secador de Lodos está cumpliendo la función de ser un pondaje más. Los pondajes al rebosar su volumen, se bombea lixiviado a esta unidad. El sacador de lodos se diseña es para homogenizar y sedimentar material denso y compacto con el fin de disminuir los sólidos suspendidos.	Si tiene posibilidad de mejoramiento ya que se propone rediseñarlo separándolo en dos secciones: el primer compartimiento sería un sedimentador preliminar el cual busca retirar aquellos sólidos que por efecto de la gravedad se sedimentarían y una segunda parte como tanque de homogeneización, que permitiría manejar un volumen a bombear de manera controlada.

**Cuadro 15. (Continuación)**

<b>UNIDAD</b>	<b>Principio</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Problemática</b>	<b>Posible Mejora</b>
<b>Reactores SBR</b>	<p>El SBR es un proceso de lodos activados en estado no estacionario, de llenado y descarga. Tienen como objetivo sedimentar por medio de una aireación controlada fangos o lodos y clarificar una corriente de agua residual.</p>	<p>Actualmente no están actuando como reactores, pero su instalada permite albergar los volúmenes suficientes para su acondicionamiento. Cumple con las 5 fases de operación, llenado, reacción, sedimentación, decantación e inactividad.</p>	<p>A los reactores están ingresando algunos lixiviados sin una sedimentación preliminar y se está promoviendo a la colmatación de lodos en la unidad. También no hay un ciclo de aireación controlada por lo que la cantidad de sólidos sedimentables aumenta considerablemente.</p>	<p>Si tiene posibilidad de mejoramiento ya que se requiere airear de manera efectiva el lixiviado alimentado al tanque. Debe cumplirse con el objetivo de remoción parcial de carga orgánica (DBO, DQO y SST). Además de la alta carga de nitrógeno amoniacal del lixiviado.</p>
<b>Decantador</b>	<p>Es una unidad que aprovecha la densidad de las partículas presentes en el agua para permitir su precipitación. También, la adición de coagulantes y floculantes favorecen la separación de los sólidos en suspensión.</p>	<p>Harían parte de las unidades SBR. Los "flóculos" generados en los reactores serían conducidos hasta los decantadores para su recolección.</p>	<p>Actualmente no hay inconveniente alguno con los decantadores debido a que los reactores no los tienen. Sin embargo, cabe mencionar que si no se emplean habría varios inconvenientes con la acumulación de los lodos y la disposición también del agua clarificada.</p>	<p>Es el equipo más importante en el sistema SBR aparte de los sopladores (suministros de aire). Los componentes básicos del decantador incluyen: Vertedero de recolección de agua tratada, sistema de retención de sobrenadantes y actuador electromecánico.</p>

**Cuadro 15. (Continuación)**

UNIDAD	Principio	Funcionamiento	Problemática	Posible Mejora
<b>Tanques de Homogeneización (Pondajes Oriental y Occidental)</b>	El tanque de homogeneización es un tanque con la función de homogeneizar el flujo entrante, tanto en caudal como en composición. El tanque asegura la entrada a la estación depuradora de un caudal constante, amortizando las variaciones de caudal durante el tiempo <sup>68</sup> .	Sirven actualmente como tanques de homogeneización por baches. Esto Permite homogenizar la calidad del agua antes de ingresar al tratamiento físico químico, buscando una calidad constante.	Los pondajes no cuentan con falencias actualmente en su funcionamiento. Son unidades de paso para los lixiviados que han sido tratados en etapas posteriores y prepararlos para el tratamiento fisicoquímico.	Si tienen posibilidad de mejora, ya que la idea es también seccionarlos como tanque homogeneizador, que además de realizar una mezcla, también se garantice un volumen de control que se pueda disponer después a las unidades de tratamiento fisicoquímico.
<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO</b>	Es el constituido por tratamientos químicos, tales como Precipitación, Coagulación y Floculación, seguidos de una operación básica de separación de fases (sólido-líquido o líquido-líquido) como la Sedimentación o Flotación principalmente además de centrifugación, filtración, etc <sup>69</sup> .	La estructura cuenta con tres recámaras en las cuales se efectúan los procesos de mezcla rápida y lenta para llevar a cabo las reacciones de coagulación y floculación. Se tienen en cuenta parámetros como tiempos de mezcla rápida y lenta al igual que el caudal de ingreso a cada una de las unidades de tratamiento.	Los sistemas fisicoquímicos, en términos de capacidad de tratamiento, cumplen tiempos de retención que generarían los procesos de coagulación (mezcla rápida) y floculación (mezcla lenta) sin inconvenientes, sin embargo, los gradientes de mezcla en cada unidad deben ser re establecidos para permitir que dichos procesos se lleven a cabo.	Los sistemas fisicoquímicos, en términos de capacidad de tratamiento, cumplen tiempos de retención convenientes, sin embargo, debe haber una etapa previa de homogenizado que garantice la igualación de los caudales y la mezcla misma.

Fuente: elaboración propia.

<sup>68</sup> AGUAMARKET: Tanque de Homogeneización modelo THS2. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=22129&nombreproducto=tanque+de+homogeneizacion+modelo+ths2>

<sup>69</sup> SLIDESHARE. Tratamiento Físicoquímico de Aguas Residuales Industriales. [en línea]. 12 abril 2013. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/darkysdevia/tratamiento-fisicoquimico-de-aguas-residuales-industriales-definitivo>



### 3. SELECCIONAR UNA ALTERNATIVA DE PRETRATAMIENTO ACORDE AL DIAGNÓSTICO PARA LA ALIMENTACIÓN DE ÓSMOSIS INVERSA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.

En este capítulo, se realizará por medio de una matriz de selección, la determinación de la mejor alternativa de pretratamiento para la corriente de lixiviado que entrará a la unidad de ósmosis inversa. Además, ya habiendo escogido la alternativa, se procederá a describir el procedimiento experimental que se hizo a una muestra de lixiviado para su tratamiento con la alternativa seleccionada.

#### 3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Uno de los apartados más importantes dentro del desarrollo del proyecto, es la realización de una matriz de selección para determinar la alternativa más adecuada para el tratamiento de los lixiviados y su cumplimiento en parámetros fisicoquímicos para que dicha corriente pueda ser alimentada posteriormente a la etapa de ósmosis inversa. Inicialmente se menciona y se justifica la técnica empleada para la evaluación de alternativas, se describen luego los criterios a evaluar, se mencionan posteriormente las alternativas disponibles para tratamiento de lixiviados y finalmente se hace la correspondiente evaluación.

**3.1.1 Técnica para la toma de decisiones.** Para la toma de decisiones multicriterio en el ámbito de ingeniería, hay diversas técnicas que pueden ayudar a seleccionar la mejor alternativa de pretratamiento. Las más empleadas en estos casos son PUGH, sumas ponderadas y matriz de prioridades. Por cualquier ruta, las técnicas permiten identificar la mejor alternativa y determinar el orden de la mejor a la peor de las alternativas teniendo en cuenta la evaluación de diversos criterios.

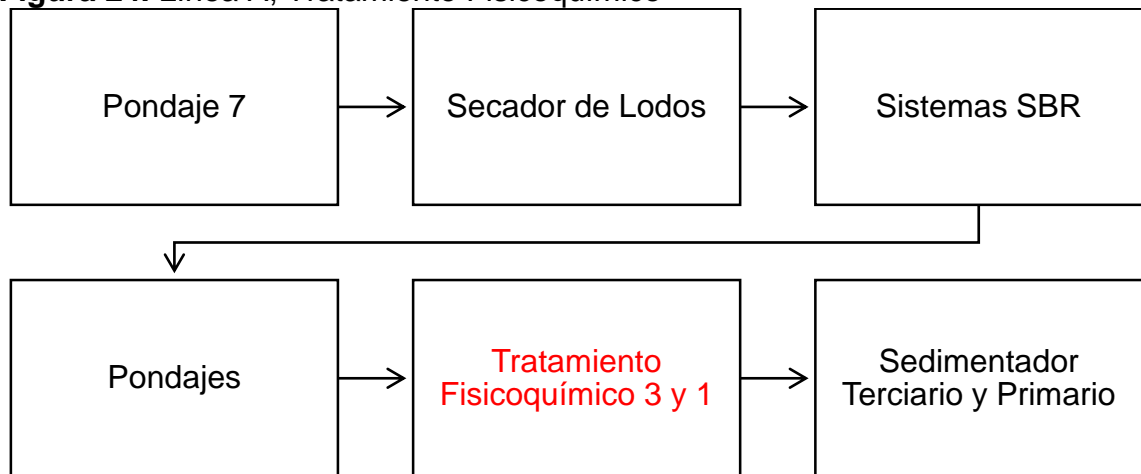
Según varios estudios que se han desarrollado, al comparar las diferentes técnicas de análisis multicriterio aplicadas a la gestión del recurso hídrico, se encuentra que no hay una ventaja metodológica clara en el análisis de un problema para ninguna de las técnicas, donde el aspecto más importante es la selección de los criterios y las alternativas<sup>70</sup>. Para este caso, la técnica utilizada en este trabajo no tiene justificación alguna y directa respecto a las demás en relación a sus beneficios, sino a la facilidad del desarrollo matemático debido a que, según el resultado numérico, se establece la alternativa<sup>71</sup>.

---

<sup>70</sup> ROMERO, Diego. Gestión ambiental del sistema de tratamiento de lixiviado producto de la biodegradación de residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario colombiano. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2017. [Consulta 13 de septiembre 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13933/13/RomeroTorresDiegoCamilo2018.pdf>

<sup>71</sup> WATER PROJECTS CULLIGAN. Cuál es el pretratamiento adecuado para un sistema de ósmosis inversa. Consulta 13 de abril 2019]. Sitio web. Disponible en: <http://www.tratamientoyfiltrosdeagua.com/noticias/430-cu%C3%A1-es-el-pre-tratamiento-adecuado-para-un-sistema-de-osmosis-inversa.html>

**Figura 24.** Línea A, Tratamiento Físicoquímico



Fuente: elaboración propia.

La idea de haber mostrado de nuevo la línea de tratamiento físicoquímico, es hacer énfasis en que la unidad que está resaltada en rojo de la gráfica anterior, es la que hay que atacar a través de la matriz de selección. Esto debido a que, dentro del Relleno Sanitario, ya se vienen haciendo estudios de optimización a las otras unidades presentes a lo largo del tratamiento de lixiviados.

**3.1.2 Alternativas y criterios de evaluación.** Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica de las alternativas disponibles para el pretratamiento de lixiviados y haciendo énfasis en una de la línea de tratamiento físicoquímico, a continuación, se mencionan, pero su descripción se observa en el numeral 1.4 del capítulo 1:

- Procesos de Coagulación-Floculación (1): alternativa que dentro de los parámetros que se están incumpliendo, remediará principalmente Turbidez, vista por las altas concentraciones de materia orgánica DBO, DQO, SST y metales principalmente, que en medios alcalinos pueden precipitar en forma de carbonatos e hidróxidos y sedimentar.
- Tratamientos Anaerobios (2): Unidad de tratamiento que por medio de reactores de flujo ascendente resarcirá los altos niveles de DBO y fósforo principalmente de lixiviados jóvenes.
- Tratamientos Aerobios (3): alternativa que por medio de inyección de aire al agua y al emplear lodos activados en ella facilita la remoción de casi el 90% de DBO al igual que la presencia de COV's principalmente hidrocarburos halogenados.
- Oxidación Química (4): unidad que oxida materia orgánica disuelta por medio de Reactivos Fenton (Peróxido de Hidrógeno y Sulfato Ferroso) favorece la remoción de DQO y COT (compuestos orgánicos totales).
- Evaporación de Lixiviados (5): por medio de calentamiento del lixiviado se reduce la carga principalmente de COV's, la remoción principalmente de la carga de

materia orgánica destacándose el metano. Además, se estabilizan aquellos compuestos en suspensión del lixiviado y por efecto del calentamiento y evaporación se precipitarán.

De acuerdo a la revisión bibliográfica se tuvo un panorama general respecto a aspectos técnicos, ambientales y económicos de cada una de las alternativas. La alternativa a seleccionar se acogerá a valores y principios de la empresa, enmarcados por un profundo respeto a la moral, a la dignidad humana y al medio ambiente, en los que se promueve estrictamente la ética profesional<sup>72</sup>.

En cumplimiento de lo mencionado anteriormente, se enuncian los siguientes 8 criterios para evaluar las alternativas:

- Productos químicos (1): Productos necesarios para llevar a cabo un desarrollo óptimo de la operación. Se incluyen reactivos químicos, biológicos y/o microbiológicos.
- DQO Residual (2): Capacidad de remoción de DQO.
- DBO Residual (3): Capacidad de remoción de DBO.
- SST Residual (4): Capacidad de remoción de SST.
- Consumo energético (5): Cantidad de energía y/o gas requerida para la operación.
- Mantenimiento (6): Seguimiento a cada una de las unidades, previniendo daños a la unidad. Se hace énfasis en las purgas de material sedimentado.
- Subproductos (7): Aquellos subproductos como lodos sedimentados en las unidades.
- Costos implicados (8): Costos de inversión de la unidad.
- Requerimientos de área (9): Área necesaria para la unidad de tratamiento.

Es indispensable indicar que, para el Relleno Sanitario Doña Juana, además que lo es para nosotros poder llevar a cabo la selección de la alternativa, la importancia de cada uno de los criterios mencionados anteriormente por medio de una calificación. Este método de calificación se referenció en un trabajo de grado de la Universidad de América y se tuvo en cuenta la metodología que propuso el autor debido a que también se estaba seleccionando una alternativa para tratar una corriente de aguas residuales<sup>73</sup>. La evaluación se muestra en el cuadro 1.

---

<sup>72</sup> SUAREZ, Román. ARIAS, Julián. Caracterización de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito. [en línea], [consultado 19 marzo 2019]. Archivo PDF. 2015 Disponible en: <https://repositorio.esuelaing.edu.co/handle/001/336>.

<sup>73</sup> FERNÁNDEZ MURILLO, Juan Sebastián. Propuesta para el sistema de tratamiento de agua residual del proceso de nitruración en la empresa Aluica S.A.S. [en línea]. Tesis de Pregrado. Fundación Universidad de América, 2018. Bogotá D.C. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/simple-search?query=aluica>

**Cuadro 16.** Calificación de los criterios para selección de alternativas.

Calificación	Significado
5	Demasiado importante
4	Importante
3	Igual
2	Menos importante
1	Nada importante

Fuente: elaboración propia.

Al realizar las correspondientes valoraciones (véase tabla 15), se procede a calcular los pesos ponderados para cada criterio, que consiste simplemente en realizar el siguiente procedimiento: por ejemplo, para el criterio #1, el resultado de la suma individual, es la suma de todos sus valores (1, 5, 5, 1 y 5), el cual nos da 17. Al dividir éste valor entre la suma global de todos los criterios, en este caso 161, se obtiene un peso ponderado de 0.1056 (10.60%) para el primer criterio.

**Tabla 14.** Valoración de criterios para evaluación de alternativas.

	Número de Unidad de Tratamiento					Suma Individual	Peso ponderado	Porcentaje	
	1	2	3	4	5				
Número de Criterio	1	1	5	5	1	5	17	0,1056	10,559
	2	4	5	4	3	3	19	0,1180	11,801
	3	5	3	3	4	4	19	0,1180	11,801
	4	3	3	4	3	5	18	0,1118	11,180
	5	3	4	2	5	2	16	0,0994	9,938
	6	1	2	4	5	3	15	0,0932	9,317
	7	3	2	3	3	2	13	0,0807	8,075
	8	3	4	3	4	5	19	0,1180	11,801
	9	5	5	5	5	5	25	0,1553	15,528
						<b>Suma global</b>	<b>Suma Total</b>	<b>Suma %</b>	
						161	1	100,000	

Fuente: elaboración propia.

Al analizar los resultados obtenidos en la tabla anterior, se comprueba que el criterio #9 correspondiente a Los Requerimientos de Área dentro de la alternativa, es el criterio más relevante con una ponderación de 15.528%, mientras que el criterio relacionado con Subproductos Cantidad de Lodo, obtiene el puntaje más bajo con una ponderación de 8,075%. A continuación, se evidencia de manera organizada los criterios según su ponderación obtenida.

**Tabla 15.** Ponderación de Criterios de Selección.

Número	Criterio	Ponderación
9	Requerimientos de área	15.528%
2	DQO Residual	11.801%
3	DBO Residual	11.801%
8	Costos implicados	11.801%
4	SST Residual	11.180%
1	Productos Químicos	10.559%
5	Consumo Energético	9.938%
6	Mantenimiento	9.317%
7	Subproductos cantidad de Lodo	8.075%

Fuente: elaboración propia.

Luego de especificar cada uno de los ponderajes a cada criterio, hace falta definir la escala de calificación para cada uno de ellos, la cual, permite evaluar objetivamente las alternativas.

**Tabla 16.** Definición de escala de evaluación para cada criterio.

Productos Químicos (1)		DQO Residual (2)		DBO Residual (3)	
1	\$ 5.000.000	1	< 50 mg/L	1	< 50 mg/L
2	\$ 2.000.000	2	< 100 mg/L	2	< 100 mg/L
3	\$ 1.000.000	3	< 500 mg/L	3	< 500 mg/L
4	\$ 500.000	4	< 1000 mg/L	4	< 1000 mg/L
5	\$ 250.000	5	> 1000 mg/L	5	> 1000 mg/L
SST Residual (4)		Consumo Energético (5)		Mantenimiento (6)	
1	< 50 mg/L	1	300	1	Diariamente
2	< 100 mg/L	2	200	2	Día de por medio
3	< 500 mg/L	3	150	3	Semanalmente
4	< 1000 mg/L	4	100	4	Quincenalmente
5	> 1000 mg/L	5	50	5	Mensualmente
Subproductos Cantidad Lodo m3 (7)		Costos implicados (8)		Requerimientos de área m2 (9)	
1	35	1	\$ 70.000.000	1	170
2	20	2	\$ 50.000.000	2	155
3	14	3	\$ 36.000.000	3	145
4	10	4	\$ 25.000.000	4	125
5	5	5	\$ 16.000.000	5	100

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se procede a evaluar cada una de las unidades de tratamiento teniendo en cuenta la evaluación que se le dio a cada criterio sobre la matriz de selección como se muestra en la tabla 17. El resultado obtenido corresponde a la suma del producto entre la puntuación de cada criterio y el peso ponderado que se muestra en la tabla 18. Como ejemplo, se describe el cálculo para la alternativa #1:

$$\text{Resultado} = (0,1056 * 3) + (0,1180 * 4) + (0,1180 * 4) + (0,1118 * 5) + (0,0994 * 3) \\ + (0,0932 * 3) + (0,0807 * 2) + (0,1180 * 2) + (0,1553 * 5)$$

$$\text{Resultado} = 3,5714$$

**Tabla 17.** Matriz de Selección: Sumas Ponderadas.

No	Método de Tratamiento de Lixiviado	Criterios									Resultado
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Coagulación-Floculación	3	4	4	5	3	3	2	2	5	3,5714
2	Tratamientos Anaerobios	2	3	5	3	3	3	3	2	4	3,1677
3	Tratamientos Aerobios	2	5	5	3	2	3	3	1	3	3,0311
4	Oxidación Química	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,0000
5	Evaporación de Lixiviados	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2,5466

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 19, se puede observar en orden descendente las unidades de tratamiento fisicoquímico según su resultado obtenido.

Se evidencia a la Evaporación de Lixiviados como la peor unidad y al método de Coagulación-Floculación como el mejor. Esta será la unidad evaluada a nivel laboratorio para determinar su estudio y funcionalidad a la alternativa de tratamiento para los lixiviados.

**Tabla 18.** Listado de alternativas por puntuación.

No.	Método de Tratamiento	Resultado
1	Coagulación-Floculación	3,5714
2	Tratamientos Anaerobios	3,1677
3	Tratamientos Aerobios	3,0311
4	Oxidación Química	3,0000
5	Evaporación de Lixiviados	2,5466

Fuente: elaboración propia.

Dentro de las ventajas que ofrece la operación “Coagulación-Floculación” se encuentran<sup>74</sup>:

- Requiere menos tiempo que la decantación y permite una mayor carga de sólidos en el agua.
- Es de simple operación.
- Emplea reactivos comunes para la coagulación y/o floculación.
- Posibilidad de aplicación en una gran variedad de matrices.

<sup>74</sup> QUEVEDO, Noelia. Selección de alternativas de pretratamiento de pretratamiento de ósmosis inversa. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

- Gran adaptación a fluctuaciones de concentraciones de contaminantes contenidos en las aguas a tratar.

### **3.2 DESARROLLO A NIVEL EXPERIMENTAL**

Como se puede evidenciar en la matriz de selección, la unidad de tratamiento más adecuada para favorecer un mejor pretratamiento al lixiviado son los procesos de Coagulación-Floculación. Así que, a continuación, se procede a describir el desarrollo experimental para esta alternativa mencionando resultados de todas las pruebas y porcentajes de remoción de parámetros críticos como DBO, DQO y SST ya que, son estos los más influyentes para la ficha técnica de ósmosis inversa. Inicialmente, se hizo la experimentación con los siguientes 3 coagulantes:

- Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ )
- Sulfato de Amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- Hidróxido de Calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

**Cuadro 17.** Características de Coagulantes

<b>Cloruro Férrico</b>	<b>Sulfato de Amonio</b>	<b>Hidróxido de Calcio</b>
Se favorece a pH por encima del neutro, entre 8 y 9. Proporciona rendimientos depuradores altos sin utilizar ningún tipo de coadyuvante. Costos de operación bajos <sup>75</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un coagulante específico para precipitar sales disueltas.</li> <li>• Reduce color y turbiedad en el agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina la materia en suspensión, disminuyendo favorablemente la coloración y la turbidez.</li> <li>• Elimina el manganeso, los fluoruros y los taninos orgánicos del agua.</li> </ul>
<p><b>Figura 25.</b> FeCl<sub>3</sub></p>  <p>Fuente: Cloruro férrico Anhídrido: DYE Distribuciones y especialidades Químicas. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <a href="https://www.dyeq.co/fichas/cloruro-ferrico-anhidro/">https://www.dyeq.co/fichas/cloruro-ferrico-anhidro/</a></p>	<p><b>Figura 26.</b> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></p>  <p>Fuente: 4 AFQ-Inmersos en la ciencia: Sulfato amónico. [Consultado 12 febrero de 2020]. Disponible en: <a href="http://ampliacionfq.blogspot.com/2012/12/sulfato-amonico.html">http://ampliacionfq.blogspot.com/2012/12/sulfato-amonico.html</a></p>	<p><b>Figura 27.</b> Ca(OH)<sub>2</sub></p>  <p>Fuente: Ácido y Nitratos: Hidróxido de Calcio. [Consultado 12 febrero 2020]. Disponible en: <a href="https://acidosynitratos.es/hidroxido-de-calcio/">https://acidosynitratos.es/hidroxido-de-calcio/</a></p>

Fuente: elaboración propia.

<sup>75</sup> LOPÉZ, María. La recirculación de lixiviados de rellenos sanitarios en biodigestores a escala laboratorio. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba. 2017. [Consultado 19 de Marzo de 2019] Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852017000300006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300006)



El procedimiento para el test de jarras se realizó para 3 ensayos, determinando en cada uno pH, los porcentajes de remoción por turbidez. Los ensayos se hicieron teniendo en cuenta Protocolos de Ensayo de Tratabilidad y control de procesos de coagulación en tratamiento de aguas residuales<sup>76 77</sup>.

### 3.2.1 Test de Jarras para el ensayo 1.

- Se tomaron 9 vasos de precipitado de 1L cada uno en el que se adicionarán aproximadamente 900 ml de lixiviado.
- Escogencia del coagulante y dosificación a cada jarra.
- Mezcla rápida (COAGULACIÓN): 110 rpm durante 1 min.
- Mezcla (COAGULACIÓN): 90 rpm durante 25 s.
- Mezcla lenta (FLOCULACIÓN): 40 rpm durante 5 min.
- SEDIMENTACIÓN: Reposo durante 2 horas.
- Al finalizar la sedimentación se evalúa la eficiencia de cada jarra en función del tamaño del floc producido y se realizan las mediciones de DQO, DBO, Nitrógeno Amoniacal pH y turbiedad remanente.

La selección de estos coagulantes se hizo inicialmente por sugerencia de nuestra tutora del proyecto. Sin embargo, dentro de nuestra búsqueda bibliográfica se encontró que el Cloruro Férrico es comercialmente usado para el tratamiento de aguas residuales; la cal (Hidróxido de Calcio) para tratamiento específicamente de aguas residuales, proporciona diversas ventajas: control del pH, neutralización del agua residual ácida, reducción de la concentración de contaminantes orgánicos oxidables, clarificación, precipitación de contaminantes disueltos y floculación y coagulación de partículas coloidales<sup>78</sup>. Sin embargo, según un artículo científico, se encontró que sólo hay eficiencia de remoción para DQO de entre 2,5 y 3% a tiempos menores de 1hora. Por lo normalmente suele usarse como coadyuvante de la coagulación<sup>79</sup>.

---

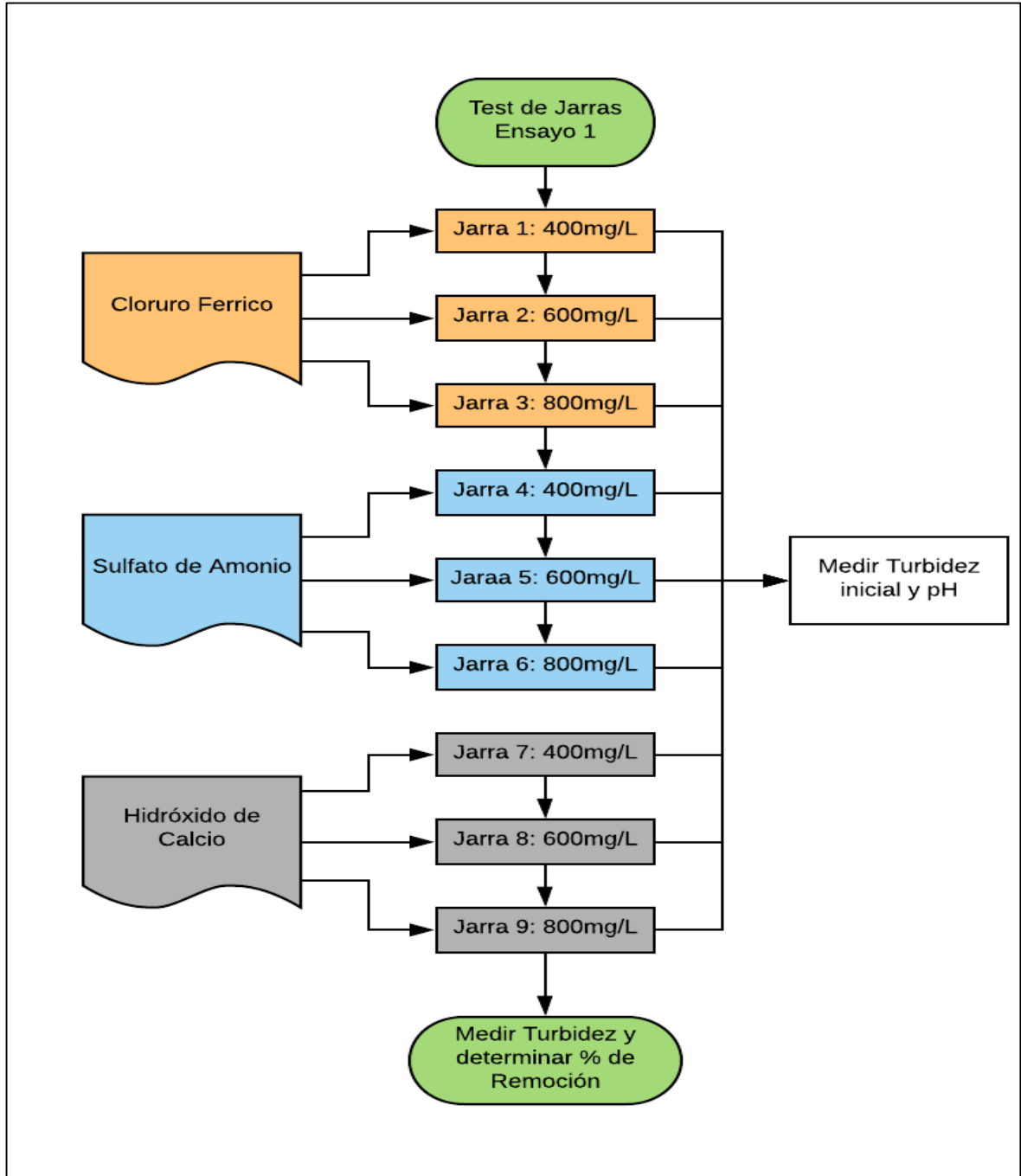
<sup>76</sup> FÚQUENE, Diana Marcela y YATE, Andrea Viviana. Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Documentos de Trabajo ECAPMA. 2018. [en línea]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional Abierta y a Distancia. nro. 1. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/download/2771/2857>

<sup>77</sup> SIN AUTOR. Anexo: Técnica para determinar la dosis óptima por medio de la prueba de jarras [en línea]. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19121/Anexo.pdf>

<sup>78</sup> CALCINOR: Las funciones que realiza la cal en el tratamiento de aguas [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.calcinor.com/es/actualidad/2017-03-16/cal-tratamiento-de-aguas/>

<sup>79</sup> GUARÍN, Oscar; GÓMEZ, Sandra. Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el Carrasco. Innovaciencia. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

Figura 28. Diagrama de Flujo Ensayo 1.



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del primer ensayo realizado:

**Tabla 19.** Resultados primer ensayo.

Primer ensayo						
Coagulante	Jarra	Dosis(mg/L)	pH final	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final(NTU)	% Remoción
FeCl <sub>3</sub>	1	400	8,36	110	106,60	3,09
	2	600			105,60	4,00
	3	800			103,30	6,09
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	400			109,90	0,09
	5	600			109,80	0,18
	6	800			109,60	0,36
Ca(OH) <sub>2</sub>	7	400			109,00	0,90
	8	600			108,70	1,18
	9	800			107,60	2,18

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de remoción tomando como ejemplo la primera jarra, se obtiene de la siguiente manera:

**Ecuación 5.** Determinación porcentaje de Remoción.

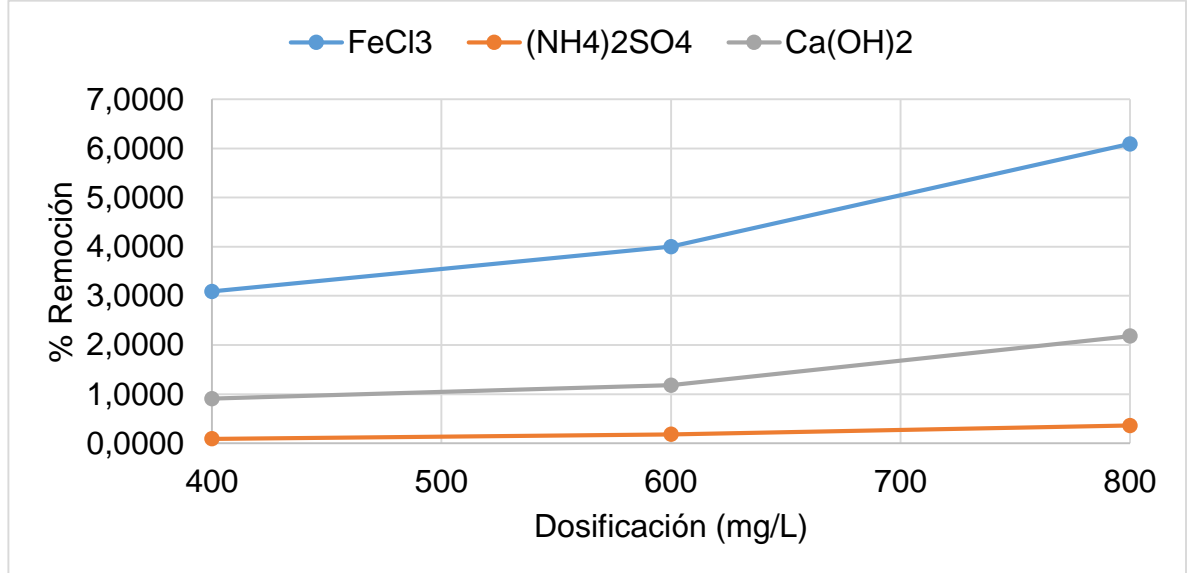
$$\%Remoción = \frac{Turbiedad\ inicial - Turbiedad\ final}{Turbiedad\ inicial} * 100$$

$$\%Remoción = \frac{110 - 106,6}{110} * 100 = 3,09$$

Se analiza que los porcentajes de remoción no son altos, debido a que las dosificaciones de los diferentes coagulantes son muy bajas. Se dio inicio a la experimentación con estas dosificaciones debido a que, para aguas residuales, normalmente la dosificación de coagulantes oscila en este rango<sup>80</sup>, pero por la elevada carga orgánica y de metales pesados, dificulta el proceso en la desestabilización, formación de flocs y precipitación de todo este material.

<sup>80</sup> LAINES CANEPA, José Ramón.; ADAMS SCHROEDER, Randy Howard. Desarrollo y aplicación de un nuevo coadyuvante-coagulante orgánico en el proceso de coagulación-floculación del lixiviado de un relleno sanitario. En: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. [sitio web]. México: Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. [Consulta: 12 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/download/14453/13789>

**Gráfica 2.** %Remoción vs Dosificación de Coagulante Ensayo 1.



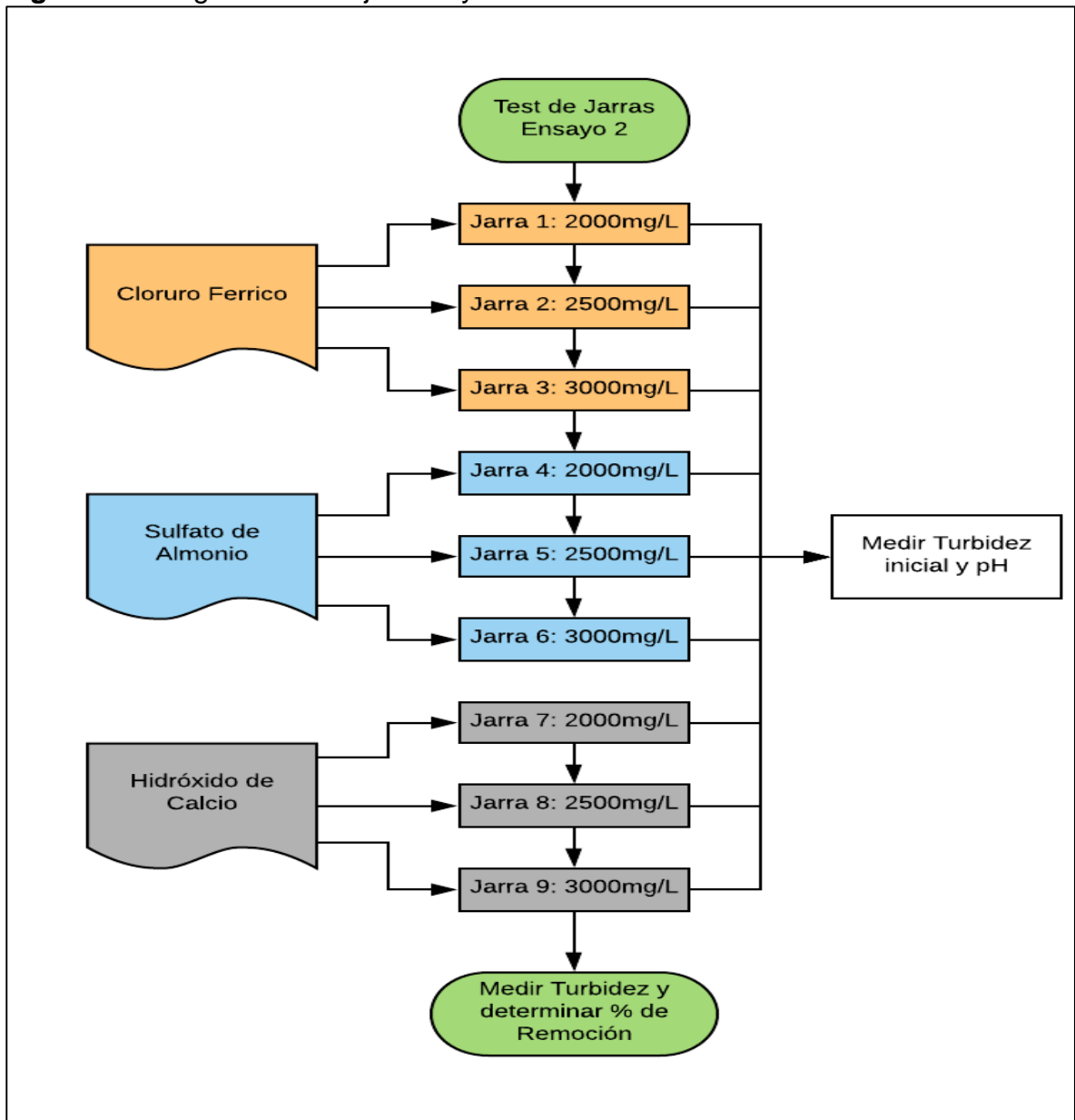
Fuente: elaboración propia.

La gráfica 3 permite visualizar el bajo porcentaje de remoción respecto a la turbidez de las 9 muestras de lixiviado tratado. Así que para el segundo ensayo decidimos elevar las concentraciones a un rango entre 2000 y 3000 mg/L, ya que, según referencia bibliográfica, la dosificación para procesos de coag/floc como tratamiento de lixiviados oscilan en ese rango<sup>81</sup>.

<sup>81</sup> GUARÍN, Oscar; GÓMEZ, Sandra. Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el Carrasco. Innovaciencia. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

**3.2.2 Test de Jarras para el ensayo 2.** Para este ensayo, se utiliza el mismo procedimiento que en el Ensayo 1, pero cambian solamente las dosificaciones de coagulantes como se muestra en la Figura 23 y la Tabla 22. Los criterios de selección de cada una de las dosificaciones se tuvieron en cuenta según un proyecto de investigación relacionado con tratamiento de lixiviados<sup>82</sup>.

**Figura 29.** Diagrama de Flujo Ensayo 2.



Fuente: elaboración propia.

<sup>82</sup> GÓMEZ MUÑOZ, Daniel Felipe. Contaminación y Tratamiento de Lixiviados [en línea]. Trabajo de Investigación. Colegio Americano de Cali Profundización de Ingenierías, 2012. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/danihotmailcom/documento-proyecto>

En la siguiente tabla se muestra los resultados de este Ensayo:

**Tabla 20.** Resultados segundo ensayo.

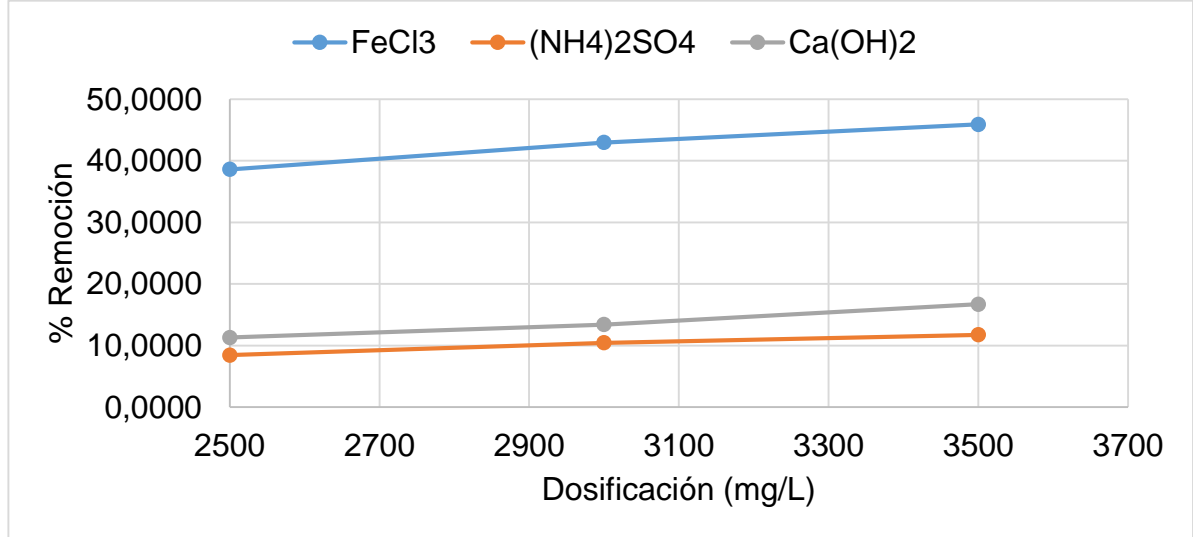
Segundo ensayo						
Coagulante	Jarra	Dosis(mg/L)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final(NTU)	% Remoción
FeCl <sub>3</sub>	1	2000	8,35	115	70,60	38,61
	2	2500			65,60	42,96
	3	3000			61,20	46,78
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	2000			105,30	8,43
	5	2500			103,00	10,43
	6	3000			101,50	11,74
Ca(OH) <sub>2</sub>	7	2000			102,00	11,30
	8	2500			99,60	13,39
	9	3000			95,80	16,70

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia en la Gráfica 4 que hay una mejora considerable principalmente con el FeCl<sub>3</sub>, ya que el porcentaje de remoción es mucha mayor y para estas dosificaciones de coagulante, los porcentajes de remoción se asemejan a la bibliografía consultada<sup>83</sup>. Este porcentaje se calcula también con la Ecuación 5. Sin embargo, los otros dos coagulantes por más que se aumentó en casi 5 veces su dosificación, el % de remoción no es representativo y por ende se decide en no caracterizar tampoco los parámetros sin tener certeza de que la dosificación para los otros dos coagulantes se esté realizando de la mejor manera.

<sup>83</sup> GUARÍN, Oscar; GÓMEZ, Sandra. Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el Carrasco. Innovaciencia. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

**Gráfica 3.** %Remoción vs Dosificación de Coagulante Ensayo 2.



Fuente: elaboración propia.

Se encontró, que dos de los coagulantes que usamos en el ensayo (Sulfato de Amonio e Hidróxido de Calcio), no son precisamente coagulantes, sino coadyuvantes de la coagulación<sup>84</sup>, además de que requieren de mezclas con cal por lo que los costos a nivel operativo acarrearían en grandes desventajas.

Se cambiaron los dos reactivos mencionados anteriormente por PAC (Policloruro de Aluminio), el cual es un electrolito catiónico efectivo usado durante la coagulación para la desestabilización de emulsiones, genera buenos resultados en la flotación por aire y tiene buen efecto en remoción de colores, sólidos suspendidos y turbidez. La información del PAC se encuentra en el Anexo K.

El otro coagulante que se empleó fue el Sulfato de Aluminio por ser uno de los coagulantes más empleados a la hora de tratar aguas, tanto residuales como crudas.

Antes de realizar el Ensayo 3, para obtener mejores resultados en el % de Remoción, por medio de la Alcalinidad del lixiviado, se permite obtener las dosificaciones de coagulante adecuadas para cada una de las jarras. Es un procedimiento que, con ayuda del personal de la PTL, facilitó demasiado la ejecución del último ensayo. El diagrama de flujo detallado para la determinación de la Alcalinidad del Lixiviado se encuentra en el Anexo F.

<sup>84</sup> PÉREZ DE LA CRUZ, Francisco Javier.; URREA MALLEBRERA, Mario Andrés. Abastecimiento de Aguas Tema 6 Coagulación y floculación. En: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. [sitio web]. Cartagena: EICM. [Consulta 12 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

Al pretender determinar las dosificaciones para los procesos de coagulación-floculación, se tiene como punto de partida, ejecutar prueba de ensayo y error y por alcalinidad seleccionar la cantidad de coagulante a usar en cada una de las jarras. Así pues, se desarrolla la siguiente metodología para hallar la alcalinidad en mg/L de CaCO<sub>3</sub>, teniendo en cuenta una dilución 1/50.

- Se seleccionaron 500 ml de muestra que fueron llevados a un vaso de precipitados de 1000 ml, y se le agregan 3 gotas de indicador naranja de metilo.
- Se prepara titulante Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 0.02 N
- Se empieza a titular la muestra, de modo que esta vire a un color curuba o salmón.
- Se toma el volumen del titulante a penas la muestra viró.
- Se calcula la alcalinidad con base en la Ecuación 6.

**Ecuación 6.** Determinación de Alcalinidad

$$\text{Alcalinidad} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{V_{\text{titulante}} * N * 50000}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde,

- V<sub>titulante</sub>, es el volumen de titulante gastado.
- N, es la normalidad del titulante (ácido sulfúrico).
- 50000, es un factor mili equivalente en unidades volumétricas.
- V<sub>muestra</sub>, es el volumen utilizado para la muestra.

De modo que, para la muestra del lixiviado maduro, se obtuvieron 31.33 ml de titulante.

$$\text{Alcalinidad} = \frac{31,33 * 0,02 * 50000}{500} = 62,66 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)$$

Pero al realizarse la dilución se tiene en cuenta dicho factor (1/50), así que se multiplica por el valor de la alcalinidad de la muestra diluida (62,66 mg/L CaCO<sub>3</sub>), obteniendo como resultado una alcalinidad de 3133  $\left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)$ .



**Tabla 21.** Dosis de coagulante para cada jarra, SLN madre al 10%

Jarra	Concentración Madre C2 (mg/L)	Dosis de Jarra C1 (mg/L)	Volumen de Jarra V1 (mL)	Volumen a tomar de SLN madre V2 (mL)
1	100000	2000	1000	20
2	100000	3000	1000	30
3	100000	3500	1000	35
4	100000	4000	1000	40
5	100000	5000	1000	50

Fuente: elaboración propia.

Se tomaron datos de concentración de dosis de jarra por encima y por debajo del valor obtenido de alcalinidad, como se muestra en la columna 3 de la tabla 2, y el volumen que se tomará de la SLN de coagulante para cada jarra se obtiene a partir de la ecuación 7:

**Ecuación 7. Factor de Dilución**

$$V1 * C1 = V2 * C2$$

Teniendo la cantidad de coagulante a usarse en cada jarra, y que todos los coagulantes se usan al 10% para asegurar mejor formación de floc (generar una mayor compactación y sedimentación del floc posiblemente formado), se agrega floculante polímero poliacrilamida al 1 % (10000 mg/L) con una dosis de 4 ml por litro de lixiviado, lo cual fue un buen resultado en prueba de ensayo y error, además se obtuvo que con sulfato de aluminio no hubo una mínima adhesión de coloides o sólidos suspendidos, por tal razón se evalúan solamente cloruro férrico y Policloruro de aluminio.

### 3.2.3 Test de Jarras para ensayo 3.

**Cuadro 18.** Características de nuevos coagulantes

Cloruro Férrico	Sulfato de Aluminio	PAC
<p>Reduce parte del color del lixiviado, forma flóculos pequeños pesados que precipitan rápido. Proporciona rendimientos depuradores altos sin utilizar ningún tipo de coadyuvante. Costos de operación bajos<sup>85</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere normalmente un control del pH.</li> <li>• La remoción de material orgánica en el proceso limitada.</li> <li>• Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polímero) para flocular<sup>86</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente no requiere un ajuste del pH.</li> <li>• Velocidad de reacción muy alta.</li> <li>• Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica<sup>87</sup>.</li> </ul>
<p><b>Figura 30.</b> FeCl<sub>3</sub></p>  <p>Fuente: Cloruro férrico Anhidrido: DYE Distribuciones y especialidades Químicas. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <a href="https://www.dyeq.co/fichas/cloruro-ferrico-anhidro/">https://www.dyeq.co/fichas/cloruro-ferrico-anhidro/</a></p>	<p><b>Figura 31.</b> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></p>  <p>Fuente: El sulfato de aluminio y sus aplicaciones en la industria. Quiminet.com Información y negocios segundo a segundo. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <a href="https://www.quiminet.com/articulos/el-sulfato-de-aluminio-y-sus-aplicaciones-en-la-industria-27849.htm">https://www.quiminet.com/articulos/el-sulfato-de-aluminio-y-sus-aplicaciones-en-la-industria-27849.htm</a></p>	<p><b>Figura 32.</b> PAC</p>  <p>Fuente: Poli cloruro de aluminio PAC para el tratamiento de aguas residuales: Cang zhou Bao Lai Da Import &amp; Export Trading Co. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <a href="http://www.top-chem.net/water-treatment/pac-for-waste-water-treatment.html">http://www.top-chem.net/water-treatment/pac-for-waste-water-treatment.html</a></p>

Fuente: elaboración propia

<sup>85</sup> GUARÍN VILLAMIZAR, Oscar D., GOMEZ PLATA, Sandra Milena. Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el Carrasco. Innovaciencia [en línea]. Bucaramanga (Colombia): Universidad de Santander. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: [https://revistas.udesa.edu.co/innovaciencia/article/view/212/pdf\\_5](https://revistas.udesa.edu.co/innovaciencia/article/view/212/pdf_5)

<sup>86</sup> ISA INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES: Policloruro de Aluminio vs Sulfato de Aluminio. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <https://isa.ec/policloruro-de-aluminio-vs-sulfato-de-aluminio/>

<sup>87</sup> Ibid, p. 88

### 3.2.3.1 Preparación de Reactivos

- **Policloruro de Aluminio (PAC):** Se prepara una solución de PAC al 10% (10ml de PAC comercial + 90ml de agua destilada). La información de la ficha técnica y hoja de seguridad del PAC se encuentran en el Anexo K.
- **Cloruro Férrico (FeCl<sub>3</sub>):** Se prepara una solución de Cloruro Férrico al 10% (10ml de Cloruro Férrico + 90ml de agua destilada). La información relacionada con el FeCl<sub>3</sub> se encuentra en el Anexo H.
- **Coadyuvante de Coagulación (Polímero Poliacrilamida):** Se prepara una solución de polímero al 1% (1g de poliacrilamida en 1L de agua). La información relacionada con el polímero se encuentra en el Anexo J.

### 3.2.3.2 Resultados.

**Tabla 22.** Resultados tercer ensayo.

Tercer ensayo						
Coagulante	Jarra	Dosis(mg/L)	pH	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final(NTU)	% Remoción
FeCl <sub>3</sub>	1	2000	7,45	108	65,30	39,54
	2	3000			68,20	36,85
	3	3500			57,65	46,62
	4	4000			70,35	34,86
	5	5000			77,86	27,91
PAC	6	2000			87,61	18,88
	7	3000			80,20	25,75
	8	3500			88,74	17,83
	9	4000			96,36	10,78
	10	5000			100,60	6,85

Fuente: elaboración propia.

El mejor resultado obtenido en este ensayo fue el Cloruro Férrico (FeCl<sub>3</sub>) al 10% con una dosificación de 3500mg/L. Para este ensayo, se caracterizaron los parámetros más críticos para las fichas técnicas de las membranas (DQO, DBO, SST y NH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>) teniendo en cuenta que para la determinación de DQO se empleó el método de incubación por 5 días y electrometría<sup>88</sup>; para DBO el método de Reflujo

<sup>88</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM: Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. [Consulta: 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

Cerrado y Volumetría<sup>89</sup>; para SST el método de Secado a 103-105°C<sup>90</sup> y para Nitrógeno Amoniacal el método de Electrodo Selectivo de Amoniaco<sup>91</sup>. Al comparar los resultados obtenidos con respecto a los valores reportados por las membranas, se evidencian que están por debajo de los límites permisibles.

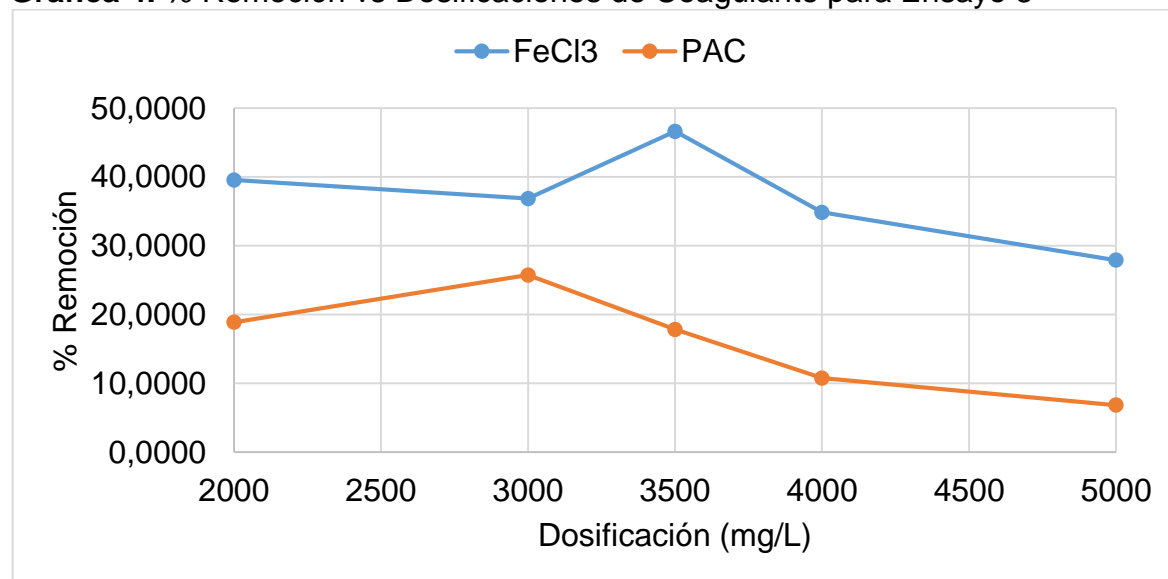
**Tabla 23.** Comparación de parámetros de las membranas de ósmosis inversa

Parámetros Ósmosis Inversa		
Parámetro (mg/L)	Lixiviado a la entrada (mg/L)	Calidad Actual (mg/L)
DBO	<4000	3428,57
DQO	<10000	6256,62
SST	<120	119,57
NH <sub>4</sub> -NH <sub>3</sub>	<1000	405,68

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra la gráfica correspondiente al % Remoción respecto a las diferentes dosificaciones para el Ensayo 3.

**Gráfica 4.** % Remoción vs Dosificaciones de Coagulante para Ensayo 3



Fuente: elaboración propia.

<sup>89</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM:. Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. [Consulta 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

<sup>90</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM:. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. [Consulta 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

<sup>91</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM:. Nitrógeno amoniacal en agua por electrodo selectivo de amoniaco (Orion). [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitr%C3%B3geno+Amoniacal+en+Agua+por+Electrodo+Selectivo+de+Amoniaco..pdf/835f77f7-2dba-48ce-abd3-56ab30013b82>

Es evidente que los mejores resultados siguen siendo con el cloruro férrico, en el que el mayor % de Remoción fue a 46,62% correspondiente a una dosificación de coagulante de 3500 mg/L.

Como se mencionó en el cuadro 16, el rango de pH óptimo para el cloruro férrico está entre un valor de 8 y 9, por lo que para favorecer un poco más el porcentaje de remoción y lograr mejores precipitados o floc sedimentable, se procede a aumentar el pH del agua clarificada para revisar posteriormente si se reduce o no la turbidez.

**3.2.4 Test de Jarras con ajuste de pH.** Se utiliza Soda Cáustica (NaOH): 10g de NaOH en 100ml de agua pH de solución.

Para obtener el pH=8,5 se añadieron 3,20 ml de solución de NaOH a un litro de Agua Cruda. Se realiza la prueba de test de jarras con la mejor concentración de coagulante (3500 mg/L de FeCl<sub>3</sub>) al pH especificado y se mide la Turbiedad. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 24.** Resultados con ajuste de pH a la mejor jarra del ensayo 3

No. Jarra	1	2	% Remoción 1	% Remoción 2
Concentración FeCl <sub>3</sub> (mg/L)	3500	3500	55,18	46,62
pH	8,5	7,45		
Turbiedad inicial (NTU)	108	108		
Turbiedad (60min) (NTU)	48,4	57,65		

Fuente: elaboración propia.

### Análisis de resultados

Con el ajuste de pH, se ve favorecido el % de remoción de la turbidez aumentado en aproximadamente 9 puntos. Quiere decir que, al reducir la turbidez del clarificado, también mejorarán los parámetros del efluente, además que el pH al aumentar, mejora la condición del coagulante para llevar a cabo su función. En general los resultados de los ensayos de jarras son muy óptimos para el caso del Cloruro Férrico (FeCl<sub>3</sub>), ya que con respecto a los otros coagulantes fue el que mayor porcentaje de remoción presentó. El cloruro férrico usado como coagulante, tiene ventajas al compararlo con otros, entre las que destacan su efectividad en amplios rangos de pH y temperatura, además genera iones trivalentes de mayor peso molecular, esenciales para el proceso de coagulación<sup>92</sup>.

Además, a nivel técnico el cloruro férrico es eficiente en la eliminación de sólidos suspendidos, rastros de metales y DBO, remueve fosfatos con una eficiencia

<sup>92</sup> ELIGGI, María S., *et al.* Cloruro Férrico para la coagulación optimizada y remoción de entero parásitos en agua [en línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/15890>

superior al 95%, pudiendo mejorar la estructura del floc y su capacidad de sedimentar.

Es importante recalcar que las concentraciones tan altas de cloruro férrico y demás coagulantes se debe a que las muestras presentan gran cantidad de sólidos suspendidos, de partículas coloidales, metales, sulfuros y fosfatos y ya que se obtuvo la concentración óptima es importante revisar cómo se sube el pH en el proceso real para así garantizar los porcentajes de remoción obtenidos a nivel del laboratorio con las muestras representativas.

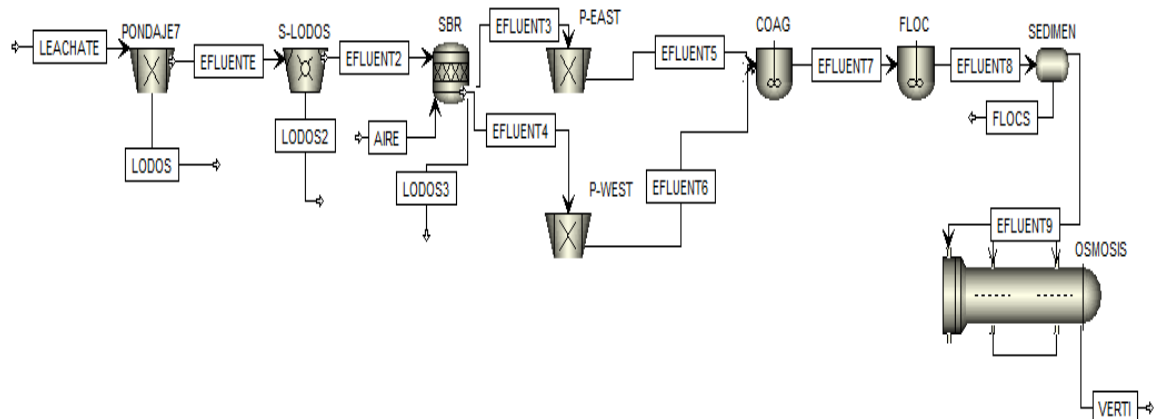
## 4. DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

En el siguiente capítulo se determinarán las especificaciones de la alternativa propuesta determinada por la matriz de selección del capítulo anterior. Cabe mencionar que esto se hará a través de la descripción del proceso de optimización que está realizando el Relleno Sanitario Doña Juana de toda la línea de tratamiento fisicoquímico, además, de tener en cuenta el nuevo diseño de la unidad de Clarificación como unidad de tratamiento, la cual fue llevada a nivel laboratorio para su respectiva experimentación. Es importante mencionar también que la unidad de Coagulación-Floculación debería tener procesos pre y post con el fin de que haya mejores resultados en torno a la remoción de contaminantes y que se evite así inconvenientes con las membranas de ósmosis inversa. Pueden descasarse unidades como Filtración y Micro filtración y biorreactores con membranas<sup>93</sup>. Sin embargo, para nuestro estudio, solo se tuvo en cuenta la unidad de Coagulación-Floculación.

### 4.1 DIAGRAMA DE EQUIPOS

A continuación, se muestra el diagrama de proceso de la alternativa propuesta para la línea de tratamiento fisicoquímico con sus principales corrientes de entrada y salida para cada una de las unidades.

**Gráfico 5.** Línea de tratamiento Fisicoquímico de alternativa propuesta.

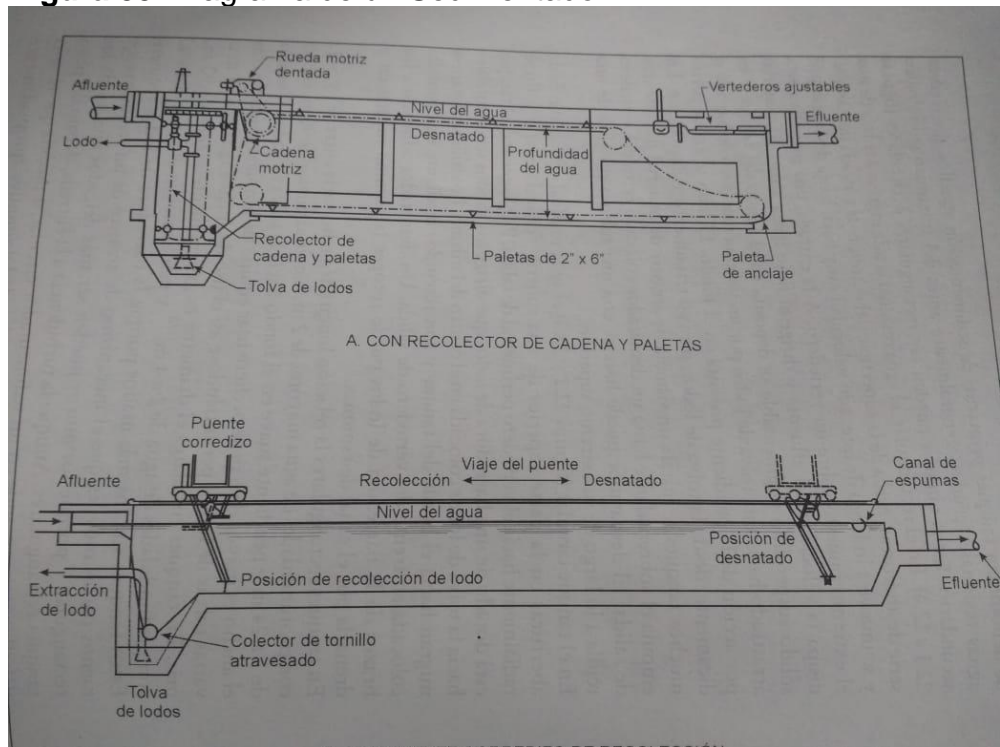


Fuente: elaboración propia.

<sup>93</sup> GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances recientes. Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de los Andes. [en línea]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

**4.1.1 Pondaje 7.** Como se describió en el capítulo 2, referente al diagnóstico de cada una de las unidades de tratamiento, el pondaje 7 se dispondrá no solo como almacenamiento de lixiviados, sino que hará parte también como unidad de tratamiento; es decir, actuará como sedimentador preliminar que, según el relleno sanitario, podrá contar con las condiciones anaerobias generando así metabolismo de materia orgánica.

**Figura 33.** Diagrama de un Sedimentador.



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 451. ISBN 9588060133

El pondaje puede ser visto como un tanque rectangular de flujo horizontal, en el que el agua residual cruda ingresa a través de una serie de aberturas, cerca de la superficie del extremo de entrada al tanque<sup>94</sup>. Luego de un tiempo de retención estimado, el material sólido suspendido sedimentable se deposita en el fondo del tanque y es arrastrado hasta una tolva donde posteriormente se hará la retención y posterior eliminación. El rediseño básico para el Pondaje 7 debe tener los siguientes parámetros:

<sup>94</sup> TOW, Emily; WARSINGER David, TRUEWORTHY, Ali M; SWAMINATHAN, Jaichander; THIEL, Gregory; ZUBAIR, Syed; MYERSON, Allan; LIENHARD, John. Comparison of fouling propensity between reverse osmosis, forward osmosis, and membrane distillation. Journal of Membran science, volume 556. 2018. [Consultado 22 de Marzo de 2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738818303247>



**4.1.1.1 Caudal Medio de Aguas Residuales (Qm).** Como se evidencia en el capítulo 2, el tratamiento de agua residual inicia aguas arriba de los SBR, es decir, en el Pondaje 7, el cual recibe lixiviado de las celdas de Zona VII, Zona VIII y Optimización. El caudal promedio que entra a esta unidad se estima en 15,94 L/s.

**Ecuación 8.** Caudal medio de aguas residuales

$$Qm \left( \frac{L}{s} \rightarrow \frac{m^3}{día} \right) = 15,94 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} \times \frac{24h}{1día} = 1377,22 \frac{m^3}{día}$$

**Ecuación 9.** Qm en m<sup>3</sup>/h

$$Qm \left( \frac{L}{s} \rightarrow \frac{m^3}{h} \right) = 15,94 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} = 57,38 \frac{m^3}{h}$$

**Tabla 25.** Caudales Pondaje 7 a diferentes unidades.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Caudal de Lixiviado	15,94	L/s	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	1377,22	m <sup>3</sup> /día	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	57,38	m <sup>3</sup> /hora	Caudal medio

Fuente: elaboración propia.

**4.1.1.2 Tiempo de Retención (Tr).** El tiempo de retención no se calcula, según datos del relleno y para el diseño que se tiene actualmente y se de una mejor sedimentación de sólidos, se toma un tiempo de 24 horas para que estas aguas residuales permanezcan dentro del pondaje.

**4.1.1.3 Altura Efectiva (h).** La altura efectiva actual del pondaje es de 4.5 m, pero para el rediseño se toma un factor de seguridad del 10%, quedando de la siguiente manera:

**Ecuación 10.** Altura efectiva

$$h = 4,5m + 10\%(4,5m) \cong 5m$$

**4.1.1.4 Velocidad de Asentamiento (Vs).** Para el cálculo de la velocidad de sedimentación, se tiene la siguiente ecuación:

**Ecuación 11.** Velocidad de asentamiento

$$V_s = \frac{h}{t} = \frac{5m}{24h} = 0,2083 \frac{m}{h}$$

**Fuente:** KOOK, Seungho; LEE, Chulmin; NGUYEN, Thann; LEE, Jangho; SHON, Ho. Serially connected forward osmosis membrane elements of pressure-assisted forward osmosis-reverse osmosis hybrid system: Process performance and economic analysis. Desalination. Volme 448, 2018. [Consultado 22 de Marzo de 2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916418307690>.

**4.1.1.5 Área Superficial (As).** Para el cálculo del área superficial, se tiene la siguiente ecuación:

**Ecuación 12.** Área superficial

$$A_s = \frac{Q_m}{V_s} = \frac{57,38 \frac{m^3}{h}}{0,2083 \frac{m}{h}} = 275,42 m^2$$

**4.1.1.6 Carga Hidráulica (Qh).** Para el cálculo de la carga hidráulica, se tiene la siguiente ecuación:

**Ecuación 13.** Carga Hidráulica

$$Q_h = \frac{Q_m}{A_s} = \frac{1377,22 \frac{m^3}{día}}{275,42 m^2} = 5 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

**4.1.1.7 Volumen de Carga Hidráulica (VQh).** Para el cálculo del volumen de carga hidráulica, se tiene la siguiente ecuación:

**Ecuación 14.** Volumen Carga Hidráulica

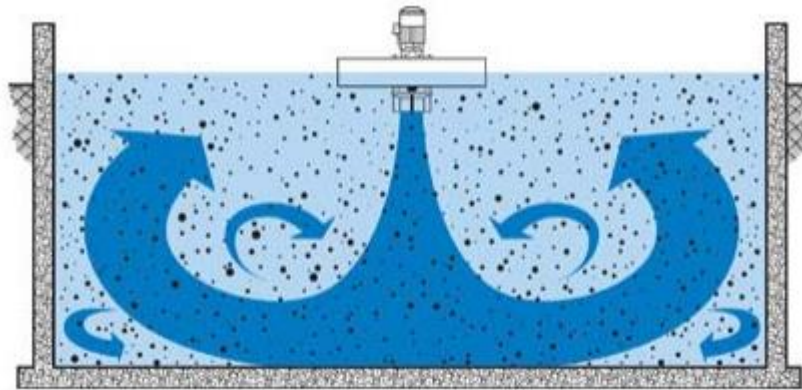
$$VQh = A_s \times h = 275,42 m^2 \times 5 m = 1377.2 m^3$$

Se espera que en esta unidad se produzca sedimentación de sólidos y generación de lodos anaerobios. Por lo cual es necesario instalar un sistema de bombeo para purga los lodos generados en el pondaje hacia el punto más cercano de deshidratación.

**4.2.1 Secador de Lodos.** Este “Pondaje” almacena de forma temporal los lixiviados provenientes de las celdas Biosólidos y Mansión. Dicho pondaje tiene una capacidad aproximada de 1047 m<sup>3</sup>. Dentro de la operación del secador de lodos, los operarios en algunas ocasiones bombean lixiviados de dicha unidad hacia el SBR SUR por medio de una bomba sumergible. En promedio, este pondaje recibe un caudal de aproximadamente 1,64 L/s.

Este pondaje se propone ser utilizado como tanque de homogenización. Sin embargo, el volumen es superior al necesario para ser un tanque de dichas características; así que, la mejor propuesta para esta unidad es separarlo en dos secciones: La primera para que opere como un tanque de homogenización que permita manejar un volumen a bombear de manera controlada. Para este caso, se estimó un caudal aproximado de 0,0014 L/s y la segunda como un sedimentador que permita, como en la unidad anterior, sedimentar los sólidos para luego ser retirados como lodos anaerobios.

**Figura 34.** Diagrama de Sedimentador para Tratamiento de Aguas.



Fuente: INDITEX. Procesos de Regulación-Homogenización. [Consultado 12 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Proceso s+de+regulaci%C3%B3n-homogenizaci%C3%B3n.pdf/47d7e07a-42fb-769b-b131-912050e0412c](https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Proceso+s+de+regulaci%C3%B3n-homogenizaci%C3%B3n.pdf/47d7e07a-42fb-769b-b131-912050e0412c)

**4.2.1.1 Tanque de Homogenización.** Para justificar el por qué se puede separar el pondaje en dos secciones, se evidencia a continuación una parte del cálculo que se realizó y el volumen total que ocuparía la unidad:

**Tabla 26.** Capacidad Instalada Pondaje Secador de Lodos.

#	Caudal hora (L/s)	Caudal hora (m <sup>3</sup> /h)	Acumulado (m <sup>3</sup> )	Q bombeo (L/s)	Q bombeo (m <sup>3</sup> /h)	Acumulado bombeo (m <sup>3</sup> )	Tot. m <sup>3</sup>
1	4,2	15,12	15,12	0,0014	0,005	0,005	15,1

Fuente: elaboración propia.

Así se hizo para un total de 24 ítems en el que se tomaron caudales por un periodo de 24 horas y así establecer con los valores de la última columna, la capacidad de almacenamiento del pondaje. La última columna, corresponde al balance total de volumen, se calcula por medio de la diferencia entre el Acumulado (m<sup>3</sup>) y el Acumulado Bombeo (m<sup>3</sup>).

Luego de tener los valores para las 24 horas de muestreo, se suman todos los valores de la última columna (Balance Total), dando como resultado un volumen de 334,35 m<sup>3</sup>. La tabla completa se puede visualizar completa en el Anexo C. Teniendo en cuenta este valor, se llega a la posibilidad de dividir el pondaje, debido a que este volumen corresponde a solo el 31,93% del total del pondaje, por lo que el restante, se convertiría en la zona de sedimentación. A continuación, se muestran los parámetros básicos del diseño de este sedimentador:

Como se mencionó anteriormente, las aguas que llegan al secador de lodos provienen de Bíosólidos y Mansión. El caudal promedio que entra a esta unidad se estima en 1,64 L/s.

Caudal Medio de Aguas Residuales (Qm), ver Ecuación 8

$$Qm = 1,64 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} \times \frac{24h}{1día} = 141,70 \frac{m^3}{día}$$

Qm en m<sup>3</sup>/h, ver Ecuación 9

$$Qm = 1,64 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} = 5,904 \frac{m^3}{h}$$

**Tabla 27.** Caudales Secador de Lodos a diferentes unidades.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Observaciones</b>
Caudal de Lixiviado	1,64	L/s	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	141,70	m <sup>3</sup> /día	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	5,904	m <sup>3</sup> /hora	Caudal medio

Fuente: elaboración propia.

### **Tiempo de Retención Total (Tr).**

El tiempo de retención, así como para el Pondaje 7, se establece en 24 h.

### **Volumen Tiempo de Retención (VTr)**

Para el cálculo del Volumen Tiempo de Retención, se tiene la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 15.** Volumen Tiempo de Retención

$$VTr = Qm \times Tr = 5,904 \frac{m^3}{h} \times 24 h = 141,7 m^3$$

**4.2.3 Reactores Secuenciales por Lote (SBR).** Estas unidades deben utilizar equipos y controles que ofrezcan un rendimiento superior en las condiciones más exigentes, al tiempo que proporcionen importantes beneficios en su operación. Los reactores han sido ubicados al comienzo del tratamiento antes de llegar a la PTL por dos razones principales:

- Remoción parcial de la carga orgánica (se reducirá parcialmente DBO, DQO y SST).
- Remoción parcial de la elevada para concentración de nitrógeno amoniacal presente en los lixiviados.

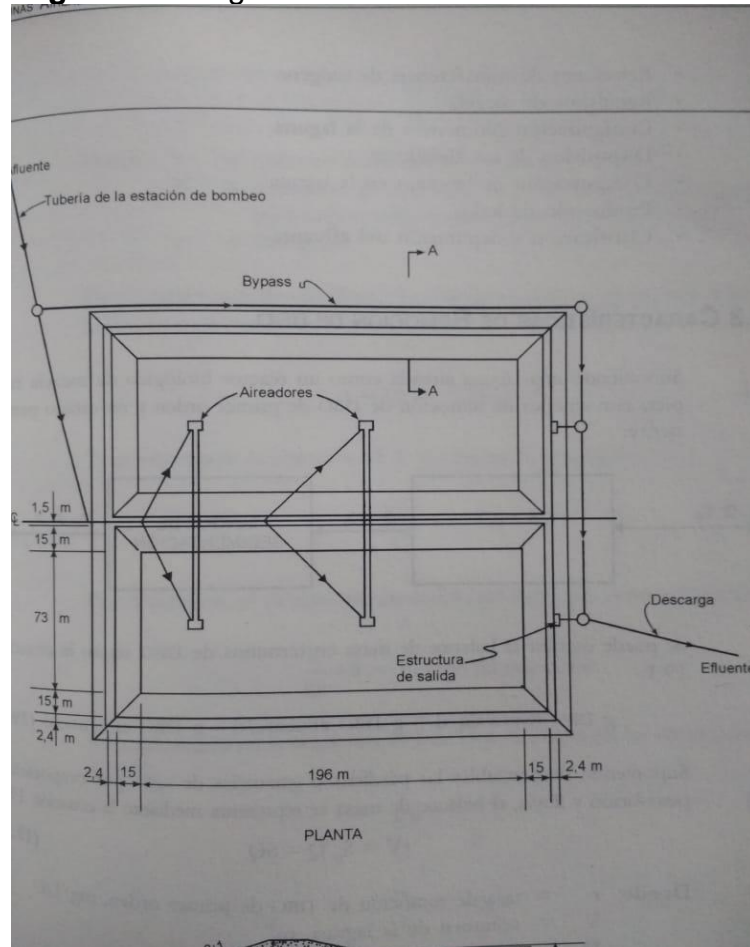
Son dos unidades que operan alternadamente para una altura máxima de 6m, la cual fue establecida según los planos actuales de la PTL.

El proceso de Cargas Secuenciales utiliza los siguientes equipos para proveer al sistema el funcionamiento adecuado:

- Electro válvulas: para el control de llenado y alternación de reactores, para el control de extracción de lixiviado tratado y lodos en exceso.
- Unidad de mezcla: Durante los procesos anóxicos (cantidad de oxígeno disuelto agotado).
- Unidad de aireación: durante el llenado y oxigenación de los lixiviados.

- Mecanismo de decantación: con un decantador se extraerá el sobrenadante clarificado a razón de 150 L/s (caudal propuesto por CGR Doña Juana).
- Sistema de control mediante PLC.
- Bombeo de lodos en exceso: no solo hacia un sistema de deshidratación sino también hacia zona de predesnitrificación (Línea de Tratamiento Biológico).

**Figura 35.** Diagrama de Reactores Aireados.



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 451. ISBN 9588060133

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, se procede a iniciar con el rediseño de la unidad SBR Sur, el cual no está operando como unidad de aireación prolongada debido a la colmatación de lodos en el tanque. Las aguas que ingresan a los reactores provienen de diferentes zonas, de la siguiente manera:

**Cuadro 19.** Afluentes a unidades SBR.

Zona	Caudal (L/s)
Zona VII	0,1
Zona VIII	0,19
Optimización	9,43
Patógenos	6,22
Secador de Lodos	0,0014 (Bombeado)
<b>Caudal Total</b>	<b>15,94</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.1 Capacidad según Relación Alimento/Microorganismo.

Caudal Medio de Aguas Residuales (Qm), ver Ecuación 8

$$Q_m = 15,94 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} \times \frac{24h}{1día} = 1379,81 \frac{m^3}{día}$$

**Tabla 28.** Caudales Reactores SBR a diferentes unidades.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Caudal de Lixiviado	15,94	L/s	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	1379,81	m <sup>3</sup> /día	Caudal medio

Fuente: elaboración propia.

- **Concentración DBO de entrada (M<sub>DBOi</sub>)**

La concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno es uno de los parámetros críticos más importantes a tener en cuenta no solo durante el proceso sino para esta unidad. El parámetro, según caracterización realizada previamente, ingresa a los reactores a una concentración de 2000 mg/L. Para facilitar cálculos posteriores se hace su conversión a Kg/m<sup>3</sup>.

**Ecuación 16.** Concentración DBO de entrada

$$M_{DBOi} \left( \frac{mg}{L} \rightarrow \frac{Kg}{m^3} \right) = 2000 \frac{mg}{L} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times \frac{1000L}{1m^3} = 2 \frac{Kg DBO}{m^3}$$

- **Concentración Sólidos Suspendidos Volátiles en Licor Mezclado ( $X_{SSVLM}$ )**

En muchos casos, los SSVLM se aproximan al contenido de SST, en otros, la DBO se reemplaza por la DQO. Esta concentración tiene un rango operacional para procesos de aireación prolongada de 3 - 6 KgSSVLM/m<sup>3</sup><sup>95</sup>. Según la referencia bibliográfica, se prefiere tomar un valor de 4 KgSSVLM/m<sup>3</sup> para el manejo de este tipo de aguas.

- **Relación Alimento/Microorganismo (F/M)**

Esta relación es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbiana en el sistema. Así como en el factor anterior, la bibliografía tiene un rango de operación el cual está definido entre 0,05 – 0,15 KgDBO/KgSSVLM\*día<sup>96</sup>.

- **Volumen del Reactor (V)**

El volumen del SBR Sur, está bien según el diseño original que se tiene en el Relleno, cumple con su dimensionamiento para procesos los caudales que más adelante se calcularán. No necesita geoméricamente un rediseño. El volumen actual del tanque es de 11007 m<sup>3</sup>.

- **Caudal de Entrada Mínimo ( $Q_{dmín}$ )**

Para el cálculo del Caudal de entrada mínimo, se tiene la siguiente ecuación<sup>97</sup>:

**Ecuación 17. Caudal de entrada mínimo**

$$Q_{dmín} = \frac{F}{M} \times V \times X_{SSVLM} / M_{DBO_i}$$

$$Q_{dmín} = \frac{0,05 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{Kg SSVLM} * \text{día}} \times 11007 \text{m}^3 \times 4 \frac{\text{Kg SSVLM}}{\text{m}^3}}{2 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{m}^3}} = 1100,7 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

**Ecuación 18.  $Q_{dmín}$  en L/s**

$$Q_{dmín} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \rightarrow \frac{\text{L}}{\text{s}} \right) = 1100,7 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{día}}{24\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 12,74 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

<sup>95</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 451. ISBN 9588060133

<sup>96</sup> Ibid., p. 451

<sup>97</sup> Ibid, p. 451



- **Caudal de Entrada Máximo (Qdmáx).** Para el cálculo del Caudal de entrada máximo, se utiliza la Ecuación 17 pero se cambia la relación F/M:

**Ecuación 19.** Caudal de entrada máximo

$$Q_{dmáx} = \frac{0,15 \frac{Kg\ DBO}{Kg\ SSVLM * día} \times 11007m^3 \times 4 \frac{Kg\ SSVLM}{m^3}}{2 \frac{Kg\ DBO}{m^3}} = 3302,10 \frac{m^3}{día}$$

**Ecuación 20.** Qdmáx en L/s

$$Q_{dmáx} = 3302,10 \frac{m^3}{día} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1día}{24h} \times \frac{1h}{3600s} = 38,22 \frac{L}{s}$$

#### 4.2.3.2 Capacidad según Carga Volumétrica.

- **Carga Volumétrica (Lv)**

La carga volumétrica se define como la cantidad de DBO por unidad de volumen presente dentro del reactor. Según la referencia bibliográfica, este parámetro de diseño está entre 0,10 – 0,40 KgDBO/m<sup>3</sup>\*día.

- **Altura Efectiva (h)**

La altura efectiva viene dada por datos suministrados por CGR Doña Juana. La altura se establece en 6m.

- **Caudal de entrada mínimo (QdmínV)**

La ecuación que permite calcular el caudal mínimo de entrada se define como:

**Ecuación 21.** Caudal entrada mínimo según carga volumétrica

$$Q_{dmínV} = \frac{V \times Lv}{M_{DBO_i}} = \frac{11007m^3 \times 0,10 \frac{Kg\ DBO}{m^3 * día}}{2 \frac{Kg\ DBO}{m^3}} = 550,35 \frac{m^3}{día}$$

**Ecuación 22.** QdminV en L/s

$$Q_{dmínV} = 550,35 \frac{m^3}{día} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1día}{24h} \times \frac{1h}{3600s} = 6,37 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de entrada máximo (QdmáxV)**

La ecuación que permite calcular el caudal mínimo de entrada es la Ecuación 21, pero se cambia el valor de la carga volumétrica así:

**Ecuación 23.** Caudal de entrada máximo según carga volumétrica

$$QdmáxV = \frac{V \times Lv}{M_{DBO1}} = \frac{11007m^3 \times 0,40 \frac{Kg\ DBO}{m^3 * día}}{2 \frac{Kg\ DBO}{m^3}} = 2201,4 \frac{m^3}{día}$$

**Ecuación 24.** QdmáxV en L/s

$$QdminV = 2201,4 \frac{m^3}{día} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1día}{24h} \times \frac{1h}{3600s} = 25,48 \frac{L}{s}$$

- **Tiempos de Llenado por Ciclo**

**Tabla 29.** Tiempo de Llenado por Ciclo

Ciclo	Tiempo de Llenado (h)
Llenado	19
Reacción	12
Sedimentación	1
Decantación	1
Inactividad	5

Fuente: elaboración propia.

Los tiempos por ciclos fueron definidos en colaboración con la PTL, debido a que Baying S.A.S, empresa colaboradora del relleno y entidad de Ingeniería de Aguas, Gas y Medio Ambiente, sugiere como experiencia estos tiempos.

**4.2.4 Pondajes Oriental y Occidental.** Estos pondajes se rediseñarán para que sean ahora unidades de homogenización por lotes. Esto permitirá homogenizar la calidad del agua antes de ingresar al tratamiento Físicoquímico, buscando una calidad constante en el afluente. Los parámetros básicos de rediseño se harán para ambos con los mismos resultados.

El caudal que se rebosa en la caja de entrada a la PTL, es enviado a este pondaje con un caudal aproximado de 18,5 L/s. Tiene un volumen de 999 m<sup>3</sup> y un área de aproximadamente 333m<sup>2</sup>.

#### 4.2.4.1 Caudal medio de aguas residuales (Qm).

Caudal medio de aguas, ver Ecuación 8

$$Qm = 18,5 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} \times \frac{24h}{1día} = 1598,40 \frac{m^3}{día}$$

Qm en m<sup>3</sup>/h, ver Ecuación 9

$$Qm = 18,5 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{3600s}{1h} = 66,6 \frac{m^3}{h}$$

**Tabla 30.** Caudales Pondaje Oriental y Occidental a diferentes unidades.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Caudal de Lixiviado	18,50	L/s	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	1598,40	m <sup>3</sup> /día	Caudal medio
Caudal de Lixiviado	66,6	m <sup>3</sup> /hora	Caudal medio

Fuente: elaboración propia.

**4.2.4.2 Tiempo de Retención Total (Tr).** El tiempo de retención total para esta unidad se reduce a la mitad, se establece este parámetro así debido a que gran parte de los sólidos sedimentables ya se han venido retirando en unidades anteriores. Se reduce el tiempo de retención a 12 h.

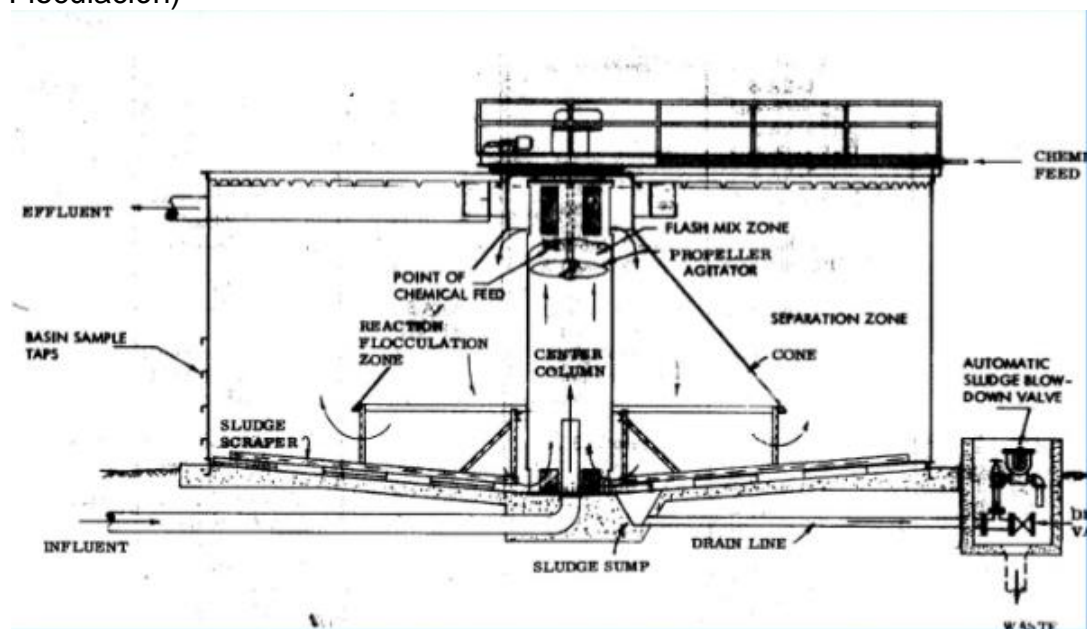
**4.2.4.3 Volumen tiempo de retención (VTr).** Para el cálculo del volumen tiempo de retención, se emplea la **Ecuación 15**.

Volumen tiempo de retención, ver Ecuación 15

$$VTr = Qm \times Tr = 66,6 \frac{m^3}{h} \times 12 h = 799,20 m^3$$

**4.2.5 Sistemas de Tratamiento Físicoquímico 3 y 1.** Este sistema de tratamiento recibe caudales provenientes de los pondajes oriental y occidental. Cada unidad de tratamiento cuenta con tres recamaras en las que se disponen las operaciones de mezcla rápida (coagulación), mezcla lenta (floculación) y sedimentación. En esta sección se presentarán los cálculos provistos por CGR Doña Juana que, en compañía del ellos, nos colaboraron debido a la optimización que se les están haciendo a las unidades.

**Figura 36.** Diagrama de una unidad Clarificadora de Aguas (Coagulación-Floculación)



Fuente: BUELA SALAZAR, Marisol. Clarificación del Agua [en línea]. SlideShare. [Consultado 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://pt.slideshare.net/marisolbuela/clarificacion-del-agua-254100/14>

Solo se presentarán los resultados para una sola unidad de Tratamiento Físicoquímico, ya que, estos parámetros serán los mismo para la segunda unidad de Tratamiento.

#### 4.2.5.1 Unidad de Coagulación.

**Tabla 31.** Parámetros básicos de cámara de Coagulación.

Cámara de Mezcla Rápida	Resultados
Tiempo de Mezcla	15-60 segundos
Ancho (b)	1,70 m
Largo (L)	1,50 m
Volumen útil	2,7 m <sup>3</sup>
Caudal máximo	178,5 L/s
Caudal mínimo	45 L/s

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal encargado de la optimización de la PTL.

**Tabla 32.** Especificaciones de Paletas de Coagulación

<b>Especificación Paletas</b>	<b>Resultado</b>
Número de paletas	1
Ancho de Paletas (bp)	0,21m
Largo (Lp)	0,52m
Revoluciones por minuto	257 rpm

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal encargado de la optimización de la PTL.

#### 4.2.5.2 Unidad de Floculación.

**Tabla 33.** Parámetros básicos de la cámara de Floculación

<b>Cámara de Mezcla Lenta</b>	<b>Resultados</b>
Tiempo de Mezcla	10-30 min
Ancho (b)	2,70 m
Largo (L)	3,60 m
Volumen útil	20,40 m <sup>3</sup>
Caudal máximo	34,02 L/s
Caudal mínimo	1,34 L/s

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal encargado de la optimización de la PTL.

**Tabla 34.** Especificaciones de Paletas de Floculación

<b>Especificación Paletas</b>	<b>Resultado</b>
Número de paletas	2
Ancho de Paletas (bp)	0,3m
Largo (Lp)	1,5m
Revoluciones por minuto	21 rpm

Fuente: elaboración propia con base a datos suministrados por personal encargado de la optimización de la PTL.

Como análisis de lo planteado dentro de este capítulo, se observa que con este tren de pretratamiento se reduce considerablemente la carga contaminante de la corriente de lixiviado y es factible la alimentación del lixiviado; esto se evidencia en los resultados que arrojó la caracterización realizada al mejor ensayo de Test de Jarras en los que se cumplen los parámetros de las membranas de ósmosis inversa. Es importante resaltar que entre los parámetros cumplidos por la corriente de alimentación se encuentran DBO, DQO, SST, Nitrógeno Amoniacal, Nitritos y Nitratos, Hidrocarburo absorbible, Cloruros, Fósforo y sólidos disueltos, temperatura y pH. Además, como se suscitó en el principio del capítulo, es importante como recomendación tener la posibilidad de llevar a cabo un análisis de otras alternativas tales como micro filtración, filtros de arena o carbón activado las cuales ayudarán a la remoción de materia orgánica, sólidos en suspensión, material coloidal, bacterias y turbidez.

Esto como actividad para salvaguardar la vida útil de las membranas de ósmosis inversa evitando así su daño con posibles incrustaciones, ya que hay otros parámetros que dentro del lixiviado siguen sin cumplir como por ejemplo Plomo, Níquel, Cobre, Mercurio y Cadmio.

## 5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE PRETRATAMIENTO A ESCALA REAL

En este capítulo se realiza el análisis de costos para la ejecución de la alternativa propuesta, teniendo en cuenta los parámetros como los costos de inversión, los costos de operación derivados en servicios, consumo energético total y mano de obra. De esta manera se concluirá un valor aproximado de la implementación de esta propuesta para la mejora del pretratamiento fisicoquímico en la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana.

### 5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Acorde a la capacidad instalada de la planta de tratamientos y el volumen considerable que maneja dicho sistema, solo se pueden realizar ciertos cambios en el sistema fisicoquímico. Es decir, durante este proceso se incluirán algunos complementos a estas unidades, mas no se modificarían estructuralmente, ya que deshabilitar dichos espacios de almacenamiento provocaría un problema para el caudal diario que se maneja. Estos costos están estimados para un caudal medio previsto en el pronóstico de 18,5 L/s. A continuación, se mencionan los costos de equipos que complementarían el sistema actual. Para efectos del análisis de costos el valor del dólar es de 3428,98 COP.

**Tabla 35.** Costos de inversión de los equipos.

Equipos	Cantidad	USD	Costo unitario (cop)	Costo total (cop)
<b>Unidad de mezcla (pondajes)</b>	4	308,55	1.057.840,3	4.231.361,2
<b>Sopladores</b>	2	684,09	2.345.690	4.691.380
<b>Tanque de recolección</b>	1	1000	3.428.970	3.428.970
<b>Actuador electromecánico</b>	1	138	473.199,24	473.199.24
<b>Tanque homogeneizador</b>	1	-	8.654.900	8.654.900

**Tabla 35.** (Continuación)

Equipos	Cantidad	USD	Costo unitario \$(cop)	Costo total \$(cop)
Controlador de pH	4	-	1.820.000	7.280.000
Bomba dosificadora	7	-	843.000	5.901.000
Tanque preparación del coagulante	1	-	2.200.400	2.200.400
<b>TOTAL</b>				36.861.210,44

Fuente: elaboración propia.

## 5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

**5.2.1 Costos de Insumos.** Los costos de operación son los gastos necesarios para la operación del proyecto, entre estos se incluyen los gastos que abarcan las materias primas, insumos de los servicios públicos, costos de operación o de la mano de obra que se requieren para el funcionamiento y ensamblaje de los equipos. Inicialmente para calcular los costos de la materia prima o insumos requeridos en el proceso fisicoquímico se debe conocer el valor total requerido de esta para el mejoramiento de la planta, así que se estima el precio unitario de cada consumo para que luego sea expresado de forma mensual y anual. Esta información se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 36.** Costos de insumo

Insumo	Presentación	Costo \$(cop)	Dosis mensual (kg)	Dosis anual (kg)	Costo anual \$(cop)
Cloruro Férrico 10%	25 Kg	109550	1.9955	23.94	2.622.627
Soda Caustica (NaOH)	20 Kg	87000	1.824	21.888	1.904.256
Polímero poliacrilamida	25 Kg	744017,7	0,57	6.84	5.089.081
<b>TOTAL</b>					9.615.964

Fuente: elaboración propia.



**5.2.2 Costos de energía eléctrica.** El costo de energía dependerá del número de equipos a implementar en el sistema, como las bombas, sopladores, actuadores y controladores en el tratamiento fisicoquímico, la potencia de cada una de estos, el valor de kW y la \$kW, tarifa de energía eléctrica regulada por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) se presentan a continuación.

**Ecuación 25.** Conversión de HP a kW.

$$1 \text{ HP} = 0,7457 \text{ kW}$$

**Ecuación 26.** Estimación de costo energético por mes.

$$\text{Costo } x \text{ mes} = 0,7457 \text{ kW} * 360 \text{ h} * 489,3717 \text{ \$/kWh}$$

$$\text{Costo } x \text{ mes} = 131.372,81$$

**Tabla 37.** Costos de energía eléctrica

Equipo	Cantidad	Consumo kw/h	Costo kw mes	Costo kw año
Sopladores	2	0,7457	262.745,62	3.152.947,44
Controlador de pH	4	8,00E-03	5.637,56	67.650,74
Bomba dosificadora	7	0,04831	59.576,69	714.920,37
<b>TOTAL</b>				<b>\$3.935.518,55</b>

Fuente: elaboración propia.

Se estima que gastar un metro cúbico de agua (1000L) cuesta aproximadamente 13.453 pesos, de acuerdo con las tarifas de la EAAB (Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá) para el presente año. Este dato se incluirá en costos de servicio teniendo en cuenta un caudal de 19 L/s.

**Ecuación 27.** Estimación de costo m<sup>3</sup> de agua por mes.

$$\text{Costo } x \text{ mes} = 0.019 * 3600 \text{ s} * 24 * 30 * 13.453 \text{ \$/m}^3$$

$$\text{Costo } x \text{ mes} = 662.533,344$$

**5.2.3 Costos por mantenimiento.** Los costos por mantenimiento que se tienen estipulados para la alternativa propuesta van enfocados directamente al mantenimiento y lavado de los equipos considerados de la propuesta. Se espera que se realice un mantenimiento preventivo a cada equipo una vez por año, sin embargo, en el costo del mantenimiento anual no se estima el costo de algunas

piezas que se requieran cambiar. Por otra parte, en costo de lavado el precio varía con respecto a la cantidad de agua gastada y los insumos a utilizar que se incluirían en el presupuesto mensual de aseo.

**5.2.4 Costos por mano de obra.** La alternativa del pretratamiento planteado no cuenta con un funcionamiento automatizado, razón por lo cual, se requiere de los mismos operarios que laboran en la planta de tratamiento de lixiviados actual, ya que estos deben hacer control del sistema y verificar el correcto funcionamiento de cada una de las unidades. El costo correspondiente a la nómina se calcula con base al salario mínimo legal vigente en Colombia (SMLV) para el año 2019. Seguido a esto, se determinan las prestaciones sociales y sistema seguridad social según lo exigido por ley para un año de contratación como se muestra a continuación. Se estima que el costo por mano de obra sea para 5 personas en el inicio del proyecto las cuales estarán encargadas del pretratamiento.

**Tabla 38.** Costos por mano de obra.

Variable	Valor mensual \$(cop)	Valor anual \$(cop)
<b>SMLV</b>	828.116	9.937.392
<b>Auxilio de transporte</b>	97.032	1.164.384
<b>Vacaciones</b>	34.505	414.060
<b>Cesantías</b>	77.096	925.152
<b>Intereses a las cesantías</b>	9.251	111.012
<b>Prima de servicios</b>	77.096	925.152
<b>Caja de compensación</b>	33.125	397.500
<b>Salud (EPS)</b>	70.390	844.680
<b>Pensión (AFP)</b>	99.374	1.192.488
<b>Riesgos profesionales (ARL)</b>	4.323	51.876
<b>Total</b>	<b>1.330.308</b>	<b>15.963.696</b>

Fuente: elaboración propia.

**5.2.5 Costos por Caracterizaciones.** Las caracterizaciones que se realizaran en la salida del tratamiento fisicoquímico serían las mismas que se realizan actualmente por controles de la planta de tratamiento, es decir mensualmente se mandaría una muestra adicional correspondiente a la salida del pretratamiento, esto con el fin de garantizar las mejores condiciones de entrada a osmosis inversa.

**Tabla 39.** Costos por Caracterizaciones.

<b>Parámetro</b>	<b>Norma que regula</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	Decreto. 166/08	\$ 10.148
<b>Temperatura</b>	Res. 3956/09	\$ 10.000
<b>Conductividad (In situ)</b>	No reglamentado	\$ 10.000
<b>Oxígeno Disuelto (In situ)</b>	Res. 3956/09	\$ 20.000
<b>Caudal (in situ CGR)</b>	No reglamentado	\$ 19.633
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Res. 631/15	\$ 57.085
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)</b>	Decreto. 166/08	\$ 57.085
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	Res. 631/15	\$ 25.371
<b>Sólidos Sedimentables (SSED)</b>	Res. 3956/09	\$ 15.223
<b>Sólidos Totales</b>	No reglamentado	\$ 26.000
<b>Grasas y Aceites</b>	Decreto. 166/08	\$ 57.085
<b>Compuestos Semivolátiles Fenólicos</b>	Res. 631/15	\$ 300.221
<b>Fenoles</b>	Res. 3956/09	\$ 76.112
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b>	Res. 631/15	\$ 53.279
<b>Hidrocarburos Totales (HTP)</b>	Res. 631/15	\$ 80.000
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)</b>	Res. 631/15	\$ 443.988
<b>BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)</b>	Res. 631/15	\$ 480.225
<b>Compuestos Orgánicos Halogenados Absorbibles (AOX)</b>	Res. 631/15	\$ 1.250.000
<b>Fósforo Total</b>	Res. 631/15	\$ 48.205
<b>Orto fosfatos</b>	Res. 631/15	\$ 30.425
<b>Nitratos (N-NO3)</b>	Res. 631/15	\$ 25.371
<b>Nitritos (N-NO2)</b>	Res. 631/15	\$ 25.371
<b>Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)</b>	Res. 631/15	\$ 63.426
<b>Nitrógeno Total (N) Kjeldahl</b>	Res. 631/15	\$ 101.483
<b>Cianuro Total (CN)</b>	Res. 631/15	\$ 90.430
<b>Cloruros (Cl)</b>	Res. 631/15	\$ 25.371
<b>Sulfatos (SO4)</b>	Res. 631/15	\$ 25.371
<b>Sulfuros (S)</b>	Res. 631/15	\$ 60.375
<b>Aluminio (Al)</b>	Res. 3956/09	\$ 65.224
<b>Arsénico (As)</b>	Res. 3956/09	\$ 88.797

**Tabla 39. (Continuación)**

<b>Bario (Ba)</b>	<b>Res. 631/15</b>	<b>\$ 75.224</b>
<b>Berilio (Be)</b>	Res. 631/15	\$ 48.205
<b>Boro (B)</b>	Res. 3956/09	\$ 69.769
<b>Cadmio (Cd)</b>	Res. 3956/09	\$ 48.205
<b>Zinc (Zn)</b>	Res. 3956/09	\$ 48.205
<b>Cobalto (Co)</b>	Decreto. 166/08	\$ 48.205
<b>Cobre (Cu)</b>	Res. 3956/09	\$ 48.205
<b>Cromo Total (Cr)</b>	Res. 3956/09	\$ 48.205
<b>Cromo Hexavalente (Cr+6)</b>	Res. 3956/09	\$ 49.000
<b>Estaño (Sn)</b>	Res. 631/15	\$ 88.797
<b>Litio (Li)</b>	Decreto. 166/08	\$ 63.426
<b>Manganeso (Mn)</b>	Res. 3956/09	\$ 48.205
<b>Mercurio (Hg)</b>	Res. 3956/09	\$ 95.140
<b>Molibdeno (Mo)</b>	Decreto. 166/08	\$ 48.205
<b>Níquel (Ni)</b>	Res. 3956/09	\$ 48.205
<b>Plata</b>	Res. 3956/09	\$ 49.000
<b>Plomo (Pb)</b>	Res. 3956/09	\$ 47.304
<b>Selenio (Se)</b>	Decreto. 166/08	\$ 88.797
<b>Vanadio (V)</b>	Decreto. 166/08	\$ 65.205
<b>Hierro (Fe)</b>	Decreto. 166/08	\$ 63.426
<b>Acidez Total</b>	Res. 631/15	\$ 30.227
<b>Alcalinidad Total</b>	Res. 631/15	\$ 15.223
<b>Dureza Cálcica</b>	Res. 631/15	\$ 15.223
<b>Dureza Total</b>	Res. 631/15	\$ 15.223
<b>Color Real (Long: 436nm(m-1); 525nm(m-1); 620nm(m-1))</b>	Res. 3956/09	\$ 32.341
<b>Compuestos Organoclorados (POC's)</b>	Decreto. 166/08	\$ 264.250
<b>Bifenilos Poli clorados (PCB's)</b>	Decreto. 166/08	\$ 264.250
<b>Coliformes fecales</b>	Res. 3956/09	\$ 35.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$5.491.826</b>

Fuente: elaboración propia.

### 5.3 COSTOS TOTALES

En la tabla se presentan los costos de inversión, funcionamiento y materia prima mensuales y anuales para el pretratamiento propuesto a la corriente de alimentación al proceso de osmosis inversa.

**Tabla 40.** Costos totales

Parámetro	Valor mensual \$(cop)	Valor anual \$(cop)
<b>Inversión de Equipos</b>	3.071.767,53	36.861.210,44
<b>Insumos</b>	801.330,33	9.615.964
<b>Servicios</b>	990.493,214	11.885.918,568
<b>Mano de obra</b>	6.651.540	79.818.480
<b>Costos Caracterización</b>	5.491.826	65.901.912
<b>Total</b>	<b>16.344.423,73</b>	<b>204.083.485,008</b>

Fuente: elaboración propia.

Al no desarrollar un buen sistema de pretratamiento para la entrada a osmosis inversa, se incurrirá a obtener incrustaciones en las membranas en un tiempo menor de lo estimado, por lo que la vida útil de esta reduciría a 2 años aproximadamente, elevando el valor en costos por cambios de membrana y mantenimiento. Adicional que, si se utilizan este tipo de membranas con deterioros no tendrán la misma eficiencia de remoción y se podrían llevar a cabo vertimientos incumpliendo la resolución 0631 de 2015, por lo que la empresa corre el riesgo de ser sancionada con montos muy altos.

**5.3.1 Costos totales proyección a 5 años.** Se estiman los costos totales por los siguientes 5 años posteriores a la propuesta inicial del pretratamiento, teniendo en cuenta el incremento en precio de los reactivos, de los servicios, mano de obra por la subida del salario legal vigente y los costos de caracterización. Teniendo en cuenta que se estima un crecimiento de la población bogotana de (1,7% anual) promedio según la proyección del DANE, un 6% en promedio de incremento del salario legal vigente, costos de servicios incrementando en un 5% y las caracterizaciones suban su valor en un 3% anual.

**Tabla 41.** Costos totales proyección 5 años.

Parámetro	Valor anual 2020	Valor anual 2021	Valor anual 2022	Valor anual 2023	Valor anual 2024
INSUMOS	9.615.964	9.779.435	9.942.907	10.106.378	10.269.850
SERVICIOS	11.885.918,5	12.480.214,4	13.074.510,3	13.668.806,2	14.263.102,1
MANO DE OBRA	79.818.480	84.607.589	89.396.698	94.185.806	98.974.915
COSTOS CARACTERIZACIÓN	65.901.912	67.878.969	69.856.027	71.833.084	73.810.141
<b>TOTAL</b>	<b>\$204.083.485,00</b>	<b>\$174.746.207,4</b>	<b>\$182.270.142,3</b>	<b>\$189.794.074,2</b>	<b>\$197.318.008,1</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 5.4 SANCIONES Y MULTAS

Las sanciones generan un alto impacto y un problema crítico para la planta del relleno Doña Juana. Esto incluye el tema de las multas por incumplir normas y resoluciones vigentes, consecuencia de esto, los entes especializados en auditar y revisar en detalle los procesos asignan sanciones y multas. De no tenerse un plan para los próximos años, en caso de que las pruebas con la nueva planta de osmosis inversa no funcionen puede incurrir en un sellamiento que se determinará a partir del grado de afectación ambiental.

En el Artículo 7 de la Resolución 2086 del año 2010, se expone como es determinado el valor, el cual tiene 5 atributos que generan su afectación: Intensidad (IN), Extensión (EX), Persistencia (PE), Reversibilidad (RV) y Recuperabilidad (MC). estos atributos estiman la importancia de la afectación mediante su calificación, atendiendo a unos criterios y valores presentados en el mismo<sup>98</sup>. A continuación, se estima la importancia de afectación según la ecuación.

<sup>98</sup> Resolución 2086 del 25 de octubre de 2010, (2010). Retrieved from [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyserviciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyserviciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf)

**Ecuación 28.** Importancia de la afectación.

$$I = (3 * IN) + (2 * EX) + PE + RV + MC$$

Donde,

*I*= Importancia de la afectación

*IN*= Intensidad

*EX*= Extensión

*PE*= Persistencia

*RV*= Reversibilidad

*MC*= Recuperabilidad

Importancia de la afectación, ver Ecuación 28

$$I = (3 * 12) + (2 * 12) + 5 + 5 + 3 = 73$$

Según este resultado de 73, la importancia considera en medida cualitativa como “crítico”, este corresponde a un rango entre 61-80. Seguido a esto se procede a establecer el grado de afectación ambiental en unidades monetarias, mediante la siguiente relación, la cual se ajusta al monto de la multa a lo establecido por la Ley<sup>99</sup>, a través de la ecuación:

**Ecuación 29.** Valor monetario de la importancia de la afectación.

$$i = 22.06 * SSML * 73$$

Donde,

*i* = Valor monetario de la importancia de la afectación

*SSML* = Salario mínimo legal vigente

*I*= Importancia de afectación

Valor monetario de la importancia de la afectación. Ver Ecuación 29

$$i = 22.06 * 877803 * I = 1.413.596.395,14$$

<sup>99</sup> RESOLUCIÓN 2086 DEL 25 DE OCTUBRE DE 2010, (2010). Retrieved from [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyserviciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyserviciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf)

Según este resultado, el valor de la sanción es de 1.413.596.395,14 debido a que sus condiciones de criticidad se encuentra entre los valores más altos de la calificación ya que contiene una ponderación de 12 para Intensidad (IN) debido a que algunos parámetros de vertimiento están u incumpliendo en el 100% fijado por la norma, de 12 para Extensión (EX) ya que la afectación se manifiesta en un área superior a las cinco hectáreas, de 5 para Persistencia (PE) porque la alteración sobrepasa los 5 años según históricos, de 5 para la Reversibilidad (RV) ya que la afectación es permanente y hay una dificultad extrema para retomar por medios naturales a sus condiciones anteriores y de 3 para Recuperabilidad (MC) debido a que puede eliminarse por acción humana y la alteración puede ser compensable entre 6 meses y 5 años.

Acorde a este valor de multa por incumplimiento en normatividad vigente relacionada a los vertimientos (\$1.413.596.365,34) y la inversión del proyecto para el primer año de **\$196.133.084,8**; se propone invertir en el desarrollo del proyecto ya que el pretratamiento es clave para llevar a cabo la optimización de la planta de tratamiento de lixiviados con la nueva planta de osmosis inversa. Esto conlleva a que las membranas no acorten su vida útil y sea efectiva la remoción, esto con el objetivo final de cumplir en los parámetros establecidos para verter en cercanías al relleno Doña Juana.



## 6. CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico a cada una de las unidades de la planta y actualmente, teniendo en cuenta el mal manejo y funcionamiento de ellas, la calidad del vertimiento se está viendo afectada por las altas concentraciones de DBO (6423 mg/L), DQO (11721 mg/L), SST (871 mg/L) y algunos metales y metaloides; incumpliendo todos casi en un 90% respecto a la normatividad de vertimientos. Se recaudó además información acerca del caudal total del relleno y se determinó como flujo base de operación a la unidad de ósmosis inversa un caudal de **18,5 L/s**.
- La metodología de Sumas Ponderadas permitió establecer al método de Coagulación-Floculación como la unidad de Tratamiento fisicoquímico más adecuado para la alternativa de la Línea A de Tratamiento de Lixiviados con una puntuación de 3.5714, siendo la más alta con respecto a las otras 4 alternativas que se tenían planteadas. A nivel experimental, hubo falencias en los dos primeros ensayos teniendo en cuenta los resultados obtenidos con Sulfato de Amonio e Hidróxido de Calcio, en los cuales los % de Remoción no superaron los porcentajes que otros autores alcanzaron. El mejor resultado se obtuvo en el ensayo #3 con  $\text{FeCl}_3$  a una concentración de 3500mg/L, viéndose favorecido con un aumento de pH y llegando a 55,18% en remoción y así con la caracterización de esta muestra, se cumplen los parámetros de la ficha técnica de las membranas de ósmosis inversa.
- El diseño de las nuevas unidades de la línea de tratamiento de lixiviados permite aclarar que en la planta la capacidad instalada está teniendo falencias debido a que hay unidades o fuera de servicio o mal diseñadas para la capacidad del lixiviado. Todos los cálculos hechos en el 4to Capítulo se hicieron gracias al apoyo del equipo de CGR Doña Juana y conocimientos propios en tratamientos de aguas residuales. La unidad más importante fueron las cámaras de Coagulación-Floculación y Sedimentación, pero la ventaja que obtuvimos fue que ya se han venido realizando procesos de optimización en ellas.
- Se estimaron los costos tanto de inversión como de operación de la unidad de Coagulación-Floculación para tratar el lixiviado con valores de \$36.861.210,44 y \$159.271.874,4. Se precisaron los cálculos también para las sanciones y multas que el Relleno Sanitario Doña Juana acarrearía por incumplimiento de la normatividad de vertimientos y se estimó que tendría que pagarse un aproximado de (\$1.413.596.365,34) teniendo en cuenta la valoración y ponderación en cada uno de los criterios. La proyección que se evaluó también detalló que anualmente se tendría que tener una inversión adicional de entre 7 a 10 millones de pesos para suplir las necesidades en los incrementos de reactivos, servicios tanto industriales como de mano de obra y en caracterizaciones de lixiviado.

## 7. RECOMENDACIONES

- Reconocer el estudio de otras unidades en el tratamiento de lixiviados con el fin de corroborar sus ventajas frente a la disminución de la contaminación de los efluentes y así evaluar un posible tren de pretratamiento junto a las unidades de Coagulación-Floculación.
- Se recomienda evaluar una alternativa que permita recircular o tratar la corriente de rechazo proveniente de osmosis inversa, ya que, el efluente tiene altas concentraciones en cuanto a sales y cloruros y favorecería a la estabilización principalmente de compuestos inorgánicos.
- Complementar el pretratamiento propuesto con otras operaciones que puedan mejorar la remoción de los contaminantes mediante opciones tales como: micro filtraciones, o el uso de filtros de arena o carbón activado.
- Realizar múltiples pruebas a nivel laboratorio en puntos: entrada y salida de fisicoquímico 1 y 3 para corroborar que los reactivos utilizados para el tratamiento del lixiviado son los más adecuados y eficaces con respecto a la concentración planteada.

## BIBLIOGRAFIA

AGUAMARKET: Tanque de Homogeneización modelo THS2. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=22129&nombroducto=tanque+de+homogeneizacion+modelo+ths2>

AGUILAR, M. I. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales: coagulación-floculación [en línea]. Editum, 2002. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. 37 Años más de vida útil tendrá el relleno sanitario Doña Juana. En ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. [Sitio Web]. [Consulta 15 de marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/temas-de-ciudad/habitat/se-podra-extender-la-vida-util-del-relleno-dona-juana>

BUELA SALAZAR, Marisol. Clarificación del Agua [en línea]. SlideShare. [Consultado 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://pt.slideshare.net/marisolbuela/clarificacion-del-agua-254100/14>

CABRERA BERMÚDEZ, Xiomara; Fleites Ramírez, Marisol; Contreras Moya, Ana M. Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del granma" a escala de laboratorio. Tecnología Química. [en línea]. Santiago de Cuba (Cuba): Universidad del Oriente, vol. XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 64-73. [Consulta: 07 febrero 2020]. ISSN 0041-8420. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

CALCINOR: Las funciones que realiza la cal en el tratamiento de aguas [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.calcinor.com/es/actualidad/2017-03-16/cal-tratamiento-de-aguas/>

CARPIO, Tania. Turbiedad por Nefelometría. [en línea]. Bogotá D.C.: IDEAM, 2007. [Consulta: 07 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%A1Da..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

CHÁVEZ MONTES, Wendy Margarita. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. De Chihuahua, Méx. [en línea]. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2011. [Consultado 16 agosto 2019]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy%20Margarita%20Ch%20A1vez%20Montes%20MCTA.pdf>

CANG ZHOU BAO LAI DA IMPORT & EXPORT TRADING CO Poli cloruro de aluminio PAC para el tratamiento de aguas residuales: [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.top-chem.net/water-treatment/pac-for-waste-water-treatment.html>

CORENA, Mironel. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Universidad de Sucre, [en línea]. 2008, pp 12. [Consultado: 15 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>

CRISTANCHO MONTENEGRO, Diana Lucía. Estimación del efecto del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana sobre la calidad del agua del Río Tunjuelo y su posible tratamiento en la PTAR Canoas [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, 2013. [Consulta: 20 noviembre 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45405/1/52480760.2013.pdf>

DISEÑOS Y SOLUCIONES SOSTENIBLES DSS. S.A. Ingeniería para un desarrollo sostenible: ósmosis inversa (RO). [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: [http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis\\_inversa.pdf](http://dss.com.ec/wp-content/uploads/2012/07/osmosis_inversa.pdf)

DYE DISTRIBUCIONES Y ESPECIALIDADES QUÍMICAS. Cloruro férrico Anhídrido: [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.dyeq.co/fichas/cloruro-ferrico-anhidro/>

4AFQ-Inmersos en la ciencia: Sulfato amónico. [Consultado 12 febrero de 2020]. Disponible en: <http://ampliacionfq.blogspot.com/2012/12/sulfato-amonico.html>

ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. ¡Cuidemos el planeta!: [Consulta 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://cuidemoselplaneta.org/aireacion-en-aguas-residuales/>

ECOLOGÍA VERDE: ¿Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican? [sitio web]. España; Enrique Arriols; 6 agosto de 2018. [Consulta: 08 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>

ELJAIK URZOLA, Mónica., TORRES GIL, Leydy Karina., BERMUDEZ ROBLES, Wil. Alternativas de tratamiento de lixiviados aplicables al relleno sanitario parque ambiental Loma de Los Cocos de la Ciudad de Cartagena, Colombia [en línea]. Cartagena (Colombia): Universidad de Cartagena. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Alternativas%20Tratamiento%20Lixiviados%20Vertedero%20Colombia.pdf>

ESPINOSA, María del Carmen. Lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. [en línea]. Centro de investigaciones del ozono. La Habana, Cuba. [Citado el 09 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303677305\\_Lixiviados\\_de\\_Vertederos\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_Urbanos\\_Monografia](https://www.researchgate.net/publication/303677305_Lixiviados_de_Vertederos_de_Residuos_Solidos_Urbanos_Monografia)  
ESSENCE WATER TECHNOLOGY: ¿Qué es la ósmosis inversa? [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.essence.pe/blog/osmosis-inversa/>

FERNÁNDEZ MURILLO, Juan Sebastián. Propuesta para el sistema de tratamiento de agua residual del proceso de nitruración en la empresa Aluica S.A.S. [en línea]. Tesis de Pregrado. Fundación Universidad de América, 2018. Bogotá D.C. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/simple-search?query=aluica>

FONDO SOCIAL EUROPEO. Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados. [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixivados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixivados_11_JUN_2010.pdf)

FONDO SOCIAL EUROPEO. Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados. [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixivados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixivados_11_JUN_2010.pdf)

FÚQUENE, Diana Marcela y YATE, Andrea Viviana. Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Documentos de Trabajo ECAPMA. 2018. [en línea]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional Abierta y a Distancia. nro. 1. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/download/2771/2857>

GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances recientes. Departamento de Ingeniería Civil y ambiental. Universidad de los Andes. [en línea]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/538/718>

GÓMEZ, Silvia; et al. Universidad Libre Colombia. Documentación acerca de la contaminación por lixivados generados en rellenos sanitarios en Colombia. *Innovando en la u.* 2016, vol. 8, pp. 77-84. [Consulta: 15 noviembre 2019]. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/innovando/article/view/3907>

GÓMEZ MUÑOZ, Daniel Felipe. Contaminación y Tratamiento de Lixiviados [en línea]. Trabajo de Investigación. Colegio Americano de Cali Profundización de Ingenierías, 2012. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/danihotmailcom/documento-proyecto>

GUARDIA PUEBLA, D. Yans. Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2012. [Consulta 11 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Componentes-principales-del-reactor-UASB-Chong-et-al-2012\\_fig2\\_315789274](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Componentes-principales-del-reactor-UASB-Chong-et-al-2012_fig2_315789274)

GUARÍN, Oscar; GÓMEZ, Sandra. Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el Carrasco. Innovaciencia. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

HANNA INSTRUMENTS. Demanda química de oxígeno y materia orgánica [en línea]. Argentina: Hanna Instruments. [Consulta: 08 febrero 2020]. Disponible en: [http://www.hannaarg.com/pdf/002DQO\\_nota\\_tecnica.pdf](http://www.hannaarg.com/pdf/002DQO_nota_tecnica.pdf)

HERMOSILLA, Daphne; CORTIJO, Manuel and HUANG, Chin Pao. Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. [En línea]. periodicidad 407 p. 3473-3481 [Consultado 11 febrero 2020]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.009>  
<https://repositorio.unisucree.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>

INDITEX. Procesos de Regulación-Homogenización. [Consultado 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Procesos+de+regulaci%C3%B3n-homogenizaci%C3%B3n.pdf/47d7e07a-42fb-769b-b131-912050e0412c>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. Bogotá: IDEAM: Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. [Consulta: 19 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

\_\_\_\_\_. Demanda química de oxígeno por reflujos cerrados y volumetría. [Consulta 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+d e+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

\_\_\_\_\_. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. [Consulta 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+ Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

\_\_\_\_\_. Nitrógeno amoniacal en agua por electrodo selectivo de amoniaco (Orion). [Consulta: 10 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitr%C3%B3geno+Amoniacal+ en+Agua+por+Electrodo+Selectivo+de+Amoniaco..pdf/835f77f7-2dba-48ce-abd3-56ab30013b82>

KOOK, Seungho; LEE, Chulmin; NGUYEN, Thann; LEE, Jangho; SHON, Ho. Serially connected forward osmosis membrane elements of pressure-assisted forward osmosis-reverse osmosis hybrid system: Process performance and economic analysis. *Desalination*. Volme 448, 2018. [Consultado 22 de Marzo de 2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916418307690>.

LAINES CANEPA, José Ramón.; ADAMS SCHROEDER, Randy Howard. Desarrollo y aplicación de un nuevo coadyuvante-coagulante orgánico en el proceso de coagulación-floculación del lixiviado de un relleno sanitario. En: Universidad Nacional Autónoma De México. [sitio web]. México: Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. [Consulta: 12 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/download/14453/13789>

LOPÉZ, María. La recirculación de lixiviados de rellenos sanitarios en biodigestores a escala laboratorio. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba. 2017. [Consultado 19 de Marzo de 2019] Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852017000300006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300006)

MÉNDEZ NOVELO, et al. Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería Revista Académica*. [en línea]. Mérida (México): Universidad Autónoma de Yucatán México. 2002, mayo-agosto. Vol. 6, nro. 2. [Consultado 09 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen6/influencia.pdf>

MÉNDEZ NOVELO, Roger Iván., GARCÍA REYES, Refugio Bernardo., CASTILLO BORGES, Elba René y SAURI RIANCHO, María Rosa. Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton [en línea]. *Ingeniería e investigación* vol. 30 No. 1, abril de

2010 (80-85). [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>

MORENO BENAVIDES, José Alberto. Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. [en línea]. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Occidente de Santiago de Cali, 2011. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3076/1/TBM00990.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. 6. Análisis Y Selección De Alternativas. 8. [Consultado el 14/05/2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/v8490s/v8490s08.htm>

PALLARES RUIZ, Jaime. Métodos de decisión multicriterio ELECTRE y TOPSIS aplicados a la aplicación de elección de dispositivos móvil. Universidad de Sevilla, 2015. p. 24-27.

PASTOR PIÑERO, Jesús. Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados. En: Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. [Consulta 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/46985/1/vertederos%20controlados%20pastor675.pdf>

PÉREZ DE LA CRUZ, Francisco Javier.; URREA MALLEBRERA, Mario Andrés. Abastecimiento de Aguas Tema 6 Coagulación y floculación. En: Universidad Politécnica De Cartagena. [sitio web]. Cartagena: EICM. [Consulta 12 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

PRIMO MARTÍNEZ, Oscar. Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada [en línea]. Tesis doctoral. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones, 2008. [Consultado 11 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/10692;jsessionid=755A5BDD81092A6929BFB3EBF7C5B4C9#page=1>

QUEVEDO, Noelia. Selección de alternativas de pretratamiento de ósmosis inversa. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jsessionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>



QUEVEDO, Noelia. Selección de alternativas de pretratamiento de pretratamiento de ósmosis inversa. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. 2013. [Consulta 13 de abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4563/Tesis+NQD.pdf;jseccionid=177ED0FB482D2943CFB542176A341C9F?sequence=1>

QUIMINET.COM El sulfato de aluminio y sus aplicaciones en la industria. Información y negocios segundo a segundo. [Consultado 20 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/el-sulfato-de-aluminio-y-sus-aplicaciones-en-la-industria-27849.htm>

RESOLUCIÓN N° 00813 DEL 01 DE JUNIO DE 2018. Autoridad de Licencias Ambientales ANLA Por la cual se imponen medidas adicionales en desarrollo de un control y seguimiento ambiental y se toman otras determinaciones. En: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. [sitio web]. Bogotá D.C. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res\\_0813\\_01062018\\_ct\\_2633.pdf](http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_0813_01062018_ct_2633.pdf)

RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. En: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2009. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239\\_2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf)

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 451. ISBN 9588060133

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 451. ISBN 9588060133

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 451. ISBN 9588060133

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá. D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 448. ISBN 9588060133

ROMERO, Diego. Gestión ambiental del sistema de tratamiento de lixiviado producto de la biodegradación de residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario colombiano. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2017. [Consulta 13 de septiembre 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13933/13/RomeroTorresDiegoCamilo2018.pdf>

RUBIO-CLEMENTE, Ainhoa; CHICA, Edwin L. and PEÑUELA, Gustavo A. Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. [En línea] Dec 1. periodicidad 16 p. 211-223 [Consultado 11 febrero 2020]. ISSN 0123-3033. Disponible en:[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30332014000200019&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332014000200019&lng=en&tlng=en)

SANCHA ANTUÑA, Melania. Caracterización físico-química y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero. [en línea]. Tesis de Maestría. Universidad de Oviedo, 2013. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM\\_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf)

SÁNCHEZ CÁRDENAS, Ana Carolina. Evaluación de desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. En: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SEVILLA. [sitio web]. España: e-Reding. Trabajos y proyectos fin de estudio de la E.T.S.I. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70357/fichero/9.+MARCO+TEORICO.pdf>

SIN AUTOR. Fundamentos del Tratamiento de Agua Residual. [sitio web]. [Consulta 10 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf)

SIN AUTOR. Ácido y Nitratos: Hidróxido de Calcio. [Consultado 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://acidosynitratos.es/hidroxido-de-calcio/>

SLIDESHARE. Tratamiento Físicoquímico de Aguas Residuales Industriales. [en línea]. 12 abril 2013. [Consultado 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/darkysdevia/tratamiento-fisicoquimico-de-aguas-residuales-industriales-definitivo>

SOTTO DÍAZ, Arcadio. Aplicación de la tecnología de membranas de nano filtración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Rey Juan Carlos España, 2008. [Consulta: 09 febrero 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Arcadio\\_Sotto/publication/48989441\\_Aplicacion\\_de\\_la\\_tecnologia\\_de\\_membranas\\_de\\_nanofiltracion\\_y\\_osmosis\\_inversa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_disoluciones\\_acuosas\\_de\\_compuestos\\_fenolicos\\_y\\_acidos\\_carboxilicos/links/551ab9480cf251c35b4ecc79/Aplicacion-de-la-tecnologia-de-membranas-de-nanofiltracion-y-osmosis-inversa-para-el-tratamiento-de-disoluciones-acuosas-de-compuestos-fenolicos-y-acidos-carboxilicos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arcadio_Sotto/publication/48989441_Aplicacion_de_la_tecnologia_de_membranas_de_nanofiltracion_y_osmosis_inversa_para_el_tratamiento_de_disoluciones_acuosas_de_compuestos_fenolicos_y_acidos_carboxilicos/links/551ab9480cf251c35b4ecc79/Aplicacion-de-la-tecnologia-de-membranas-de-nanofiltracion-y-osmosis-inversa-para-el-tratamiento-de-disoluciones-acuosas-de-compuestos-fenolicos-y-acidos-carboxilicos.pdf)

SUAREZ, Román. ARIAS, Julián. Caracterización de lixiviados del relleno sanitario Doña Juana. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito. [en línea], [consultado 19 marzo 2019]. Archivo PDF. 2015 Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/336>.

TORRES LOZADA, Patricia., RODRÍGUEZ, Jenny Alexandra., BARBA, Luz Edith., MORÁN, Adriana., NARVÁEZ, Jorge. Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB [en línea]. 2005, julio-diciembre, núm. 18, pp. 50-60. [Consulta 10 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/852/85201804.pdf>

TOW, Emily; WARSINGER David, TRUEWORTHY, Ali M; SWAMINATHAN, Jaichander; THIEL, Gregory; ZUBAIR, Syed; MYERSON, Allan; LIENHARD, John. Comparison of fouling propensity between reverse osmosis, forward osmosis, and membrane distillation. Journal of Membran science, volume 556. 2018. [Consultado 22 de Marzo de 2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738818303247>

TRABINOX S.L. Proceso Físico-Químico de Tratamiento de Aguas Residuales. [Consultado: 27 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.trabinox.net/es/fisico.php>

ULLOA, José. Los Rellenos Sanitarios. En: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. [sitio web]. Ecuador: LA GRANJA. Revista. [Consulta: 09 febrero 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS UAESP. [sitio web]. Bogotá: UAESP. [Consulta: 07 febrero 2020]. Disponible en: <http://www.uaesp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/lixiviado>

WANG, Ning, et al. Investigation of volatile methyl siloxanes in biogas and the ambient environment in a landfill. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES. [En línea]. May 2020. periodicidad 91 p. 54-61 [Consultado 07 febrero 2020]. ISSN 1001-0742. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100107422030005X>

WATER PROJECTS CULLIGAN. Cuál es el pretratamiento adecuado para un sistema de ósmosis inversa. Consulta 13 de abril 2019]. Sitio web. Disponible en: <http://www.tratamientoyfiltrosdeagua.com/noticias/430-cu%C3%A1l-es-el-pre-tratamiento-adecuado-para-un-sistema-de-osmosis-inversa.html>

WORDPRESS: Cambios paramétricos en los lixiviados de los vertederos. Producción de biogás. El blog de los lixiviados. [Consulta: 08 febrero 2020]. Disponible en: <https://lixiviados.wordpress.com/2018/09/07/cambios-parametricos-en-los-lixivados-de-los-vertederos-produccion-de-biogas/>

# **ANEXOS**

**ANEXO A.**  
**VALORES DE VERTIMIENTO DE RESOLUCIÓN 631 DE 2015**

Normatividad de vertimientos

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
Ph	Unidades	6,5 a 8,5
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l O <sub>2</sub>	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/l O <sub>2</sub>	50
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	120
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/l	2
Grasas y aceites	mg/l	2
Fenoles	mg/l	0,15
Sustancias activas a azul de metileno (SAAM)	mg/l	1
Hidrocarburos totales (HTP)	mg/l	10
Fósforo total	mg/l	1
Nitrógeno total (N)	mg/l	10
Cianuro total (CN)	mg/l	1
Cloruros (Cl)	mg/l	500
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	600
Sulfuros (S)	mg/l	A y R
Aluminio (Al)	mg/l	1,50
Arsénico (As)	mg/l	0,003
Bario (Ba)	mg/l	2
Berilio (Be)	mg/l	0,1
Boro (B)	mg/l	1
Cadmio (Cd)	mg/l	0,001
Cinc (Zn)	mg/l	0,2
Cobalto (Co)	mg/l	0,05
Cobre (Cu)	mg/l	0,2
Cromo (Cr)	mg/l	0,02
Litio (Li)	mg/l	2,5
Manganeso (Mn)	mg/l	0,1
Mercurio (Hg)	mg/l	0,00025
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,01
Níquel (Ni)	mg/l	0,02
Plata (Ug)	mg/l	-
Plomo (Pb)	mg/l	0,03
Selenio (Se)	mg/l	0,02
Vanadio (V)	mg/l	0,1

Fuente: elaboración propia

**ANEXO B.**  
**CAPACIDAD INSTALADA DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE**  
**LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA.**

Tabla 2. Capacidad instalada Pondaje 7

PARÁMETRO	CONVENCIÓN	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIONES
Tiempo de retención máximo	Trmax	h	48	Asumido de 4 - 48 Horas, experiencia Baying SAS para tanques de igualación
Tiempo de retención mínimo	Trmin	h	4	
Volumen total	V	m <sup>3</sup>	3709,0	Proporcionada por CGR DOÑA JUANA
Volumen efectivo	Vef	m <sup>3</sup>	3300,0	Asumiendo un 10% de volumen vacío
Caudal Tr máximo	Qd	m <sup>3</sup> /h	825,0	(V/Trmax)
Caudal Tr máximo	Qd	L/s	229,2	(Qd*3,6)
Caudal Tr mínimo	Qd	m <sup>3</sup> /h	68,8	(V/Trmin)
Caudal Tr mínimo	Qd	L/s	19,1	(Qd*3,6)

Tabla 3. Capacidad instalada Pondaje Secador de Lodos

ITEM	CAUDAL HORARIO (L/s)	CAUDAL HORARIO (m <sup>3</sup> /H)	ACUMULADO REAL (m <sup>3</sup> )	Q BOMBEO (m <sup>3</sup> /H)	Q BOMBEO (L/s)	ACUMULADO BOMBEO (m <sup>3</sup> )	BALANCE
1	4,2	15,12	15,12	0,005	0,00139	0,005	15,11
2	4,57	16,452	31,572	0,005	0,00139	0,01	31,56
3	4,57	16,452	48,024	0,005	0,00139	0,015	48,00
4	4,03	14,508	62,532	0,005	0,00139	0,02	62,51
5	2,39	8,604	71,136	0,005	0,00139	0,025	71,11
6	3,93	14,148	85,284	0,005	0,00139	0,03	85,25
7	5,85	21,06	106,344	0,005	0,00139	0,035	106,30
8	3,28	11,808	118,152	0,005	0,00139	0,04	118,11
9	3,62	13,032	131,184	0,005	0,00139	0,045	131,13
10	3,21	11,556	142,74	0,005	0,00139	0,05	142,69
11	3,61	12,996	155,736	0,005	0,00139	0,055	155,68
12	3,54	12,744	168,48	0,005	0,00139	0,06	168,42
13	6,64	23,904	192,384	0,005	0,00139	0,065	192,31
14	4,42	15,912	208,296	0,005	0,00139	0,07	208,22
15	4,68	16,848	225,144	0,005	0,00139	0,075	225,06

Tabla 4. Capacidad instalada SBR – Relación alimento/microorganismo

CAPACIDAD INSTALADA SEGÚN F/M				
PARÁMETRO	CONVENCIÓN	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIONES
DBO entrada	Ci	mg/l	2000	Caracterizaciones realizadas por CGR DOÑA JUANA
		Kg/m <sup>3</sup>	2	Caracterizaciones realizadas por CGR DOÑA JUANA
Relación Alimento/Microorganismo	F/M	Kg DBO/Kg SSVLM-día	0,05	0,05 - 0,15 Kg DBO/Kg SS-día - Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition. Captulo 18. Meltca&Eddy,2014
			0,15	
Concentración de microorganismos en el licor mezclado	M	Kg SSVLM/m <sup>3</sup>	4,00	3 - 5 Kg DBO/Kg SS-día - Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition. Captulo 18. Meltca&Eddy,2014
Altura efectiva del reactor	Href	m	6,00	Tomada de planos CGR
				DOÑA JUANA
Volumen del reactor	V	m <sup>3</sup>	11007,00	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Caudal de entrada mínimo	Qd	m <sup>3</sup> /día	1100,70	$((V \cdot M \cdot F / M)) / (Ci)$
Caudal de entrada mínimo	Qd	L/s	12,74	$(Qd \cdot 1000) / 86400$
Caudal de entrada máximo	Qd	m <sup>3</sup> /día	3302,10	$((V \cdot M \cdot F / M)) / (Ci)$
Caudal de entrada máximo	Qd	L/s	38,22	$(Qd \cdot 1000) / 86400$



Tabla 6. Capacidad instalada sistema físico químico 3

PARÁMETROS DE DISEÑO				
PARÁMETRO	CONV	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Tiempo de mezcla rápida	t <sub>mr</sub>	15	seg	Asumido de 15 - 60 segundos, experiencia Baying SAS
		60	seg	
Tiempo de mezcla lenta	t <sub>ml</sub>	10	min	Asumido de 10-30 minutos por recámara para un total de 20-60 minutos, experiencia Baying SAS
		30	min	
TANQUE MEZCLA RÁPIDA				
PARÁMETRO	CONV	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Ancho	b	1,70	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Largo	L	1,50	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Area	A	2,55	m <sup>2</sup>	=b*L
Altura util	h	1,05	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Volumen util	v	2,7	m <sup>3</sup>	=Qb
Caudal mínimo	q <sub>max</sub>	178,5	lps	q <sub>máx</sub> /t <sub>mr</sub>
Caudal máximo	q <sub>min</sub>	45	lps	q <sub>máx</sub> /t <sub>mr</sub>
TANQUE MEZCLA LENTA 1				
PARÁMETRO	CONV	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Ancho	b	2,70	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Largo	L	3,60	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Area	A	9,72	m <sup>2</sup>	b*L
Altura total	H	2,10	m	h+Bl
Volumen util	V	20,4	m <sup>3</sup>	A*H
Caudal mínimo	q <sub>max</sub>	34,02	lps	V*t <sub>ml</sub>
Caudal máximo	q <sub>min</sub>	11,34	lps	V*t <sub>ml</sub>
TANQUE MEZCLA LENTA 2				
PARÁMETRO	CONV	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Ancho	b	2,70	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Largo	L	2,00	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Area	A	5,40	m <sup>2</sup>	b*L
Altura total	H	2,00	m	h+Bl
Volumen util	V	10,8	m <sup>3</sup>	A*H
Caudal mínimo	q <sub>max</sub>	18	lps	V*t <sub>ml</sub>
Caudal máximo	q <sub>min</sub>	6	lps	V*t <sub>ml</sub>

Tabla 9. Capacidad instalada sedimentador primario

PARÁMETRO	CONVENCIONES	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
<b>Carga hidráulica</b>				
Carga Hidráulica	Qh	32,00	m3/m2-	32 - 49 m3/m2/h, (Droste, 2000)
		49,00	día	
Diámetro	D	9,52	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Altura	H	3,24	m	Tomada de planos CGR DOÑA JUANA
Área superficial	As	71,18	m2	$\pi(D/2)^2$
Volumen del sedimentador	V	230,63	m3	As*H
Caudal mínimo	Qm	2278	m3/día	So*A
Caudal mínimo	Qm	26,36	LPS	$((So*A)*1000)/86400$
Caudal máximo	QM	3487,9	m3/día	So*A
Caudal máximo	QM	40,37	LPS	$((So*A)*1000)/86400$
<b>Tiempo de retención</b>				
Tiempo de retención mínimo	Trm	2,00	h	Asumido de 2 - 4 h, experiencia Baying SAS
Tiempo de retención máximo	TrM	4	h	
Volumen	V	230,63	m3	As*H
Caudal mínimo	Qm	32,0	L/s	V/Trm
Caudal máximo	QM	16,0	L/s	V/TrM

**ANEXO C.  
ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE  
LIXIVIADOS.**

Consolidados datos de caudal mes de enero

Día del mes (n)	Caudal Total Relleno (L/s)	Caudal Total Relleno (L/s) en orden descendente	(X- $\bar{X}$ )	(X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
1	13,51	26,70	10,04	100,71
2	23,60	26,16	9,49	90,09
3	14,13	25,81	9,14	83,57
4	26,70	24,71	8,04	64,67
5	13,07	24,06	7,39	54,63
6	7,42	23,60	6,93	48,09
7	7,70	22,32	5,66	31,99
8	12,67	22,00	5,33	28,43
9	22,32	21,04	4,37	19,11
10	24,71	20,79	4,12	16,99
11	11,32	18,31	1,64	2,69
12	12,40	16,95	0,28	0,08
13	14,92	16,46	-0,21	0,04
14	11,15	16,14	-0,53	0,28
15	15,47	15,47	-1,20	1,44
16	13,47	14,92	-1,75	3,05
17	16,14	14,77	-1,90	3,60
18	14,10	14,59	-2,08	4,32
19	14,77	14,13	-2,54	6,46
20	11,84	14,10	-2,57	6,60
21	14,59	13,51	-3,16	9,98
22	24,06	13,47	-3,20	10,23
23	26,16	13,07	-3,60	12,93
24	16,46	12,67	-4,00	16,02
25	18,31	12,40	-4,27	18,26
26	21,04	11,84	-4,83	23,31
27	20,79	11,32	-5,35	28,62
28	25,81	11,15	-5,51	30,41
29	22,00	9,14	-7,53	56,68
30	16,95	7,70	-8,97	80,49
31	9,14	7,42	-9,25	85,52
<b>Suma</b>	516,72			
<b>Promedio</b>	16,67			

Fuente: elaboración propia

### **Cálculo del promedio de los datos obtenidos.**

Una vez obtenidos los datos por mes y organizados se calcula el promedio por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación. Promedio

$$x' = \frac{\Sigma x}{n}$$

Donde,

$x'$  = Promedio

$x$  = Datos de caudal por día

$n$  = número de datos

$$x' = \frac{516,72}{31} = 16,67 \text{ L/s}$$

### **Calculo de la Mediana.**

Por otro lado, al tener organizados los datos de mayor a menor cómo se logra observar en la segunda columna denominada "**Caudal Total Relleno (L/s) organizado**", se determina la mediana de los datos

*Mediana:* 14,92 L/s

### **Calculo de la Moda.**

De manera consecuente se calcula la moda de los datos relacionando la mediana y el promedio anteriormente calculado.

Ecuación. Moda

$$Moda = 3(\text{mediana}) - 2(x)$$

$$Moda = 3(14,92) - 2(16,67) = 11,42 \text{ L/s}$$

### **Cálculo de la Desviación Estándar.**

Con los datos ya calculados se establecen los valores de caudal que estadísticamente pueden presentarse con mayor frecuencia. A continuación, se calcula la desviación estándar para determinar el comportamiento de los datos con relación a los promedios.

Ecuación. Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(x - x')}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{939,28}{31 - 1}} = 5,6 \frac{L}{s}$$

### Cálculo del Coeficiente de Variación.

Seguido a la desviación se calcula el coeficiente de variación, con el fin de obtener información acerca de la dispersión del conjunto de datos.

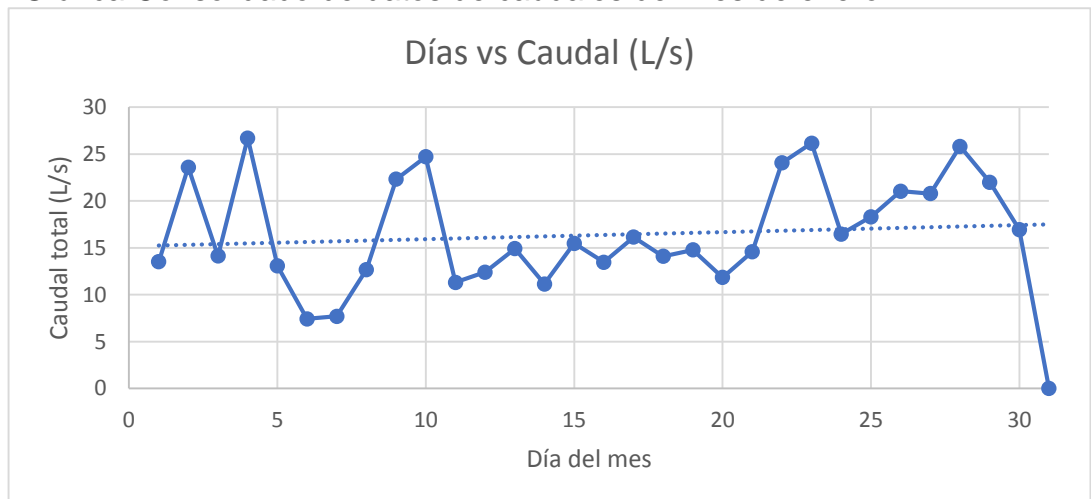
Ecuación. Coeficiente de variación

$$Cv = \frac{100 * s}{x'}$$

$$Cv = \frac{100 * 5,6}{16,67} = 33,369\%$$

Por otra parte, se presenta de manera gráfica, los valores de los caudales del mes de enero, permitiendo visualizar las variaciones de caudal para este ejemplo en el mes de enero.

Gráfica Consolidado de datos de caudales del mes de enero



Fuente: elaboración propia.

**ANEXO D.  
CONSOLIDADO MENSUAL DE pH Y CALIDAD DEL VERTIMIENTO AÑO 2018.**

CONSOLIDADO PARAMETROS VERTIMIENTO PTL 2018 - PTL 16																
Parámetro	Unidades	Norma	PERIODO												Valor Promedio	
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
<b>Generales</b>																
pH	Unidades	6,5 a 8,5	8,54	8,77	8,82	8,92	8,58	8,50	8,4	8,4	8,8	8,44	8,28	8,4	8,57	C
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	100,00	3825	3879	4584	5435	6735	5740	7305	6944	6900	10200	12373	11721	7.137	NC
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	50,00	720	560	789	1089	2574	2438	3493	2833	2475	5339	5858	6423	2.882	NC
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	120,00	557	592	547	610	513	470	687	570	732	894	725	871	647,41	NC
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,00	0,10	1,00	1,00	0,55	0,1	0,10	1	0,1	1	NR	NR	0,1	0,51	C
Grasas y Aceites	mg/L	2,00	8,59	12,92	7,10	5,37	11,12	6,38	131,40	57,90	22,05	186	318,50	317	90,29	NC
Cumpuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	A y R	0,59	NR	0,08	NR	0,02	NR	0,165	NR	0,094	0,43	0,70	NR	0,30	C
Fenoles	mg/L	0,15	0,35	0,38	0,12	0,87	0,83	1,29	1,2	0,7	0,89	1,80	1,38	1,445	0,94	NC
Sustancia Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	1	4,18	NR	39,41	NR	4	NR	2,5	6	584	10,12	15,28	281	105,17	NC
<b>Hidrocarburos</b>																
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	8,00	5,00	5,00	2,75	5	5,00	5	5	5,5	7,50	5,00	5	5,31	C
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	A y R	0,07	NR	0,19	NR	0,02	NR	0,065	NR	0	NR	0,16	0	0,07	C
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	A y R	0,02	NR	0,02	NR	0,02	NR	0,02	0,02	0,0224	NR	0,02	0,02	0,02	C
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	A y R	87,10	NR	82,00	NR	NR	NR	0	0	0	NR	92,20	85	49,47	C

Compuestos de Fósforo																
Fósforo Total	mg/L	1	7,02	NR	18,12	NR	11	NR	16,5	21	25,33	2,97	13,39	14	14,37	NC
Ortofosfatos	mg/L	A y R	4,41	NR	1,99	NR	6	NR	7	9	12,41	2,07	5,10	7,41	6,15	C
Compuestos de Nitrógeno																
Nitratos (N-NO3)	mg/L	A y R	0,08	NR	0,50	NR	3	NR	3,5	1	0,18	2,24	5,06	0,6	1,80	C
Nitritos (N-NO2)	mg/L	A y R	0,05	NR	1,43	NR	0,05	NR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	C
Nitrógeno Amoniacoal (N-NH3)	mg/L	A y R	1207,68	NR	929,49	NR	943	NR	1184,5	1567	1479	2009,82	1809,14	760	1.321	C
Nitrogeno Total (N)	mg/L	10	1586,19	NR	815,99	NR	1138	NR	1497,5	2030	1986	2071,80	1974,41	2569	1.741	NC
Iones																
Cianuro Total (CN)	mg/L	1,00	0,22	0,15	0,07	0,02	0,025	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	C
Cloruros (Cl)	mg/L	500,00	3118	8072	2507	2875	2636	2845	2996	3061	3274	2620	3113	3506	3.385	NC
Sulfatos (SO4)	mg/L	600,00	581,48	210	372	1672,38	128	NR	128	338	361,05	158,76	233,835	172,3	396	C
Sulfuros (S)	mg/L	A y R	2,16	NR	NR	NR	4	NR	3,5	2	2,76	12,85	24,39	12,19	7,98	C
Metales y Metaloides																
Aluminio (Al)	mg/L	1,50	1,95	1,83	2,03	2,20	1,77	2,22	1,29	1,75	1,11	1,12	0,81	2,05	1,67	NC
Arsénico (As)	mg/L	0,003	0,007	0,00	0,00	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,01	0,05	0,08	0,06	0,02	NC
Bario (Ba)	mg/L	2	0,18	0,10	1,00	0,37	0,85	0,80	0,73	0,73	0,71	0,74	0,68	0,87	0,65	C
Berilio (Be)	mg/L	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	C
Boro (B)	mg/L	1	7,00	NR	6,00	NR	5	NR	5,5	7	8,00	6,00	7,00	6,00	6,39	NC
Cadmio (Cd)	mg/L	0,001	0,04	0,04	0,05	0,04	0,21	0,042	0,04	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	NC
Cinc (Zn)	mg/L	0,2	0,43	0,46	0,44	0,34	0,43	0,408	0,46	0,49	0,49	0,82	0,85	0,48	0,51	NC
Cobalto (Co)	mg/L	0,05	0,14	0,15	0,18	0,13	0,17	0,17	0,17	0,15	0,17	0,17	0,18	0,17	0,16	NC
Cobre (Cu)	mg/L	0,2	0,14	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	C
Cromo (Cr)	mg/L	0,02	0,64	0,70	0,61	0,68	0,52	0,536	0,52	0,49	0,44	0,46	0,43	0,56	0,55	NC
Estaño (Sn)	mg/L	A y R	NR	NR	10,00	NR	0,39	NR	0,35	10	0,02	0,50	0,34	10,00	3,95	C
Litio (Li)	mg/L	2,5	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,10	0,13	0,15	0,12	0,10	C
Manganeso (Mn)	mg/L	0,1	0,14	0,11	0,14	0,18	0,32	0,30	0,33	0,34	0,22	0,23	0,25	0,23	0,23	NC
Mercurio (Hg)	mg/L	0,00025	0,00	0,00	0,00	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	NC
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,01	0,20	0,10	0,28	0,10	0,28	0,10	0,21	0,10	0,09	0,11	0,09	0,25	0,16	NC
Níquel (Ni)	mg/L	0,02	0,47	0,47	0,46	0,41	0,41	0,388	0,42	0,48	0,47	0,55	0,54	0,51	0,46	NC
Plomo (Pb)	mg/L	0,03	0,11	0,12	0,17	0,10	0,10	0,1	0,10	0,12	0,11	0,10	0,15	0,11	0,12	NC
Selenio (Se)	mg/L	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,0044	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	C
Vanadio (V)	mg/L	0,1	0,36	0,36	0,40	0,38	0,04	0,042	0,37	0,35	0,34	0,38	0,68	0,37	0,34	NC

Otros Parámetros para A y R																
Acidez Total	mg/L CaCO3	A y R	0,10	NR	20,00	NR	20	NR	10,1	0,2	20	20	2	20	12,5	C
Alcalinidad Total	mg/L CaCO4	A y R	7937	9278	9278	8250	8952	9690,5	9442	9769	12042	11132	9889	11248	9.742	C
Dureza Cálcica	mg/L CaCO5	A y R	221,00	NR	202,00	NR	385	NR	132	133	156	537	732	78	286	C
Dureza Total	mg/L CaCO6	A y R	667,00	NR	437,00	NR	521	NR	851	798	1008	1027	1165,4	688	796	C
Color Real ( Medidas de adsorbancia a las sigientes longitudes de onda: 436 nm, 525nm y 620nm)	m-1	A y R	43,50	NR	28,26	NR	11	NR	7,165	7,66	7,32	15,68	628	7,66	84	C



**ANEXO E.  
FICHA TÉCNICA DE LA MEMBRANA DE ÓSMOSIS INVERSA**



---

**Planta de Ósmosis Inversa C-deg**

**2 Fases**

**Descripción técnica**



---

## El proceso de osmosis inversa

### Física del proceso de osmosis inversa

La osmosis y la osmosis inversa funcionan en base a la separación física a través de una membrana semipermeable.

### Osmosis

Si la concentración de solutos en un lado de la membrana es diferente a la concentración de solutos en el otro lado, el sistema no va a tener un balance termodinámico y va a tratar de alcanzar un igual grado de concentración por dilución. La diferencia en concentración es la fuerza motriz que empuja el solvente desde el lado de menor concentración de la membrana hacia el otro lado. Como resultado, el volumen incrementa en el lado con más alta concentración de solutos.

Este proceso no se detendrá hasta que el grado de concentración sea igual en los dos lados de la membrana. El sistema estará entonces en equilibrio dinámico entre el esfuerzo de dilución por una parte y una sobrepresión hidrostática por otra parte, como resultado del aumento de volumen en el lado con una concentración más alta.

Esta sobrepresión hidrostática corresponde a la diferencia en la presión osmótica de líquidos con diferentes grados de concentración.

### Osmosis inversa/Nano-filtración

El proceso natural de ósmosis se puede dar de forma inversa mediante la aplicación de una presión externa hacia el líquido con la más alta concentración, el solvente, llamado "permeado", pasa a través de la membrana dejando el concentrado atrás.

### Osmosis inversa en comparación con filtración.

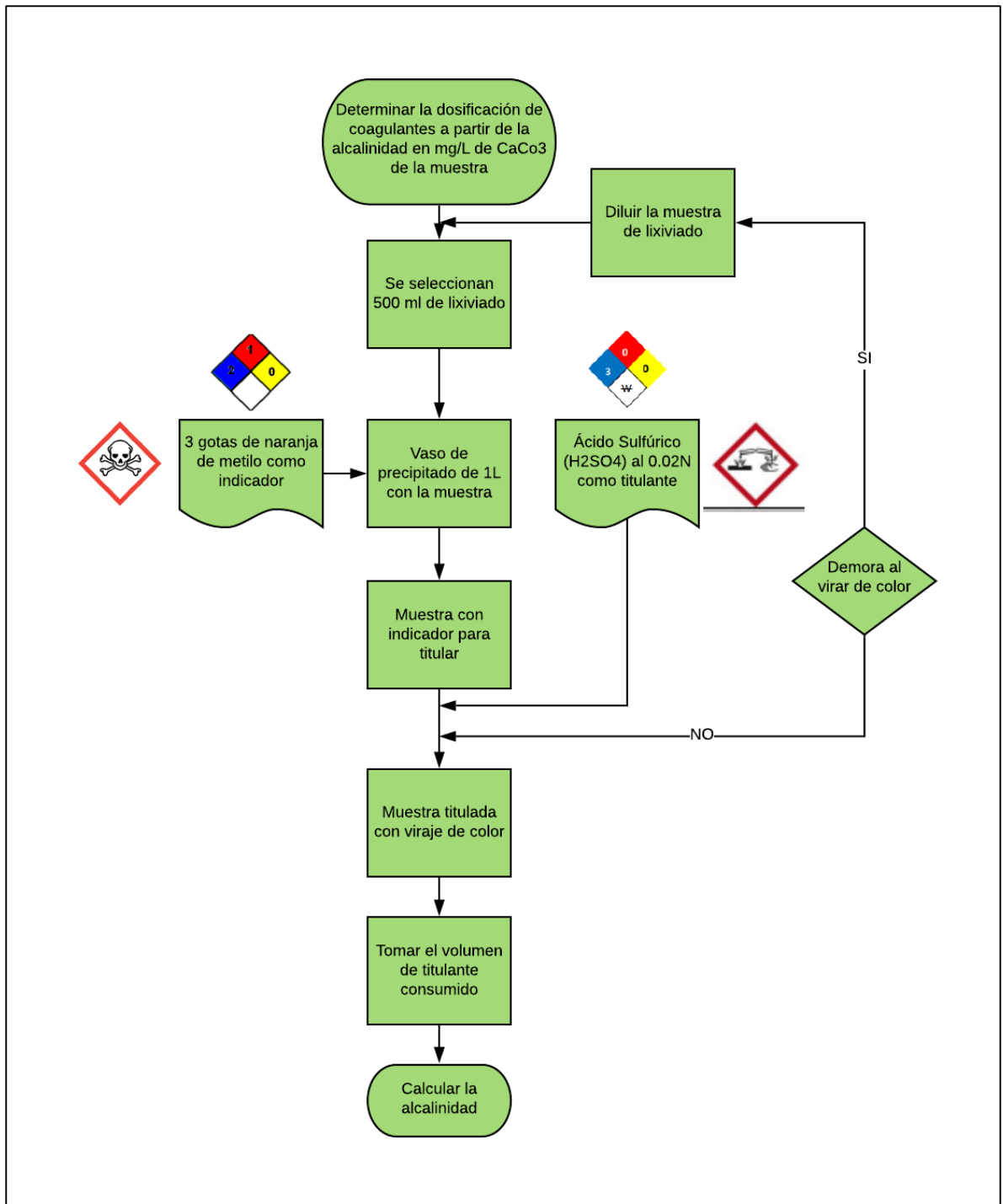
En comparación con la filtración ordinaria, Bien conocida por la filtración del café, la tarea de la ósmosis inversa es diferente. Mientras que la filtración elimina los sólidos de un líquido, la ósmosis inversa apunta a eliminar los solutos de un disolvente. Esto requiere una configuración de flujo diferente.

La filtración significa que el líquido pasa completamente por un filtro, dejando todo el material sólido atrás. Con la ósmosis inversa, el líquido se dirige tangencialmente con alta presión y alta velocidad contra una membrana. La mayor parte del líquido, el "permeado", pasará a través de la membrana. El líquido restante, el "concentrado", se carga con una alta concentración de solutos y necesita de una segura deposición.

Datos técnicos  
Datos de diseño de planta

Parámetros	lixiviado *	Eficiencia de lavado necesaria	Requerimientos de agua pura mg/l **
Demanda biológica de oxígeno [mg/l] BOD <sub>5</sub>	< 4,000	99 %	≤ 40
Demanda química de oxígeno [mg/l] COD	< 10,000	99 %	≤ 100
Nitrógeno amoniacal [mg/l] NH <sub>4</sub> -N	< 1,000	98 %	≤ 20
Nitrógeno total [mg/l] TN	< 1,000	98 %	≤ 20
Nitrito de nitrógeno [mg/l] NO <sub>2</sub> -N	< 10	85 %	≤ 2
Nitrato de nitrógeno [mg/l] NO <sub>3</sub> -N	< 30	--	--
sulfato [mg/l] SO <sub>4</sub>	< 150	--	--
Cloruro [mg/l] Cl	< 5.000	--	--
Fosforo [mg/l] ges-P	< 20	99 %	≤ 1
Solidos disueltos totales [g/l] TDS	< 10	--	--
Solidos suspendidos [mg/l] SS	< 120	100 %	≤ 5
Hidrocarburo absorbible halogenado AOX [mg/l]	1,8	99 %	0,5
Toxicidad de pescado [ - ] GF	30	95 %	2
Temperatura [ °C ]	20	--	--
Calcio [mg/l] Ca	< 150	--	--
Hierro [mg/l] Fe	< 50	--	--
Numero de pH [ - ]	7,6	--	--
Mercurio [mg/l] Hg	< 0,05	99 %	0,05
Cadmio [mg/l] Cd	< 0,005	99 %	0,1
Cromo [mg/l] Cr	< 1,00	99 %	0,5
Níquel [mg/l] Ni	< 0,1	99 %	0,5
Plomo [mg/l] Pb	< 0,001	99 %	0,5
Cobre [mg/l] Cu	< 0,07	99 %	0,5
zinc [mg/l] Zn	< 0,5	99 %	2,0
Silicio [mg/l] Si	< 30,0	--	--
Conductividad [μS/cm]	< 20.000	--	--

## ANEXO F. DIAGRAMA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD DEL LIXIVIADO



# ANEXO G. FICHA DE SEGURIDAD CLORURO FÉRRICO



## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisó / Autorizó:  
Lic. Tomas Rinne  
Ing. Javier Benafin Nández

Kemira PIX-201

Elab.: 10.03.2003  
Rev.: 22.03.2010  
Pág.: 1/4

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE Y DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

- Nombre de la compañía: **Kemira de México, S.A. de C.V.**  
Carr. Xoxtla-Tlaltenango s/n  
San Miguel Anasco Nativitas, Tlaxcala  
Tel. 01 (222) 281 5336  
Fax. 01 (222) 281 5366  
e-mail: [mexico@kemira.com](mailto:mexico@kemira.com)
- Teléfono de emergencia (SETIQ): 01 (800) 0021 400
- Nombre del Producto: **Kemira PIX-201**  
Coagulante de Hierro

### 2. COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

• Nombre químico:	Cloruro ferroso en solución			
• Sinónimos:	Dicloruro de hierro en solución			
<b>Componentes</b>	<b>No. CAS</b>	<b>Contenido (%)</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Frases - R</b>
• Cloruro ferroso	7758-94-3	18 -22	C	35/36/37/38
• Acido clorhídrico	7647-01-0	< 1	C	35
• Agua	7732-18-5	55 – 65	NA	NA

### 3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD

- Ingestión accidental: Irritación de boca, esófago y estomago. Puede causar nauseas y vómitos. Puede causar irritación en el tracto intestinal. Ingestiones repetidas puede causar posible daño al hígado, riñones y páncreas.
- Inhalación: Irritación a la nariz, garganta y membranas mucosas. Puede causar irritación en el tracto respiratorio.
- Piel (contacto y absorción): Irritación de la piel, el contacto prolongado puede causar dermatitis, pudiendo causar ulceración dependiendo de la temperatura, concentración y tiempo de exposición.
- Ojos: Se puede producir daños oculares permanentes tal como decoloración de los tejidos corneales. Disturbios visuales.

### 4. EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

- Contacto con los ojos: Enjuague inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante por lo menos 15 minutos y mantenga los parpados abiertos para garantizar el lavado completo del ojo y tejidos del parpado. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos, es esencial para lograr la máxima eficacia. Busque atención médica inmediatamente.
- Contacto con la piel: Enjuague inmediatamente con agua las zonas contaminadas, quítese la ropa y/o zapatos contaminados inmediatamente. Lave las zonas contaminadas con agua y jabón. Lave y seque la ropa y zapatos contaminados antes de volverlos a utilizar. Busque atención inmediatamente.
- Ingestión: Nunca suministre algo vía oral a un apersona inconsciente o con convulsiones. Si se trago el producto, no induzca al vómito. De a beber grandes cantidades de agua. Si vomita espontáneamente, mantenga las vías aéreas despejadas. De más agua cuando haya dejado de vomitar. Acuda a un médico inmediatamente.
- Inhalación: Si ocurre una emergencia, lleve al afectado a un área descontaminada. Déle respiración artificial si no respira. Si la respiración es dificultosa, se debe suministrar oxígeno por personal calificado. Si se ha detenido la respiración o el pulso, recurra a una persona calificada para que administre Primeros Auxilios (preanimación cardiopulmonar o desfibrilador externo automático) y llame a los servicios de urgencias inmediatamente.
- Notas al médico: La ausencia de signos vitales o síntomas de quemaduras No excluye la presencia de daños reales en los tejidos.

### 5. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

- **Materiales o medios de extinción:** Riesgo insignificante de fuego, use los agentes de extinción apropiados para las condiciones locales.
- **Peligros específicos:** No sensitivo a impacto mecánico o descarga estática. No inflamable. Durante el incendio, gases irritantes de cloruro de hidrogeno se pueden generar por descomposición térmica. Enfríe el exterior de los recipientes con agua.
- **Equipo de protección para bomberos:** Como en cualquier incendio, utilice aparato de respiración autónomo y vestimenta de protección completa. Mantenga alejado al personal no necesario, aisle el área y prohíba el ingreso. Si puede hacerlo sin riesgo, retire el recipiente del área del incendio.

### 6. FUGA, DERRAME O LIBERACIONES ACCIDENTALES

- **Precauciones personales:** Use equipo de protección personal, contenga la fuga si es que puede hacerlo.
- **Precauciones ambientales:** Evite que el material fluya hacia los cursos de agua y sistemas de desagüe. Debe informarse de derrames o escapes, si así esta prescrito, a las agencias municipales o gubernamentales o locales pertinentes.
- **Métodos de limpieza:** Contenga los derrames y remueva el material a un contenedor adecuado. El material líquido se puede retirar con un camión de aspirado. Neutralice con cal o carbonato de sodio y enjuague la zona en la que se ha producido el derrame, si fuera necesario.

### 7. MANEJO Y ALMACENAJE

- **Advertencia de manejo:** Evite respirar el vapor o la niebla. No permita que entre en contacto con los ojos, la piel o la indumentaria. Lávese minuciosamente después de manipular. Al mezclar, agregue el agua lentamente para reducir las salpicaduras. Mantener los contenedores bien cerrados cuando no estén en uso cuando estén vacíos.
- **Condiciones de almacenamiento:** Almacene de acuerdo a las normas y estándares actuales, Mantenga el contenedor cerrado con seguridad y etiquetado correctamente. Almacenar en contenedores o tanques plásticos (polietileno, polipropileno, PVC, teflón) o de acero revestido de caucho, fibra de vidrio reforzada con poliéster u otro material resistente. La superficie exterior del estanque y otras áreas que estén expuestas a salpicaduras accidentales deben estar protegidas con pinturas resistentes.
- **Medidas de protección técnica:** Mantener alejado del calor y de sustancias incompatibles como los álcalis. Evitar el contacto con metales a excepción del titanio o tantalio.

### 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN

- **Límites de exposición ocupacional:**  
LPA: 1.0 mg/m<sup>3</sup>
- **Medidas para reducir la exposición:** Lávese minuciosamente después de manipular. Al mezclar, agregue el agua lentamente para reducir las salpicaduras. Mantener los contenedores bien. Utilice ventilación de traje forzado local en los que se puede generar vapor o niebla. Asegúrese del cumplimiento de los límites de exposición que correspondan.
- **Equipo de protección personal**  
Medidas higiénicas:  
Ojos: Evite el contacto directo. Regadera de emergencia y lava ojos deben estar próximos al área.  
Piel y cuerpo: Careta y gafas de seguridad, equipo lava ojos.  
Manos: Utilice ropa resistente a los productos químicos y botas de caucho cuando exista la posibilidad de entrar en contacto con el material. Se debe quitar la ropa contaminada y luego se debe desechar o lavar.  
Respiratoria: Use guantes apropiados resistentes a los productos químicos como hule de buñilo, caucho natural, neopreno, nitrilo, cloruro de polivinilo (PVC) tychem ®  
Ninguno

### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico:	Líquido verde claro
Olor:	Leve olor a ácido
pH:	< 1.0
Insolubles:	< 1.0%
Temperatura de ebullición:	109.5 ± 2.5 °C
Temperatura de fusión:	No disponible
Temperatura de inflamación:	No disponible
Temperatura de autoignición:	No disponible
Densidad relativa:	1.40 – 1.50 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de vapor:	No aplica
Velocidad de evaporación:	No aplica
Solubilidad en agua:	Completamente soluble.
Presión de vapor:	No aplica
Volatilidad:	No aplica
Flamabilidad (sólido, gas):	No aplica
Coef. de partición (octanol/agua):	No aplica (compuesto inorgánico)

### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- Estabilidad: Estable bajo condiciones normales, se descompone por exposición a la luz dando cloruro de hidrógeno.
- Condiciones a evitar: Altamente reactivo con agentes oxidantes y reductores, reacciona con metales y álcalis.
- Materiales a evitar: Evitar cualquier contacto con metales por efecto de la corrosión, (contacto con metales libera hidrógeno, peligro de explosión).
- Producto peligroso de descomposición: Humos de HCl

### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Toxicidad aguda
  - Oral DL<sub>50</sub>, rata: 0.5 - 5.0 mg/kg
  - Inhalación DL<sub>50</sub>, ratón: 1.0 mg/m<sup>3</sup> (como Fe)
- Irritación primaria: Irritación de ojos y piel al contacto con la solución
- Sensibilidad: Las salpicaduras pueden causar quemaduras en mucosas, ojos y órganos respiratorios.
- Periodo prolongado de toxicidad: No disponible
- Pruebas en humanos: No disponible.

### 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Persistencia y degradabilidad:	No disponible
Bioacumulación:	No disponible
Movilidad:	No disponible
Efectos ecológicos	Aunque no hay suficientes datos de toxicidad disponibles, es razonable asumir que suficientes cantidades afectan a la vida acuática. Se deberán tomar precauciones para prevenir derrames accidentales de este material al medio ambiente.
Poecilia reticulata, CL <sub>50</sub> , 48 hr:	117.18 mg/L
Gambusia affinis, CL <sub>50</sub> , 96 hr:	75.6 mg/L
Allelus sp, CE <sub>50</sub> , 48 hr:	235.7 mg/L
Daphnia magna, CE <sub>50</sub> , 96 hr:	9.6 mg/L

### 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN

- Residuos del producto: Diluir con agua y neutralizar con cal. Disponer de acuerdo con las normas y/o reglamentos locales y nacionales.

- **Empaques contaminados:** Disponer como basura especial de acuerdo con las normas y/o reglamentos locales y nacionales.

### 14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

Información sobre embarque internacionales

- **Transporte terrestre**
  - Clase de peligro: 8
  - Artículo: 9 (c)
  - Grupo de empaque: III
  - Código de riesgo: 8-09
  - Etiqueta ADR-RID/SCT: 88/2582 Cloruro ferroso solución (No combustible)
  - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido
- **Transporte marítimo**
  - Clase de peligro: 8
  - Grupo de empaque: III
  - Etiqueta IMO-IMDG: 8 Cloruro ferroso solución (No combustible)
  - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido
- **Transporte aéreo**
  - Clase de peligro: 8
  - Grupo de empaque: III
  - Etiqueta ICAO/IATA: 8 Cloruro ferroso solución (No combustible)
  - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido

### 15. INFORMACION SOBRE LA REGLAMENTACIÓN

- **Etiquetado de acuerdo a las directrices de la UE**
  - Símbolo de peligro: **C** (Corrosivo)
  - Contiene: Cloruro ferroso
  - Frases - R: **R 34** Quemaduras ocasionales
  - Frases - S: **S 26** En contacto con los ojos, enjuague inmediatamente con suficiente agua, es aconsejable buscar a un médico.  
**S 36/37/39** Usar ropa de protección adecuada, además de guantes y careta
- No. ONU: 2582 / 154
- No. IENECS: 231-72-4
- No. de CAS: 7758-94-3
- Código NFPA:



### 16. OTRA INFORMACION

- **Uso recomendado:** Tratamiento químico del agua
- Esta hoja de seguridad cumple con las normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad e Higiene. NOM-018-STPS-2000, NOM-114-STPS-1994.



## ANEXO H. FICHA DE SEGURIDAD SODA CAUSTICA



### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **SODA CAUSTICA LIQUIDA (TODOS LOS GRADOS)**  
 Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



#### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

##### PRODUCTO

**Nombre Químico:** HIDROXIDO DE SODIO - NaOH  
**Número CAS:** 1310-73-2  
**Sinónimos:** Soda cáustica líquida.

**COMPAÑÍA:** GTM

##### Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00  
 Guatemala: +502 6628 5858  
 El Salvador: +503 2251 7700  
 Honduras: +504 2540 2520  
 Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395  
 Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
 Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1  
 Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
 Perú: +511 614 65 00  
 Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1  
 Argentina +54 115 031 1774

#### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

HIDROXIDO DE SODIO	CAS: 1310-73-2	32-51%
--------------------	----------------	--------

#### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

**Clasificación ONU:** Clase 8 Corrosivo  
**Clasificación NFPA:** Salud: 3      Inflamabilidad: 0      Reactividad: 1



#### **EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:**

##### **Inhalación**

**Exposición a Corto Plazo:** Irritación (posiblemente grave), quemaduras, edema pulmonar.

**Exposición Prolongada:** No se conocen efectos

##### **Ingestión**

**Exposición a Corto Plazo:** Irritación (posiblemente grave), quemaduras, náuseas y vómitos. **Exposición**

**Prolongada:** No se conocen efectos.

##### **Contacto con los ojos**

**Exposición a Corto Plazo:** Irritación (posiblemente grave), quemaduras, daño a los ojos, ceguera.

**Exposición Prolongada:** Disturbios visuales.

##### **Contacto con la piel**

**Exposición a Corto Plazo:** Irritación (posiblemente grave), quemaduras.

**Exposición Prolongada:** Dermatitis

##### **Estado Carcinogénico**

OSHA: No

NTP: No

IARC: No

**Posibles Efectos sobre el Medio Ambiente:** Este material es alcalino y puede elevar el pH de las aguas superficiales con una baja capacidad de tampón.

#### **SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

**Contacto Ocular:** Lave bien los ojos inmediatamente con un chorro de agua directo al menos durante 15 minutos, y mantenga abiertos los párpados para garantizar la remoción del químico. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos es esencial para lograr la máxima eficacia. Busque atención médica inmediata.

**Contacto Dérmico:** Lave la piel inmediatamente con abundante agua y jabón por lo menos durante 15 minutos mientras se retira la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Busque atención médica inmediatamente.

**Inhalación:** Trasladar a la víctima a un área descontaminada. Si la respiración es difícil, suministrar oxígeno. Si la respiración se ha detenido, dar respiración artificial. Recorra a una persona especializada para que administre los primeros auxilios (Reanimación cardiopulmonar o desfibrilador externo automático) y busque atención médica inmediatamente.

**Ingestión:** ¡No induzca el vomito! Administre grandes cantidades de agua. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Si la víctima vomita espontáneamente, mantenga las vías aéreas despejadas. Buscar atención médica inmediata.

**Nota para el Médico:** La ausencia de signos visibles o síntomas de quemaduras NO excluye la presencia de daños reales en los tejidos.

#### SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

**Punto de Inflamabilidad °C:** No reportado  
**Temperatura de Ignición (°C):** No reportado  
**Límites de Inflamabilidad (%V/V):** No reportado

**Peligro de incendio y/o explosión:** Riesgo insignificante de fuego.

**Medios extintores de incendio:** Use agentes de extinción apropiados para fuego circundante.  
**Instrucciones para combatir el fuego:** Si puede hacerlo sin riesgos, retire el recipiente del área de incendio. Enfríe los recipientes con agua.

**Sensibilidad a Impacto Mecánico:** No sensible

**Sensibilidad a Descarga Estática:** No sensible

**Punto de Inflamación:** No inflamable

#### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

**Fugas en Operación:** Remueva el material a un contenedor adecuado. El material líquido se puede retirar con un camión de aspirado. Lave con agua la zona en la que se produjo el derrame, si es necesario. Evite que el material fluya hacia cursos de agua y sistemas de desagüe. Informe del derrame o escape, si así está prescrito, a los organismos municipales o locales pertinentes.

#### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**Manejo:** Evite respirar el vapor o la niebla. No permita que entre en contacto con los ojos, piel o ropa. Lávese minuciosamente después de manipular este producto. Al mezclar, agregue el agua lentamente para reducir el calor generado y las salpicaduras.

**Almacenamiento:** Almacene y manipule de acuerdo con todas las normas y estándares actuales. Mantenga el contenedor cerrado con seguridad y etiquetado correctamente. No debe almacenarse este producto en contenedores de aluminio ni utilizar accesorios, ni líneas de transferencia de aluminio, ya que puede generar hidrógeno inflamable. Mantenga separado de sustancias incompatibles.

#### SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

##### Límites de Exposición

Límites Permisibles Absoluto (LPA): 2 mg/m<sup>3</sup>

**Ventilación:** Utilice ventilación de tiraje forzado local donde se puede generar polvo o niebla. Asegúrese del cumplimiento de los límites de exposición que correspondan.

##### EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

**Protección de los ojos:** Si es necesario, utilice antiparras de seguridad química con careta de protección para proteger la piel del contacto con el producto. Instale una fuente destinada al lavado, remojo y enjuague rápido de los ojos y una ducha de emergencia en la zona de trabajo.

**Vestimenta:** Utilice ropa resistente a los productos químicos y botas de caucho cuando exista la posibilidad de entrar en contacto con el material. Se debe retirar la ropa contaminada y luego se debe desechar o lavar antes de usar nuevamente.

**Guantes:** Use guantes apropiados resistentes a los productos químicos.

**Tipos de Materiales de Protección:** Hule de butilo, caucho natural, neopreno, nitrilo, cloruro de polivinilo (PVC), Tychem (R).

**Respirador:** Podrá utilizarse una mascara aprobada por el NIOSH con filtro N95 (humo o niebla) en circunstancias en las que se espere que las concentraciones en el aire superen los limites de exposición, o cuando se haya observado que los síntomas sean indicio de sobreexposición.

Deberá utilizarse una pieza facial de media mascara con purificador de aire en concentraciones de hasta 10 veces el nivel de exposición aceptable y una pieza facial de mascara completa con purificador de aire en concentraciones de hasta 50 veces el nivel de exposición aceptable.

Deberá suministrarse aire cuando se espera que el nivel se encuentre 50 veces por encima del nivel aceptable, o cuando exista la posibilidad de que se produzca una fuga incontrolada.

En todo caso, deberá cumplirse con el DS 594 o establecer las condiciones ambientales en el lugar de trabajo.

#### SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico:	Líquido
Apariencia:	Transparente
Color:	Incoloro
Olor:	Inodoro
Punto de Ebullición:	110-144 °C (230-291°F)
Punto de Congelación:	-32 a 15°C (-26 a 59°F)
Presión de vapor:	13-135 mm Hg @ 60°C
Densidad del Vapor:	No disponible
Gravedad Específica (Agua= 1):	1.11 – 1.53 @ 15.6°C
Densidad:	9,27 – 12,76 lbs/gal @ 15,6 °C
Solubilidad en Agua:	100%
pH:	14,0 (7,5% solución)
Volatilidad:	No disponible

#### SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Estabilidad química:** Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.

**Condiciones a evitar:** Se puede producir gas de monóxido de carbono en contacto con azúcares reductores, productos alimenticios o bebidas en espacios cerrados.

**Incompatibilidad con otros materiales:** Ácidos, compuestos halogenados, contacto prolongado con aluminio, latón, bronce, cobre, plomo, estaño, zinc u otros metales o aleaciones sensibles al álcali.

**Productos de descomposición peligrosos:** Productos de Termodescomposición: Ninguna.

**Polimerización Peligrosa:** No se polimeriza.

## SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

### Datos de Toxicidad:

Hidróxido de Sodio:

LD50 (dérmica, conejo): 1.350 mg/kg

LD50 (50% solución) (oral, rata): 220 mg/kg

La gravedad del daño al tejido depende de la concentración del producto, la prolongación del contacto con el tejido y el estado del tejido local. Después de la exposición puede pasar un tiempo antes de que aparezca la irritación u otros efectos. Este material es un fuerte irritante y es corrosivo para la piel, ojos y membranas mucosas. Este material puede provocar quemaduras graves y daño permanente al tejido con el cual entre en contacto. Si inhalación puede producir irritación grave y posibles quemaduras junto con edema pulmonar que puede producir neumonitis. El contacto de este material con los ojos puede producir irritación grave, corrosión con posible daño a la cornea y ceguera. Su ingestión puede producir irritación, corrosión/ulceración, náuseas y vómito. En general, los efectos crónicos se deben a irritación a largo plazo.

Este material puede producir dermatitis en la piel o ulceración recurrente de la cornea y alteraciones de la visión. En informes de casos extraordinarios, se ha observado que la inhalación a largo plazo produce una reacción inflamatoria de los bronquios o disfunción obstructiva de las vías respiratorias.

## SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

### Datos de Ecotoxicidad

**Toxicidad para la pesca:** Este material ha demostrado una toxicidad moderada ante organismos acuáticos.

LC50 (Daphnia): 100 ppm

LC50 (Salvelino, 24 horas): 25 ppm

LC50 (Salmón real): 48 ppm

LC50 (Camarón, 48 horas): 33-100 ppm

LC50 (Berberecho, 48 horas): 330-1000 ppm

### Destino y Transporte

**Biodegradación:** Este material es inorgánico y no está sujeto a biodegradación.

**Persistencia:** Se cree que este material existe en estado disociado en el medio ambiente.

**Bioconcentración:** Se estima que este material no es bioacumulable.

**Otra información Ecológica:** Este material ha demostrado una ligera toxicidad ante organismos terrestres.

## SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

**Tratamientos de residuos:**

Tratar según legislación vigente

**Eliminación de envases:**

Lavar y descartar según legislación vigente

#### SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

##### **Transporte Terrestre**

Nombre apropiado del envío: Soda cáustica

Clase UN: 8

Numero UN: 1824

Grupo de Empaque: II

Requisitos Etiquetado: 8

##### **Transporte Marítimo IMDG**

Nombre apropiado del envío: Solución de Hidróxido de Sodio

Clase UN: 8

Numero UN: 1824

Grupo de Empaque: II

#### SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. ST55-053-04

Costa Rica: Decreto N° 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

#### SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

# ANEXO I. FICHA DE SEGURIDAD DE POLIACRILAMIDA



## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **POLIACRILAMIDA C-496**  
Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



NFPA

### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

#### PRODUCTO

Nombre Químico: Poliacrilamida catiónica.

Número CAS: 124-04-9

Sinónimos:

COMPAÑÍA: GTM

#### Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905-- SETIQ 01 800 00 214 00  
Guatemala: +502 6628 5858  
El Salvador: +503 2251 7700  
Honduras: +504 2564 5454  
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395  
Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1  
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
Perú: +511 614 65 00  
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1  
Argentina: +54 115 031 1774  
Brasil: +55 21 3591-1868

### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Ácido adípico CAS : 124-04-9 4 – 5%

### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: NO APLICA

Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0

#### EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Ninguno en términos de riesgos humanos y ambientales.

#### SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

<b>Inhalación:</b>	Retirar la víctima al aire libre. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Consultar a un médico si los síntomas perduran.
<b>Contacto Dérmico:</b>	Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.
<b>Contacto Ocular:</b>	Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua por lo menos durante 15 minutos.
<b>Ingestión:</b>	No se anticipa que el material sea lesivo por ingestión. No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios.

#### SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

<b>Agente de Extinción:</b>	Utilizar agua, bióxido de carbono o un agente químico seco.
<b>peligros especiales:</b>	El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición.
<b>Equipo de protección para Emergencia:</b>	Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben utilizar aparatos respiratorios autónomos.

#### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

<b>Precauciones individuales:</b>	Refiérase a la sección 8 (Protección personal/controles de exposición) para el equipo de protección personal apropiado.
<b>Método de control y limpieza:</b>	Resbaladizo cuando está mojado. Barrer y colocar en recipientes para descarte. Lavar el área del derramamiento a conciencia con agua y tallando para quitar residuos. Si permanece resbaladizo, aplicar más compuesto para barrido en seco. Evitar que el líquido ingrese en desagües sanitarios.

#### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

<b>Condiciones de almacenaje:</b>	El material es higroscópico y no deberá exponerse a la humedad objeto de mantener su integridad. Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipos de hierro, cobre o aluminio.
<b>Manipulación:</b>	Mantener buena limpieza para controlar las acumulaciones de polvo.



**SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL**

<b>Protección respiratoria:</b>	Donde la exposición son menores al límite de exposición establecido, no se requiere protección respiratoria. Dónde las exposiciones exceden al límite de exposición establecido, usar la protección respiratoria recomendada para el material y al nivel de exposición.
<b>Guantes de protección:</b>	Usar guantes impermeables.
<b>Protección de la vista:</b>	Usar protección ocular/facial, gafa para productos químicos y mascarilla.
<b>Equipos de protección dérmica:</b>	Evitar contacto con la piel. Usar ropa protectora adecuada.
<b>Otros equipos de protección:</b>	Antes de comer, beber o fumar, lavarse la cara y las manos minuciosamente con jabón y agua.

**SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

<b>Color:</b>	Blancuzco
<b>Aspecto:</b>	Polvo cristalino
<b>Olor:</b>	Inodoro
<b>Temperatura de ebullición/rango:</b>	No aplicable
<b>Temperatura de fusión:</b>	No disponible
<b>Presión de vapor:</b>	No aplicable
<b>Gravedad específica:</b>	0.75 g/ml
<b>Densidad de vapor:</b>	No aplicable
<b>% VOLATIL (Por peso):</b>	~4 - 8
<b>pH:</b>	3.5 (0,5% solución acuosa)
<b>Saturación en aire (%en Vol.):</b>	No aplicable
<b>Índice de evaporación:</b>	No aplicable
<b>Solubilidad en agua:</b>	Limitado por la viscosidad
<b>Contenido orgánico volátil:</b>	No disponible
<b>Punto de inflamación:</b>	No aplicable
<b>Límites de inflamabilidad (% por Vol.):</b>	No aplicable
<b>Temperatura de autoignición:</b>	198.9°C
<b>Temperatura de descomposición:</b>	>200°C
<b>Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):</b>	No aplicable

**SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

<b>Estabilidad:</b>	Estable
<b>Condiciones a evitar:</b>	Almacén en área, fresca, seca. El material es higroscópico. Requiere almacenaje en envase cerrado.

<b>Incompatibilidad con otros materiales:</b>	Agentes oxidantes fuerte, alcalinos, polímeros aniónicos.
<b>Productos peligrosos de descomposición:</b>	Óxido de carbono, dióxido de sulfuro, nitrógeno y amoníaco.
<b>Polymerización Peligrosa:</b>	No ocurrirá

#### SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

**Toxicidad aguda**

Oral	Rata	DL50 aguda	>5000mg/kg
Dermal	Conejo	DL50 Aguda	>2000 mg/kg
Inhalación	Rata	DL50 Aguda 4hr	>20 mg/l

**Efectos locales en piel y ojos**

Irritación aguda	Dermal	No irritante
Irritación aguda	Ojo	No irritante

**Sensitización alérgica**

Sensibilización	Dermal	NO hay datos
Sensibilización	Inhalación	No hay datos

**Genotoxicidad**

Ensayo de mutaciones genéticas	No hay datos
Prueba de Salmonella Ensayo	

**Datos sobre la toxicidad de los ingredientes peligrosos:**
**Toxicidad aguda**

Ácido adípico	Oral (Cebadura) rata DL50 Aguda (Actual) > 11000 mg/kg
---------------	--

**Efectos locales en piel y ojos**

Ácido adípico	Irritación de los ojos aguda conejo picante
	Irritación dermal aguda No irritante

#### SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

Este material no se clasifica como peligroso para el ambiente. Los efectos sobre los organismos acuáticos son debido a un modo de acción externo (no sistémico), y Dichos efectos se producen significativamente (por un factor de 7-20), dentro de los 30 min. Siguiendo debido al enlace del producto al carbón orgánico disuelto y varios estratos inorgánicos tales como arcillas y cienos.

**Resultado de pruebas en algas**

**Test:** Inhibición de crecimiento (OECD 201)  
 Debido a la cationicidad De polímero, la prueba De crecimiento de algas no es apropiada.

**Resultado en pruebas de peces**

**Test:** Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)  
**Duración:** 96 hr



Especie: Pez sebra (Brachydanio rerio)  
>1-10 mg/l LC50



#### Resultado en pruebas de Invertebrados

**Test:** Inmovilización aguda (OECD202)

**Duración:** 48 hr

**Especie:** Mosca de agua (Daphnia magna)

>10-100 mg/l EC50

#### Degradación

**Test:** Evolución de CO<sub>2</sub>: Sturm modificada (OECD 301 B)

Duración: 28 días

Este material no es fácilmente degradable (OECD 301B), pero se puede degradar por hidrólisis. La talla grande del polímero es incompatible con transporte a través de la membrana biológica y de la difusión; el factor de la bioconcentración por lo tanto se considera ser cero.

### SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

**Tratamientos de residuos:** Tratar según legislación vigente

**Eliminación de envases:** Lavar y descartar según legislación vigente

### SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

**UN:** NO APLICA

**Grupo embalaje/envasado:** NO APLICA

### SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. ST55-053-04

Costa Rica: Decreto N° 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

### SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

## ANEXO J. FICHA DE SEGURIDAD Y FICHA TÉCNICA DEL PAC



### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **POLICLORURO DE ALUMINIO LIQUIDO**

Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



#### SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

**PRODUCTO**

**Nombre Químico:** Policloruro de Aluminio (PAC)

**Número CAS:** 1327-41-9

**Sinónimos:** Polihidroxiclорuro de Aluminio, Clorhidrato de Aluminio, Cloruro Básico de Aluminio, Hidroxiclорuro de Aluminio.etc.

**COMPAÑÍA:** GTM

**Teléfonos de Emergencia**

México :	+52 55 5831 7905– SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala:	+502 6628 5858
El Salvador:	+503 2251 7700
Honduras:	+504 2564 5454
Nicaragua:	+505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
Costa Rica:	+506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá:	+507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
Colombia:	+018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú:	+511 614 65 00
Ecuador:	+593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina	+54 115 031 1774
Brasil:	+55 21 3591-1868

#### SECCION 2: COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

**Óxido de Aluminio:** 17 +/- 1% peso  
**Familia:** Sales Inorgánicas  
**Número CAS:** 1327-41-9

#### SECCION 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

**Clasificación ONU:** Clase 8 Corrosivo  
**Clasificación NFPA:** Salud: 1      Inflamabilidad: 0      Reactividad: 0

**EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:**

<b>Inhalación:</b>	Produce dolor en el pecho, tos, dificultad para respirar, dolor de garganta.
<b>Ingestión:</b>	Causa irritación gastrointestinal, náuseas y vomito. Tomar abundante agua o leche, no inducir el vomito.
<b>Contacto con los ojos:</b>	Produce ardor, Irritación y enrojecimiento. Lavar inmediatamente.
<b>Contacto con la piel:</b>	Corrosivo. Produce ligera irritación o enrojecimiento. Lavar inmediatamente
<b>Resumen para casos de emergencia:</b>	Corrosivo. Irritante a los ojos, la piel, si se inhala o se ingiere. Estable a temperatura ambiente y en condiciones normales de uso. Reacciona con bases con desprendimiento de calor, Reacciona violentamente con oxidantes, Por descomposición térmica libera gases irritantes de Acido Clorhídrico

**SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

<b>Inhalación:</b>	Lleve la víctima a un sitio confortable, ventilado y fresco. Lavar nariz y boca con agua abundante y mantener en reposo y abrigado. Si no respira de respiración artificial, si su respiración es dificultosa suministre oxígeno. Consultar al médico lo más pronto posible.
<b>Contacto Dérmico:</b>	Lave de inmediato con abundante agua, bajo la ducha remueva la ropa contaminada y zapatos, se debe continuar con el lavado con agua y jabón durante 15 minutos. Si la irritación u enrojecimiento persiste acudir al médico.
<b>Contacto Ocular:</b>	Lave los ojos inmediatamente con agua corriente por un mínimo de 15 minutos. Mantenga los párpados abiertos durante el enjuague y gire los ojos. Si persiste la irritación, repita el lavado. Remita al médico inmediatamente.
<b>Ingestión:</b>	Si la víctima esta consiente y alerta dele a beber agua o leche. No induzca al vomito. Consultar al médico lo más pronto posible. Nunca suministre algo por la boca si la persona esta inconsciente o convulsionando. En caso de vomito disponer a la persona de costado.

### SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

<b>Agente de Extinción:</b>	Use agua para mantener el contenedor refrigerado, Químico seco, o Dióxido de carbono.
<b>Peligros específicos:</b>	No combustible. Puede desprender gases muy irritantes por descomposición térmica a temperaturas elevadas (> 200°C).
<b>Equipo de protección para la Emergencia:</b>	Botas impermeables, guantes y gafas de protección, considere combatir el fuego desde un lugar distante seguro.

### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

<b>Medidas de emergencia a tomar Hay derrame del material:</b>	Restrinja el área hasta que personal entrenado limpie completamente el derrame. Ventile el área.
<b>Equipos de protección:</b>	Use ropa adecuada y el equipo de protección personal recomendado, guantes, botas, traje de caucho (no use algodón ni cuero), casco, máscara de gases. No toque el producto derramado.
<b>Precauciones a tomar para evitar daño al medio ambiente:</b>	Detenga la fuga si es posible, construya un dique de arena. Absorba el producto en arena o un material absorbente del producto (Ej. Vermiculita), recójalo en un recipiente plástico, almacénelo, luego lave el lugar afectado y todas las herramientas usadas
<b>Método de control y limpieza:</b>	Lave completamente.

### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

<b>Condiciones de almacenaje:</b>	El área de almacenamiento debe estar adecuadamente ventilada con dique de protección, no compartido. Los recipientes deben permanecer bien cerrados y sin goteo cuando no estén en uso. Los contenedores vacíos contienen residuos peligrosos. En esta área se debe contar con ducha y lavajos. El área de almacenamiento y el sistema de iluminación deben construirse de materiales resistentes a la corrosión. . Almacénelo en un lugar bien ventilado, fresco, seco y alejado de sustancias incompatibles.
-----------------------------------	--

**Otras Precauciones a tomar:**

Mantenga el equipo de emergencia siempre disponible. El personal debe estar bien entrenado en el manejo seguro del producto. Los recipientes deben estar debidamente etiquetados y alejados de fuentes de calor. Evite el contacto con los ojos o la piel, no lo ingiera. Evite sus neblinas, vapores o gases. Evite el contacto con ojos, piel y ropas.

**SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL**

<b>Protección respiratoria:</b>	Use respiradores con cartuchos para vapores.
<b>Guantes de protección:</b>	Acrílico, nitrilo o caucho
<b>Protección de la vista:</b>	Use gafas de protección química, careta.
<b>Equipos de protección dérmica:</b>	Use traje, guantes, botas de caucho, neopreno o PVC y casco. No use implementos de cuero o algodón.
<b>Otros equipos de protección:</b>	Manipular cerca de ducha y lava ojos y despeje el área.
<b>Ventilación:</b>	Manipule en lugares con buena ventilación
<b>Límites de exposición:</b>	2 mg/m <sup>3</sup> máximo como AI

**SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

<b>Estado físico:</b>	Líquido
<b>Familia Química:</b>	Sal inorgánica
<b>Apariencia y color:</b>	Color ámbar claro – oscuro
<b>Olor:</b>	Ligeramente ácido
<b>pH:</b>	Ácido, desde 0 hasta 4 unidades de pH
<b>Solubilidad en agua:</b>	Completa
<b>Solubilidad en otros:</b>	Insoluble en solventes orgánicos comunes.
<b>Punto de ebullición:</b>	110 – 120 °C
<b>Punto de fusión y congelación:</b>	- 20 °C Aproximadamente
<b>Peso específico:</b>	1.1 – 1.4 (a 20 °C)

**SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

<b>Estabilidad:</b>	Estable a temperatura y presión normal.
<b>Productos de descomposición peligrosa:</b>	Por descomposición térmica (pirólisis) libera gases irritantes de Ácido Clorhídrico.
<b>Condiciones a evitar:</b>	Evite temperaturas excesivamente altas. Evitar contactos con bases, reaccionan produciendo desprendimiento de calor, reacciona violentamente con oxidantes y productos que desprenden gases en medio ácido (Cloritos, Hipocloritos, Sulfitos, Sulfuros, etc.).
<b>Corrosividad:</b>	Es corrosivo a muchos metales.

**SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA**

<b>DL50, oral ratas (mg/kg):</b>	> 12.700
<b>DL50, intraperitoneal ratón</b>	No existen datos
<b>TLV:</b>	2 mg/m3 como Al.

**SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA**

<b>Algas:</b>	1.75 +/- 0.25 mg/lt
---------------	---------------------

El producto es una sal inorgánica, si se hidroliza se forman precipitados de Hidróxido de Aluminio con pH de 5 – 7 por lo que disminuye el pH del agua, si existen Fosfatos pueden formarse complejos de Fosfatos metálicos.

**SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION**

Sus residuos son considerados como no peligrosos, sin embargo no lo maneje como un desecho normal. No lo disponga en los drenajes, el suelo o fuentes de agua. Neutralizar con Cal o Carbonato de Sodio. Siga las regulaciones locales para su disposición.

**SECCION 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE**

**UN:** 3264  
**Grupo embalaje/envasado:** III

**SECCION 15: INFORMACION REGLAMENTARIA**

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. ST55-053-04

Costa Rica: Decreto N° 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

**SECCION 16: INFORMACION ADICIONAL**

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.





Aldar Química S.A. de C.V.

**PAC**

COAGULANTE INORGÁNICO A BASE DE SAL POLIMÉRICA DE POLICLORURO DE ALUMINIO. TIENE BAJO PESO MOLECULAR Y MEDIANA BASICIDAD. SE APLICA PRINCIPALMENTE EN PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CRUDA Y POTABLE.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

APARIENCIA LÍQUIDO CRISTALINO O AMARILLO

DENSIDAD 1.25gr/ml

SOLUBILIDAD MUY BUENA

CADUCIDAD 24 MESES

**VENTAJAS**

FÁCIL APLICACIÓN, BAJA DOSIFICACIÓN, AHORRO EN APLICACIÓN, EFECTIVO SOBRE UN RANGO DE pH ALTO, EFECTIVO EN AGUAS CLORADAS, PRODUCE POCOS LODOS (CON ALTA DENSIDAD PARA SU FÁCIL DISPOSICIÓN), NO MODIFICA SIGNIFICATIVAMENTE EL pH, GENERA VOLUMENES BAJOS DE ALUMINIO RESIDUAL, NO HAY INCREMENTOS SIGNIFICANTES EN LA CONDUCTIVIDAD.

**AGUA POTABLE**

AUXILIAR EN LA COAGULACIÓN O DECOLORACIÓN DURANTE EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

DOSIS DE 10 A 30 PPM.

**AGUAS RESIDUALES**

ELECTROLITO CATIÓNICO EFECTIVO USADO DURANTE LA COAGULACIÓN PARA LA DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES. GENERA BUENOS RESULTADOS EN LA FLOTACIÓN POR AIRE. TIENE BUEN EFECTO EN REMOCIÓN DE COLORES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y TURBIDEZ.

**DOSIS**

PARA USO EN AGUA POTABLE 30 mg/lit MÁXIMO

PARA USO EN AGUAS RESIDUALES PUEDE SER ENTRE 50-500 mg/Lt

PARA USO EN AGUAS ACEITOSAS 500-2000 mg/Lt

**APLICACIÓN**

PAC PUEDE SER APLICADO DIRECTAMENTE O BIEN BOMBEANDO EL PRODUCTO DILUIDO CON AGUA LIMPIA EN UNA PROPORCIÓN DE 10:1 USANDO UNA BOMBA DE MATERIAL ANTICORROSIVO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO. MEJORES RESULTADOS SE OBTIENEN PROVOCANDO ALTA TURBULENCIA PARA RÁPIDO MEZCLADO POR UN CORTO TIEMPO DESPUÉS DEL PUNTO DE ADICIÓN.

**RIESGO Y TOXICIDAD**

EL CONTACTO DIRECTO CON ESTE PRODUCTO NO CAUSA IRRITACION EN LA PIEL.

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

DERRAMES PUEDEN SER LIMPIADOS CON ASPERSIÓN DE AGUA.

PAC SE DEBE ALMACENAR EN TANQUES DE ACERO INOXIDABLE, FIBRA DE VIDRIO, PLÁSTICO (PP, PVC, PE). NO SE ALMACENE EN TANQUES DE COBRE, FIERRO O ALUMINIO.

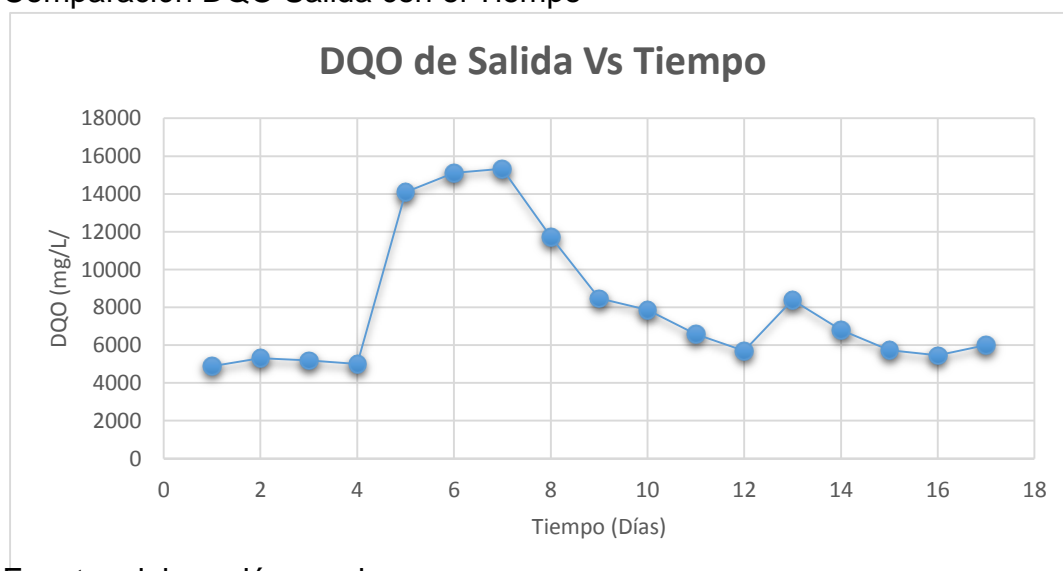
## ANEXO K. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SBR NORTE

DQO SBR Norte

Día del mes	SBR NORTE	
	Entrada DQO (mg/L)	Salida DQO (mg/L)
1/10/2018	100013	4881
8/10/2018	7441	5311
16/10/2018	7334	5188
22/10/2018	13181	5006
19/11/2018	7575	14103
17/12/2018	7591	15105
24/12/2018	17275	15340
8/01/2019	9289	11730
14/01/2019	9268	8470
21/01/2019	9026	7871
4/02/2019	6710	6580
11/02/2019	7310	5705
18/02/2019	7361	8385
25/02/2019	7381	6806
3/03/2019	6328	5728
11/03/2019	6224	5469
18/03/2019	10229	6001
<b>Suma</b>	<b>149536</b>	<b>137679</b>
<b>Promedio</b>	<b>8796,24</b>	<b>8098,76</b>

Fuente: elaboración propia

Comparación DQO Salida con el Tiempo



Fuente: elaboración propia

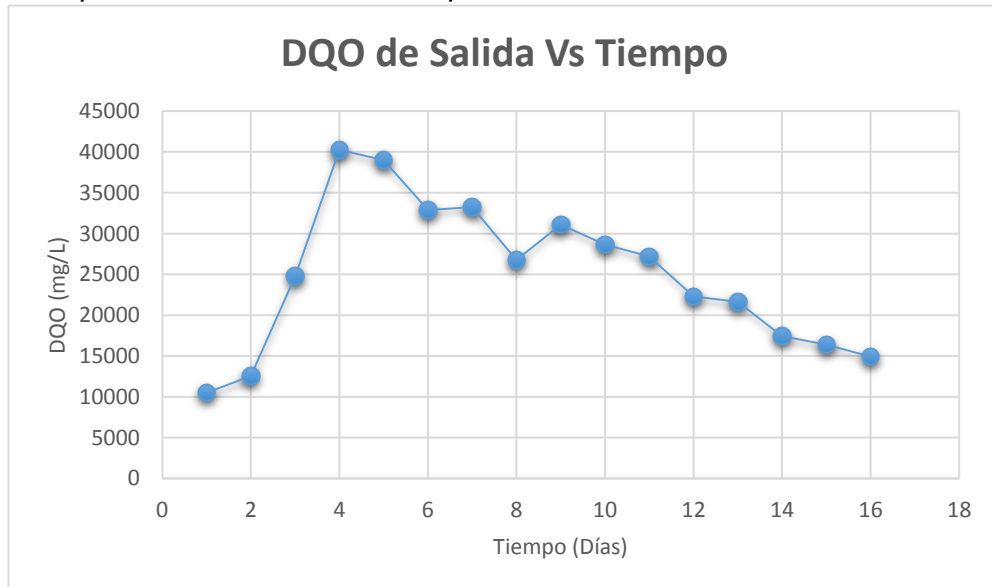
**ANEXO L.  
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SBR SUR**

DQO SBR Sur

Día del mes	SBR SUR	
	Entrada DQO (mg/L)	Salida DQO (mg/L)
1/10/2018	14751	10486
8/10/2018	7441	12544
16/10/2018	8405	24775
22/10/2018	7651	40265
19/11/2018	7591	38983
17/12/2018	17275	32880
24/12/2018	9289	33230
8/01/2019	9268	26783
14/01/2019	9026	31083
21/01/2019	6710	28668
4/02/2019	7310	27203
11/02/2019	7361	22295
18/02/2019	7381	21628
25/02/2019	6328	17428
3/03/2019	6224	16365
11/03/2019	8466	14940
<b>Suma</b>	<b>140477</b>	<b>399556</b>
<b>Promedio</b>	<b>8796,24</b>	<b>24972,25</b>

Fuente: elaboración propia

Comparación DQO con el tiempo



Fuente: elaboración propia

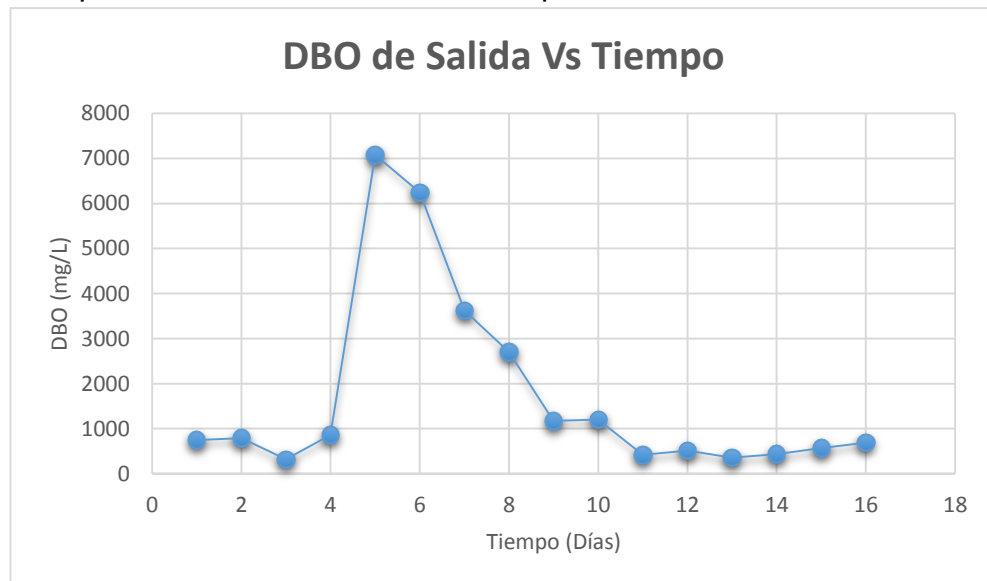
**ANEXO M.  
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO SBR NORTE**

DBO SBR Norte

Día del mes	SBR NORTE	
	Entrada DBO (mg/L)	Salida DBO (mg/L)
1/10/2018	4160	746
8/10/2018	3180	789
16/10/2018	1228	322
22/10/2018	4305	862
19/11/2018	2768	7080
17/12/2018	1608	6250
8/01/2019	2572	3625
14/01/2019	3107	2703
21/01/2019	1911	1170
4/02/2019	1719	1200
11/02/2019	1158	422
18/02/2019	877	513
25/02/2019	583	356
3/03/2019	640	431
11/03/2019	742	566
18/03/2019	3060	691
<b>Suma</b>	<b>33618</b>	<b>27726</b>
<b>Promedio</b>	<b>2101,13</b>	<b>1732,875</b>

Fuente: elaboración propia.

Comparación DBO Salida con el tiempo



Fuente: elaboración propia

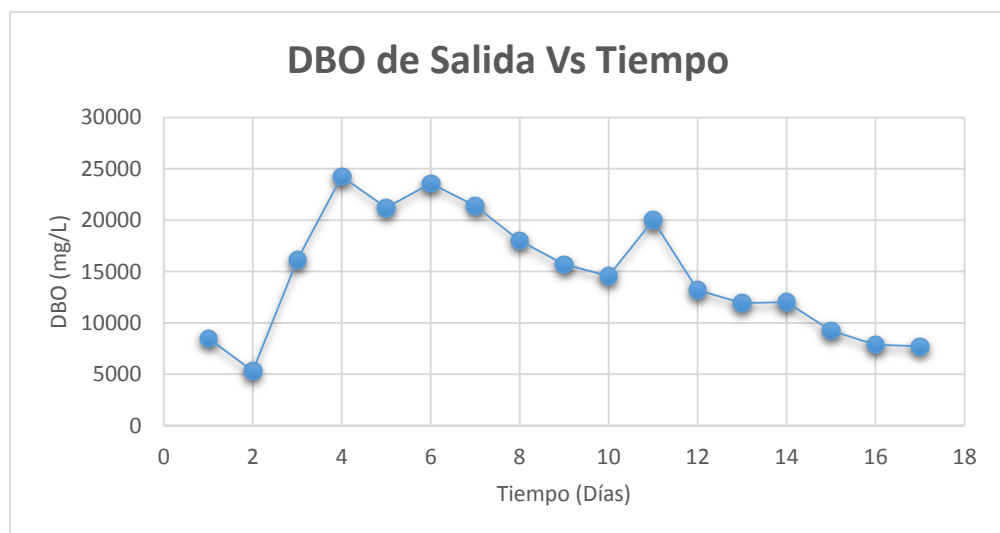
**ANEXO N.  
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO SBR SUR**

DBO SBR Sur

Día del mes	SBR SUR	
	Entrada DBO (mg/L)	Salida DBO (mg/L)
1/10/2018	8905	8497
8/10/2018	3180	5337
22/10/2019	2113	16140
6/11/2018	3025	24264
19/11/2018	2873	21200
17/12/2018	1608	23583
24/12/2019	1016	21400
8/01/2019	2572	18017
14/01/2019	3107	15683
21/01/2019	1911	14567
4/02/2019	1719	19992
11/02/2019	1158	13208
18/02/2019	877	11942
25/02/2019	583	12008
3/03/2019	640	9257
11/03/2019	742	7888
18/03/2019	2133	7710
<b>Suma</b>	<b>38162</b>	<b>250693</b>
<b>Promedio</b>	<b>2244,82</b>	<b>14746,65</b>

Fuente: elaboración propia.

Comparación DBO Salida con el tiempo



Fuente: elaboración propia

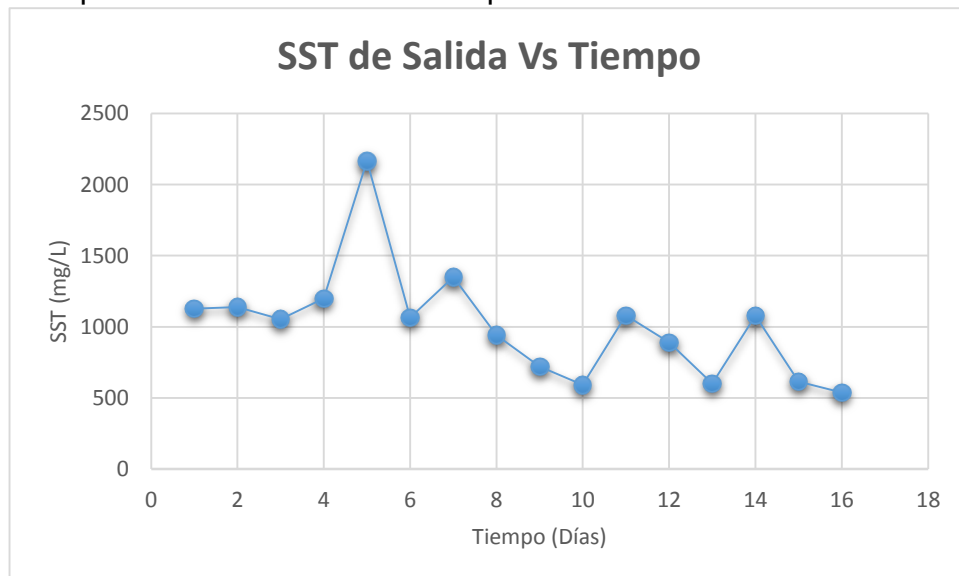
## ANEXO O. SST SBR NORTE

SST SBR Norte

Día del mes	SBR NORTE	
	Entrada SST (mg/L)	Salida SST (mg/L)
1/10/2018	1540	1128
8/10/2018	1369	1138
16/10/2018	607	1053
22/10/2018	4300	1200
19/11/2018	867	2167
17/12/2018	943	1065
8/01/2019	667	1350
14/01/2019	1674	940
21/01/2019	654	721
4/02/2019	1000	592
11/02/2019	635	1081
18/02/2019	784	890
25/02/2019	841	600
3/03/2019	300	1077
11/03/2019	520	614
18/03/2019	2662	538
<b>Suma</b>	<b>19363</b>	<b>16154</b>
<b>Promedio</b>	<b>1210,19</b>	<b>1009,625</b>

Fuente: elaboración propia.

Comparación SST salida vs Tiempo



Fuente: elaboración propia

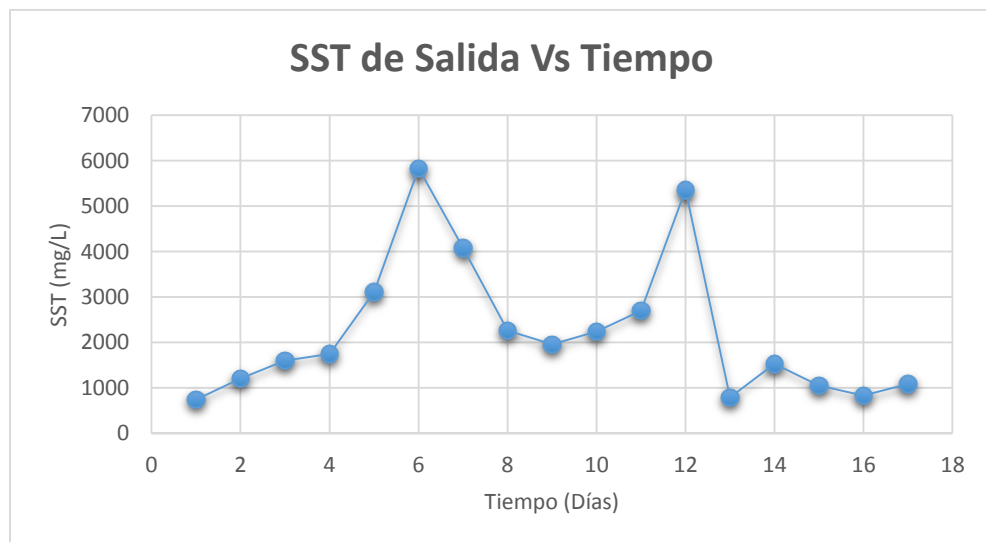
**ANEXO P.  
SST SBR SUR**

SST SBR Sur

Día del mes	SBR SUR	
	Entrada SST (mg/L)	Salida SST (mg/L)
1/10/2018	3600	740
8/10/2018	1369	1205
22/10/2018	733	1600
6/11/2018	543	1747
19/11/2018	1056	3113
17/12/2018	943	5833
24/12/2018	270	4079
8/01/2019	667	2260
14/01/2019	1674	1957
21/01/2019	654	2240
4/02/2019	1000	2696
11/02/2019	635	5357
18/02/2019	784	789
25/02/2019	841	1533
3/03/2019	300	1050
11/03/2019	520	832
18/03/2019	1925	1087
<b>Suma</b>	<b>17514</b>	<b>38118</b>
<b>Promedio</b>	<b>1030,24</b>	<b>2242,24</b>

Fuente: elaboración propia

Comparación SST salida con el tiempo



Fuente: elaboración propia

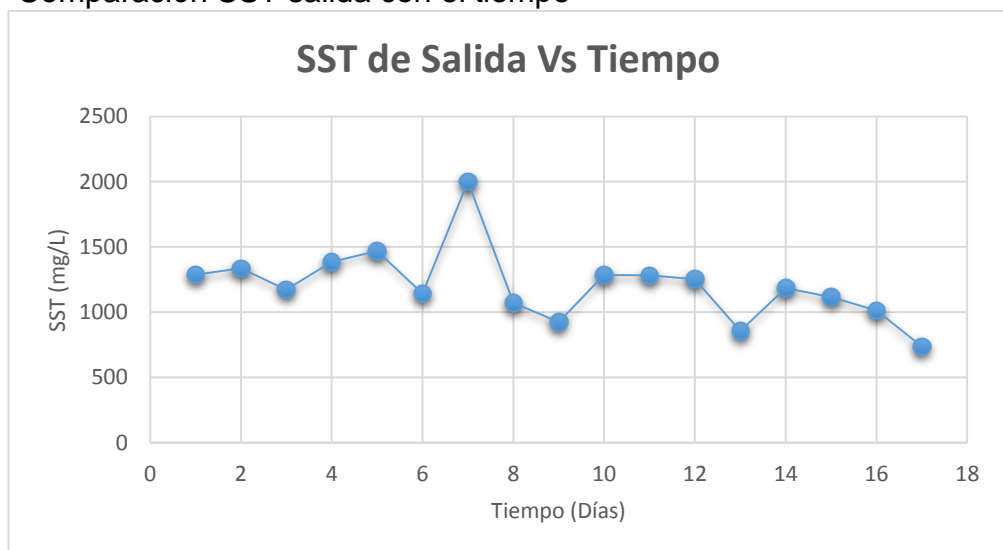
**ANEXO Q.  
SST FISICOQUÍMICO 3**

SST FQ 3

Día del mes	FISICOQUÍMICO 3	
	Entrada SST (mg/L)	Salida SST (mg/L)
6/11/2018	2348	1288
13/11/2018	1680	1336
19/11/2018	1845	1173
3/12/2018	3886	1385
10/12/2018	1731	1470
17/12/2018	1833	1142
24/12/2018	2300	2000
8/01/2019	2355	1071
14/01/2019	1024	924
21/01/2019	1570	1285
4/02/2019	1489	1283
11/02/2019	1093	1252
18/02/2019	1045	855
25/02/2019	1074	1185
4/03/2019	3109	1115
11/03/2019	1087	1013
18/03/2019	1574	737
<b>Suma</b>	<b>31043</b>	<b>20514</b>
<b>Promedio</b>	<b>1826,06</b>	<b>1206,71</b>

Fuente: elaboración propia

Comparación SST salida con el tiempo



Fuente: elaboración propia



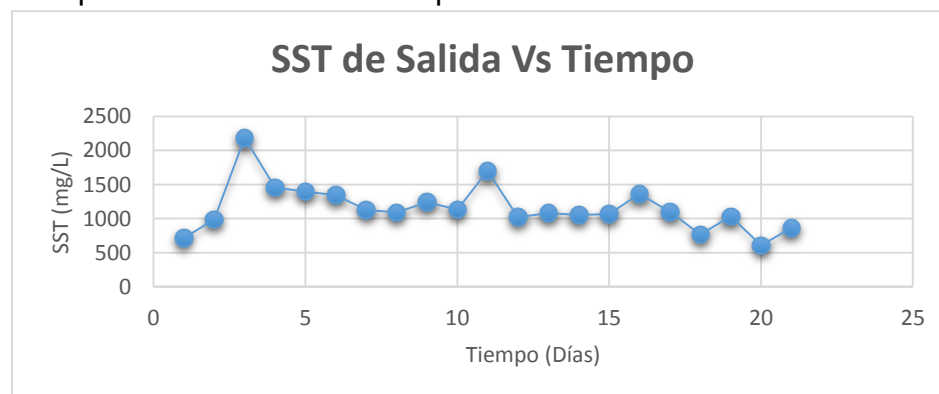
## ANEXO R. SST FISICOQUÍMICO 1

SST FQ1

Día del mes	FISICOQUÍMICO 1	
	Entrada SST (mg/L)	Salida SST (mg/L)
1/10/2018	751	715
8/10/2018	970	989
16/10/2018	2062	2185
22/10/2018	1280	1456
6/11/2018	1288	1397
13/11/2018	1336	1342
19/11/2018	1173	1130
3/12/2018	1385	1091
10/12/2018	1470	1239
17/12/2018	1142	1131
24/12/2018	2000	1700
8/01/2019	1071	1022
14/01/2019	924	1083
21/01/2019	1285	1053
4/02/2019	1283	1069
11/02/2019	1252	1363
18/02/2019	855	1098
25/02/2019	1185	768
4/03/2019	1115	1036
11/03/2019	1013	608
18/03/2019	737	863
<b>Suma</b>	<b>25577</b>	<b>24338</b>
<b>Promedio</b>	<b>1217,95</b>	<b>1158,9523</b>

Fuente: elaboración propia

Comparación SST con el tiempo



Fuente: elaboración propia

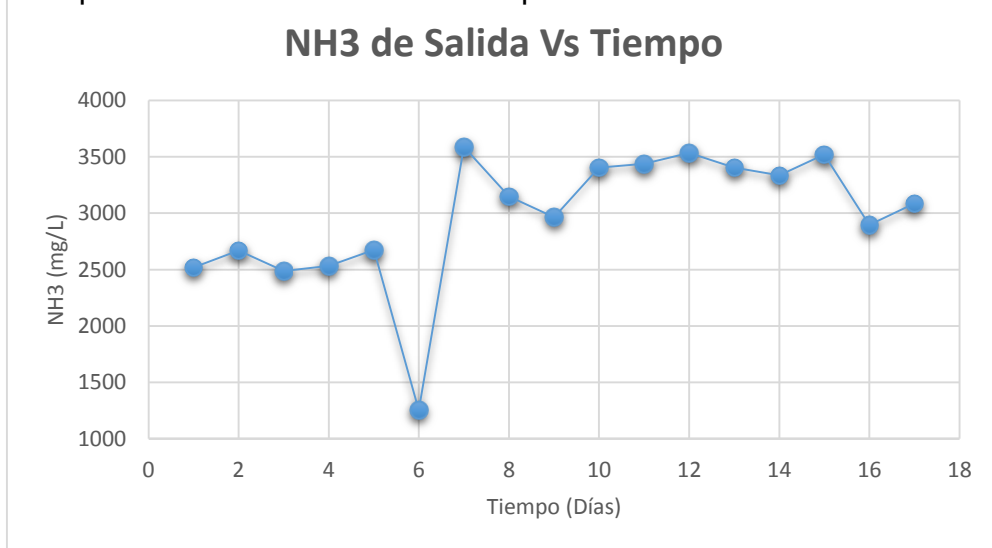
**ANEXO S.  
NITROGENO AMONIAICAL SBR NORTE**

Nitrógeno amoniaco SBR Norte

Día del mes	SBR NORTE	
	Entrada NH3 (mg/L)	Salida NH3 (mg/L)
1/10/2018	3333	2518
8/10/2018	3398	2668
16/10/2018	3198	2488
22/10/2018	3063	2533
19/11/2018	3353	2675
26/11/2018	2778	1252
17/12/2018	3818	3588
8/01/2019	3408	3150
14/01/2019	3240	2963
21/01/2019	3538	3403
4/02/2019	3700	3438
11/02/2019	3930	3535
18/02/2019	3803	3403
25/02/2019	3638	3335
4/03/2019	3438	3520
11/03/2019	3403	2895
18/03/2019	3370	3085
<b>Suma</b>	<b>58409</b>	<b>50449</b>
<b>Promedio</b>	<b>3435,82</b>	<b>2967,588</b>

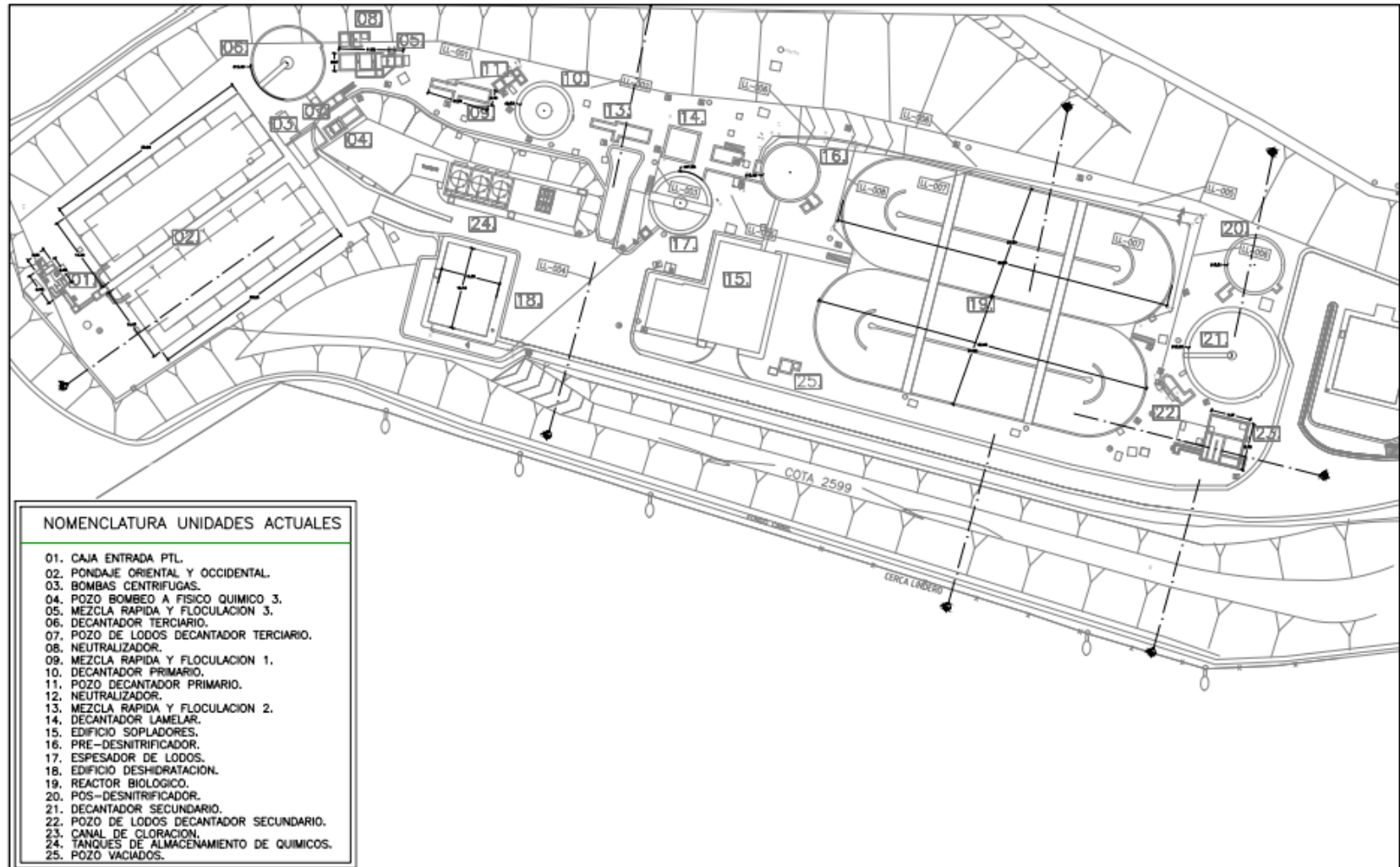
Fuente: elaboración propia

Comparación NH3 de salida vs tiempo



Fuente: elaboración propia.

## ANEXO T. PLANO SISTEMAS EXISTENTES RELLENO DOÑA JUANA



## ANEXO U. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA ASINAL



Laboratorio Acreditado  
NTC-ISO/IEC-17025:2005  
Mediante Resolución  
Número 2456 del 2017



### REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA

No. **1117002**

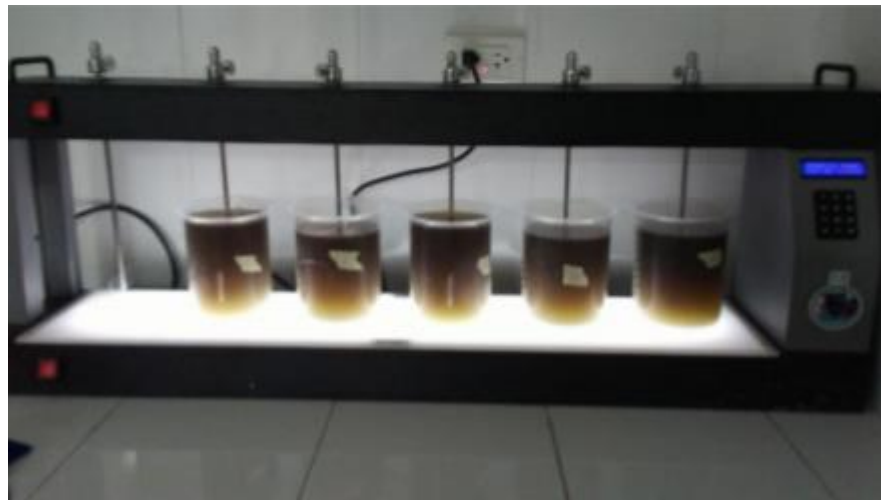
REG-REA-094 Versión 5.0

Ciudad y fecha de reporte

**Bogotá, 2019-03-06**


INFORMACIÓN DEL CLIENTE					
Empresa	CGR Doña Juana		Teléfono	3848630/3005451076	
N.I.T.	900383203-6		Email	catalina.celis@cgr-bogota.com - patriciaJimenez@cgr-bogota.com	
Dirección	Avenida Boyaca - km 5 vía villaivancio				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Muestra	Caracterización de Vertimientos - Planta de tratamiento de Efluvio			Tipo de Envase	Plástico, Ámbar, Vidrio
Fecha de recepción	2019-02-18	Características ARnD		Tamaño Muestra	5,250 mL
Fecha de elaboración	N.A.	Temperatura °C		Norma	Resolución 0631 del 2015 Art 14
Fecha de vencimiento	N.A.	Método de Muestreo		Muestreo por	Fabio Herrera - ASINAL SAS
No. Lote	N.A.	Puntual		Muestreo Fecha/Hora	2019-02-18 / 15:30
Proveedor	N.A.			Sitio de Muestreo	Planta de tratamiento de Efluvio
RESULTADOS					
PARÁMETRO	Fecha de resultado	MÉTODO	Resultado	Unidades	Límites máximos permisibles Resolución 0631 del 2015 Art 14
Físicoquímica					
(A)Oxígeno Disuelto	2019-02-18	SM 4500-O.G	1,2	mg O <sub>2</sub> /L	-
(A)Temperatura	2019-02-18	SM 2550 B	21,2	°C	40 ( Art 5)
(A)pH	2019-02-18	SM 4500-H+ B	8,89	Unidades pH	6,00 a 9,00
(A)Sólidos Sedimentables (SSED)	2019-02-26	Volumétrico - Cono Imhoff, SM 2540 F	1,3	mLSSSED/L	5
(A)Sólidos Suspendedos Totales (SST)	2019-02-23	Gravimétrico - secado a 103°C - 105°C, SM 2540 D	257	mgSST/L	400
(A)Demanda Química de Oxígeno (DQO)	2019-02-19	Reflujo cerrado y volumétrico, SM 5220 C	7196	mgO <sub>2</sub> /L	2000,0
(A)Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	2019-02-22	Incubación a 5 días y Modificación de Azida, SM 5210 B, 4500 - O, C	2665	mgO <sub>2</sub> /L	800
(A)Fenoles Totales	2019-02-22	Destilación - Extracción con cloroformo, SM 5530 B, C	0,56	mgFenol/L	0,2
(A)Cloruros	2019-02-25	Argentométrico, SM 4500- Cl, B	3639	mgCl-/L	500
(A)Sulfato	2019-02-18	Turbidimétrico, SM 4500 - SO <sub>4</sub> 2-, E	362,95	mg SO <sub>4</sub> 2-/L	600
(A)Cianuro Total	2019-02-22	SM 4500- CN, B, C, E	<0,02	mgCN-/L	0,5
(A)Grasas y Aceites	2019-02-26	Extracción Soxhlet, SM 5520 D	10	mg/L	50
(A)Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)	2019-02-27	particion infrarojo hidrocarburos SM 5520 C, F	<5	mgTPH/L	10
Absorción atómica					
(A)Aluminio	2019-02-27	SM 3030 F, SM 3111 D.	0,16	mgAl/L	3
(A) Cadmio	2019-02-27	SM 3030 F, SM 3111 B	<0,03	mgCd/L	0,05
(A)Zinc	2019-02-22	SM 3030 F, SM 3111 B	0,48	mgZn/L	3
(A)Cromo Total	2019-02-26	SM 3030 F, SM 3111 B	0,65	mgCr/L	0,5
(A)Cobre	2019-02-26	SM 3030 F, SM 3111 B	<0,1	mgCu/L	1
(A)Mercurio	2019-03-05	Espectrofotometría de absorción atómica - vapor frío, SM 3112 B	<0,001	mgHg/L	0,01

**ANEXO V.**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TEST DE JARRAS**



## ANEXO W

# TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS: DBO, DQO, SST Y NITRÓGENO AMONIACAL.

	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
	Página 6 de 13		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA			

### 8. LIMPIEZA DE VIDRIERIA

Use el material disponible, con control de calidad, que ha sido lavado con detergente biodegradable (material sumergido durante 30 min.), abundante agua de la llave y agua destilada, respectivamente. Ver procedimiento referente al lavado de material de vidrio TP0125.

La garrafa donde se prepara el agua de dilución debe lavarse antes y después de su uso con agua caliente, varias veces y enjuagar varias veces con agua destilada, recoger el agua para el análisis. No aplicar jabón para el lavado.

### 9. PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES DE CONTROL

Para mejores resultados seque una pequeña cantidad de los reactivos cada vez que se va a preparar esta solución.


- En un vaso de precipitados coloque alrededor de 0.2 g de ácido glutámico y en otro 0.2g de glucosa y séquelos a 102 – 104 °C durante una hora en el horno binder.
- Deje enfriar dentro del desecador, hasta temperatura ambiente.
- En un vaso de precipitado pese 0,1500 gramos de ácido glutámico y en otro 0,1500 gramos de glucosa.
- Coloque 200 mL de agua ultrapura en un balón aforado de 1litro, transfiera cuantitativamente los 0,1500 g de ácido glutámico, enjuague varias veces el vaso que lo contiene, agite hasta disolución completa.( No se disuelve fácilmente)
- Transfiera cuantitativamente los 0,1500 g de glucosa, enjuague varias veces el vaso que lo contiene, agite hasta disolución completa se agrega éste en el mismo balón del ácido glutámico.
- Complete a volumen y homogenice invirtiendo el balón varias veces.

Nota : Este estándar se puede utilizar por una semana, manteniéndolo tapado y refrigerado. Cuando se vaya a utilizar debe estar a temperatura ambiente.

### 10. PROCEDIMIENTO

#### 10.1. Preparación del agua de dilución.

- Llene la garrafa con agua destilada, la necesaria para el análisis, teniendo en cuenta que el gasto aproximado es de 300 mL por botella winkler y van a utilizar, 3 botellas para blanco, 3 botellas para cepa más agua de dilución, 3 botellas para estándar, 4 botellas para muestras y 1,5 L adicionales.
- Reserve el volumen de agua destilada desde el día anterior.
- Airee el agua por dos horas mínimo, utilizando la bomba de los acuarios, que se encuentra disponible en el lugar de trabajo.
- Verifique que la temperatura del agua de dilución sea de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0087	Fecha de elaboración: 04/06/2007	Versión: 02
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA</b>			

- Controle la temperatura, midiéndola con el oxímetro a una muestra que se toma en una botella Winkler, repita el proceso hasta llegar a 19 °C
- Agregue 1 mL de cada una de las siguientes soluciones, por cada litro de agua de dilución a preparar: Solución tampón de fosfatos, Solución de sulfato de magnesio, Solución de cloruro de calcio, Solución de cloruro de hierro (III).

#### 10.2. Criterios para determinar la dilución aproximada de la muestra.

Tipo de muestra	mililitros de muestra
Residuales domésticas crudas fuertes	0,3 – 0,6 – 1,0
Residuales domésticas crudas normales	0,5 – 1,0 – 1,5
Residuales domésticas (estructuras intermedias)	1,0 – 2,0 – 3,0
Residuales domésticas tratadas (funcionamiento regular)	2,0 – 5,0 - 10
Residuales domésticas tratadas (funcionamiento normal)	5 – 10 – 20
Residuales domésticas tratadas (excelente funcionamiento)	10 – 20 - 50
Residuales lácteas, licores, cervecerías, gaseosas.	Aplicar la fórmula
Aguas superficiales parcialmente contaminadas	5,0 .....50
Aguas superficiales no contaminadas	50 – 70 – 90 - 100

El porcentaje se refiere al volumen adicionado por cada 100 mL de la botella winkler.

#### 10.3. Alistamiento general

- Aliste 3 botellas por cada muestra, blanco, blanco con cepa y estándar a procesar.
- Diligencie el formato y registre el valor de 293 mL que corresponden al valor promedio de las botellas del laboratorio (293±4 mL), registre también el volumen de la alícuota que se tomará de la muestra y la dilución previa realizada en balón aforado si esta fuera necesaria de acuerdo a los criterios dados en 10.2.
- Adicione 2 mL de la Cepa o Semilla tomando las precauciones citadas en el numeral 7.2 Reactivos . cepa o Semilla...

#### 10.4. Lectura de Blanco

- Aliste tres botellas Winkler
- Rotule las botellas como "Blanco" y la fecha de análisis.
- Rotule agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella.
- Calibre el equipo de acuerdo a TM0230 Manual del Oxímetro YSI 52 con la primera botella de blanco a 73% de saturación de oxígeno. (2577m.s.n.m.)



**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA**

- Prepare un estándar de 200 mgO<sub>2</sub>/L de DQO a partir de la solución de 500 mgO<sub>2</sub>/L de DQO, tome 20 mL de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 mL, con agua ultrapura.
- Prepare un estándar de 5.0 mgO<sub>2</sub>/L de DQO a partir de la solución estándar de 50 mgO<sub>2</sub>/L de DQO, tome 5 mL de ésta solución y lleve a volumen en un balón aforado clase A de 50 mL, con agua ultrapura .
- Cada vez que pase un lote de muestras incluya estándares de control de concentraciones 50 y 200 mgO<sub>2</sub>/L, para muestras que se procesen con Dicromato 0,10 N. Estándares de control de concentraciones 100 y 500 mgO<sub>2</sub>/L, para muestras que se procesen con Dicromato 0,25 N. Estándar de control de concentración 5.0 mgO<sub>2</sub>/L, para muestras que se procesen con Dicromato 0,025 N.

## 10. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS


### 10.1 Digestión de la muestra

- Precaliente conectando el digestor una hora antes de colocar las muestras para que éste alcance los 150 °C.
- Preparación de blancos: Transfiera una alícuota de 2,5 mL de agua ultrapura en un tubo de digestión, adicione 1,5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico (este reactivo debe ser dispensado gota a gota por la pared del tubo. Tape herméticamente los tubos, agite varias veces, sin invertir.

**PRECAUCIÓN:** Use la careta de seguridad y guantes gruesos para proteger las manos del calor producido al mezclar el contenido de los tubos, mezcle minuciosamente antes de aplicar calor, para prevenir el calentamiento local en el fondo del tubo y una posible reacción explosiva.

- Prepare 6 tubos como blancos, 3 de ellos colóquelos en digestión junto con las muestras y los otros 3 déjelos sin digerir, para valorar la concentración del FAS.
- Tratamiento de la muestra. Agite vigorosamente la muestra, transfiera a un tubo de digestión, 2,5 mL de muestra, agregue cuidadosamente 1.5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico por la pared del tubo de tal manera que se forme una capa de ácido debajo de la mezcla de muestra y solución digestora. Tape herméticamente y agite, si la muestra presenta coloración verdosa o azul, indica que se encuentra fuera de rango de lectura, repita el procedimiento utilizando dicromato de potasio 0,25 N, titule con sulfato ferroso amoniacal. Tenga en cuenta las precauciones.
- Verifique el tipo de muestra, cuando ésta corresponda a un adicionado recuerde medir el volumen antes de iniciar el análisis y regístrelo en el formato y en el envase.



	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0086	Fecha de elaboración: 28/12/2007	Versión: 05
<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA</b>			

- o Coloque los tubos con las muestras, los blancos para digestión y los estándares de control (distribuya aleatoriamente en cada uno de los bloques los blancos y los estándares de control), en el microdigestor precalentado a 150°C. Espere a que se establezca la temperatura en 150°C y deje en digestión por 2 horas, después de este tiempo saque los tubos y colóquelos en una gradilla a enfriar.
- o Transfiera cuantitativamente el contenido de cada tubo a un erlenmeyer marcado con el número de muestra, blanco o control.

#### 10.2 Valoración del Titulante.

- o Valoración del FAS: Tome cada uno de los blancos no digeridos, transfíralos cuantitativamente a un erlenmeyer de 125 mL, enjuague varias veces con agua ultrapura y vierta el contenido en el erlenmeyer. Adicione 2 gotas de indicador de ferroína, mezcle rápidamente con el agitador magnético.
- o Titule con el FAS aprox 0,04 N (si usó dicromato 0.025 N ó 0.10 N) o aprox. 0.10 N (si usó dicromato 0.25N). El punto final de la titulación es un cambio de color de azul verdoso a café rojizo permanente.

$$\text{Normalidad del FAS} = \frac{\text{Volumen (K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times \text{Normalidad (K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{\text{Volumen (FAS) promedio}}$$

Volumen de Dicromato = 1,5 ó 6 mL.

Concentración del Dicromato de potasio: 0.025, 0.10 N ó 0.25 N

#### 10.3 Titulación de muestras.


- Titulación de Blancos:

Medición de la reducción del dicromato: Tome los tubos de los blancos digeridos y realice el mismo procedimiento de titulación que el efectuado para la valoración del FAS.

- Titulación de las muestras:

Tome los tubos de las muestras y estándares y realice el mismo procedimiento de titulación que el efectuado para la valoración del FAS.

NOTA: Si en la etapa de titulación de las muestras al adicionar ferroína, toman color rojizo permanente, significa que todo el dicromato ha sido consumido, por lo tanto es necesario utilizar el dicromato más concentrado. Si este también es consumido diluya la muestra. Deseche los residuos en la caneca rotulada Desechos de DQO ubicada debajo del mesón del área de DQO.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/082007	Versión: 03	Página: 5 de 7
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

#### 8. LIMPIEZA DE LA VIDRIERÍA

El material de vidrio que se utiliza en este método se lava siguiendo el procedimiento general de lavado que se sigue en el laboratorio y que se describe en el documento TP0125.

#### 9. PREPARACION DE ESTÁNDARES DE CONTROL DE CALIDAD

En un vaso de 250 mL coloque alrededor de 10 gramos de caolín y séquelo a 103-105°C durante dos horas, como mínimo. Deje enfriar dentro de un desecador, hasta temperatura ambiente. Prepare las siguientes muestras como control de calidad:

**ESTÁNDAR CONTROL Concentración 50 mg/L. Prepárelo diariamente.**  
 Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0050 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez.  
 Preparación: Pese directamente en un vaso de 250 mL 0.0050 g de caolín y adicione 100 mL de agua destilada medidos con una probeta. Agite para homogeneizar.  
 Peso esperado de residuo seco = 5 mg

**ESTÁNDAR CONTROL Concentración 500 mg/L. Prepárelo diariamente.**  
 Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0500 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez.  
 Preparación: Siga el procedimiento indicado anteriormente para el patrón de 50 mg/L.  
 Peso esperado de residuo seco = 50 mg.

#### 10. PROCEDIMIENTO.

- 10.1. Preparación del filtro o disco de fibra de vidrio: Siempre maneje el disco mediante pinzas metálicas y/o microespátula metálica. No manipule el filtro con la mano.
  - 10.1.1 Marque cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva.
  - 10.1.2 Coloque el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplique vacío.
  - 10.1.3 Lave el disco con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada, medidos con probeta.
  - 10.1.4 Deje el vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.
  - 10.1.5 Cuidadosamente y con la ayuda de una microespátula o de unas pinzas, retire el disco y colóquelo dentro de la cápsula de aluminio correspondiente.
  - 10.1.6 Seque el conjunto (cápsula de aluminio + disco) en el Horno precalentado a 105°C por 1 h.
  - 10.1.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.



- 10.1.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato correspondiente TF0067, en la columna Tara 1.
- 10.1.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso. Mantenga el conjunto en un desecador hasta que se vaya a utilizar; registre en columna tara 2.
- 10.1.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (un tercer ciclo de secado se registra en la columna de observaciones).
- 10.2 Procesamiento de la muestra.
- 10.2.1 Saque del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que va a procesar. Instale el disco en el equipo de filtración. Haga vacío en el sistema y fije el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.
- 10.2.2 Agite invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces.
- 10.2.3 De la muestra recién agitada, tome rápidamente una alícuota medida con probeta, transfiera cuantitativamente al filtro y registre el volumen total filtrado en el formato TF0067.
- 10.2.4 Deje el vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.
- 10.2.5 Retire cuidadosamente el disco con ayuda de una microespátula y colóquelo en la cápsula de aluminio correspondiente.
- 10.2.6 Seque el conjunto en el Horno a 103-105°C, durante 1 hora.
- 10.2.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
- 10.2.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato TF0067, en la columna Peso 1
- 10.2.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso, en la columna peso 2.
- 10.2.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (registre el tercer peso en la columna de observaciones).
- 10.2.11 Tape firmemente los frascos que contienen el residual de cada muestra. Entréguelos a la persona designada para el manejo del cuarto frío con el fin de que sean almacenados nuevamente.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TP0134	Fecha de elaboración: 08/06/2007	Versión: 02

NITROGENO AMONICAL EN AGUA POR ELECTRODO SELECTIVO DE AMONIACO (Orion)

- Pipeta graduada de 1 mL.
- Probeta de vidrio de 100 mL.
- Pipeta Pasteur.
- Microespátula.
- Barra magnética cubierta de TFE.
- Papel indicador de pH

#### 8. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE VIDRIERIA.

Lave toda la vidriería con jabón alcalino, enjuague con agua de la llave, posteriormente déjelo en  $H_2SO_4$  diluido al 5% y enjuague muy bien con agua destilada. Remítase al Procedimiento Relacionado TP0125 (Lavado material de vidrio.)

Utilice la vidriería a la que se le haya efectuado control de calidad .

#### 9. PROCEDIMIENTO DE PREPARACION DE ESTÁNDARES.

##### 9.1 Estándares de curva de calibración

Para las diluciones de la curva de calibración es necesario preparar una solución de 100 mg  $NH_3-N/L$ , a partir de la solución stock de 1000 mg  $NH_3-N/L$ . Tome una alícuota de 25 mL de la solución stock, transfírala a un balón de 250 mL y complete a volumen. Prepare las soluciones de la siguiente manera:

- De la solución de 100 mg/L tome 50 mL y complete a 500 mL, la solución obtenida tiene una concentración de 10 mg N/L.
- De la solución de 10 mg/L tome 50 mL y complete a 500 mL, la solución obtenida tiene una concentración de 1,0 mg N/L.

#### 10. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

10.1 Calibración del Medidor de Iones: Comprobar el funcionamiento del elemento sensor del electrodo según las instrucciones del fabricante para asegurar que es correcto. Ver instructivo No. TI0398.

##### 10.2 Curva de Calibración:

- Se emplean soluciones con concentraciones de 1.0, 10,0 y 100 mg  $NH_3-N/L$  /L, preparadas como se indica en el numeral 9.1.
- Colocar 100 mL de cada solución patrón en un erlenmeyer de 125 mL. Introducir el electrodo en el patrón de menor concentración y mezclar con un agitador magnético; limitar la velocidad de agitación para que la solución no capte burbujas de aire que quedarían atrapadas en la membrana del electrodo, que no forme vortex ni salpicaduras, para minimizar la posible pérdida de amoníaco de la solución.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código: TP0134	Fecha de elaboración: 08/06/2007	Versión: 02	Página 6 de 7
NITROGENO AMONICAL EN AGUA POR ELECTRODO SELECTIVO DE AMONIACO (Orion)				

Mantener la misma velocidad de agitación y una temperatura entre 18 y 25°C durante la calibración.

- Añadir 1 mL de solución de NaOH/EDTA 10 N/4.5 % para aumentar el pH por encima de 11, si no se obtiene respuesta verificar la preparación del patrón.
- Mantener el electrodo en la solución hasta obtener una lectura estable, en la pantalla del equipo en la parte inferior derecha, aparece RDY y se escucha un bip.
- Repetir el procedimiento con los patrones restantes, en orden ascendente.
- Registrar el valor de la pendiente la cual se debe encontrar entre -54 y -60 mV, en el formato FT0021.
- Leer los estándares utilizados en la calibración como muestra y registrar el valor de concentración y mV.

#### 10.3 Medición de las muestras:

- Colocar 100 mL de muestra en erlenmeyer de 125 mL.
- Enjuague el electrodo con agua desionizada, introdúzcalo en un blanco de agua desionizada, espere a que la lectura que se observa en pantalla baje a aproximadamente 0.2, enjuague e introduzca electrodo en la muestra.
- Adicionar suficiente solución de hidróxido de sodio para aumentar el pH por encima de 11, compruébelo mediante papel indicador de pH. Mezclar con un agitador magnético; limitar la velocidad de agitación para que la solución no capte burbujas de aire que quedarían atrapadas en la membrana del electrodo, que no forme vortez ni salpicaduras, para minimizar la posible pérdida de amoniaco de la solución. Mantener la misma velocidad de agitación y una temperatura entre 18 y 25°C durante la lectura del lote de muestras.
- Mantener el electrodo en la solución hasta obtener una lectura estable, en la pantalla del equipo en la parte inferior derecha, aparece RDY y se escucha un bip.
- En el caso que la muestra presente un valor inferior del límite de detección y su lectura sea lenta, se puede tomar un valor aproximado y reportarlo como menor del límite de detección, siempre y cuando este seguro mediante papel indicador que la muestra tiene un pH mayor de 11 al momento de realizar la lectura.
- Leer la concentración de N-NH<sub>3</sub>-N a partir de la curva patrón y registrar en el formato TF0021 de electrometría la concentración leída, los milivoltios y la temperatura.

NOTA: Si la concentración de la muestra es superior a 100 mgN/L, diluir la muestra.