



**CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DOÑA
JUANA**

PRESENTADO POR:

ROMAN FERNANDO SUAREZ ROBAYO

JULIÁN ANDRÉS ARIAS VALENCIA

DIRECTOR

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO - ECI
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE RHMA
NOVIEMBRE DE 2015**

Contenido

1.	OBJETIVOS	7
2.	GENERALIDADES	8
2.1	UBICACIÓN DEL RSDJ	8
2.2	INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	10
2.3	ZONAS DE DISPOSICIÓN	13
3.	ASPECTOS TÉCNICOS DEL RSDJ	14
3.1	MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LAS ZONAS DE DISPOSICIÓN	14
3.2	MÉTODO OPERATIVO DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	20
3.3	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS	27
3.3.1	Sistema de conducción y almacenamiento de lixiviados	28
3.3.2	Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL)	31
4.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	36
4.1	TEMPERATURA	38
4.2	PRECIPITACIÓN	40
4.2.1	Estación Doña Juana	40
4.2.2	Estación El Bosque	42
4.2.3	Estación La Picota	44
4.3	BRILLO SOLAR	47
4.4	VIENTO	49
4.5	RADIACIÓN SOLAR	51
4.6	HUMEDAD RELATIVA	52
4.7	EVAPORACIÓN POTENCIAL	53
4.8	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y LA EVAPORACIÓN	54
4.9	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	56
5.	CALIDAD Y CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS	57
5.1	AFORO DE RESIDUOS	57
5.2	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS	58
5.2.1	Método de cuarteo volumétrico en sitio	58
5.2.2	Método según segregación de la IPCC	60
6.	CAUDALES DE LIXIVIADOS	62
6.1	CONSOLIDADO DE AFOROS MEDIOS MENSUALES	62
6.2	CONTROL DE LIXIVIADOS	62
7.	CALIDAD DE LIXIVIADOS	64
7.1	CADMIO	65
7.2	NIQUEL	67
7.3	CROMO	69
7.4	FENOLES	71
7.5	BORO	72
7.6	MANGANESO	74
7.7	MERCURIO	75
7.8	GRASAS Y ACEITES	77
7.9	ALCALINIDAD	79
7.10	CONDUCTIVIDAD	81
7.11	PH	83
7.12	OXÍGENO DISUELTO	85

7.13	NITRITOS Y NITRATOS	87
7.14	NITRÓGENO AMONIACAL	90
7.15	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	92
7.16	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	94
7.17	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	96
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	99
8.1	AFLUENTE	99
8.2	EFLUENTE	104
8.3	REMOCIÓN	111
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
10.	BIBLIOGRAFÍA	118

Gráficas

Gráfica 1	Áreas descubiertas en el frente de disposición...	22
Gráfica 2	Temperatura mensual multianual (T°C) - Estación Doña Juana.....	38
Gráfica 3	Temperatura promedio anual multianual (T°C) - Estación Doña Juana.....	39
Gráfica 4	Precipitación mensual multianual (mm) - Estación Doña Juana.....	40
Gráfica 5	Precipitación anual multianual (mm) - Estación Doña Juana.....	41
Gráfica 6	Precipitación mensual multianual (mm) - Estación El Bosque.....	43
Gráfica 7	Precipitación anual multianual (mm) - Estación El Bosque.....	44
Gráfica 8	Precipitación mensual multianual (mm) - Estación La Picota.....	45
Gráfica 9	Precipitación anual multianual (mm) - Estación La Picota.....	46
Gráfica 10	Brillo Solar (Horas) - Estación Doña Juana.....	47
Gráfica 11	Brillo Solar mensual anual multianual promedio- Estación Doña Juana.....	48
Gráfica 12	Distribución y frecuencia de vientos - Estación Doña Juana.....	50
Gráfica 13	Comportamiento del viento (m/s) - Estación Doña Juana.....	50
Gráfica 14	Comportamiento de la radiación solar (cal/cm ²) - Estación Doña Juana.....	51
Gráfica 15	Comportamiento de la humedad relativa (5) - Estación Doña Juana.....	53
Gráfica 16	Comportamiento de la evaporación potencial (mm).....	54
Gráfica 17	Evaporación/Evapotranspiración Real Vs Precipitación.....	56
Gráfica 18	Caracterización de residuos método volumétrico..	59

Gráfica 19 Caracterización de residuos método de ajuste a IPCC.....	61
Gráfica 20 Caudales promedio mensuales de lixiviados.....	63
Gráfica 21 Concentraciones de Cadmio (Cd) en lixiviados RSDJ	66
Gráfica 22 Concentraciones de Níquel (Ni) en lixiviados RSDJ	68
Gráfica 23 Concentraciones de Cromo (Cr) en lixiviados RSDJ	70
Gráfica 24 Concentraciones de Fenoles en lixiviados RSDJ...	72
Gráfica 25 Concentraciones de Boro (B) en lixiviados RSDJ..	73
Gráfica 26 Concentraciones de Manganeso (Mn) en lixiviados RSDJ.....	75
Gráfica 27 Concentraciones de Mercurio (Hg) en lixiviados RSDJ.....	77
Gráfica 28 Concentraciones de Grasas (FOG) en lixiviados RSDJ	79
Gráfica 29 Concentraciones de Alcalinidad en lixiviados RSDJ	81
Gráfica 30 Niveles de conductividad en lixiviados RSDJ.....	83
Gráfica 31 Unidades de pH en lixiviados RSDJ.....	85
Gráfica 32 Niveles de Oxígeno Disuelto (OD) en lixiviados RSDJ.....	87
Gráfica 33 Concentraciones de Nitritos (NO ₂ ⁻) en lixiviados RSDJ.....	88
Gráfica 34 Concentraciones de Nitratos (NO ₃ ⁻) en lixiviados RSDJ.....	90
Gráfica 35 Concentraciones de Nitrógeno Amoniacal (NH ₃) en lixiviados RSDJ.....	92
Gráfica 36 Concentraciones de DBO en lixiviados RSDJ.....	94
Gráfica 37 Concentraciones de DQO en lixiviados RSDJ.....	96
Gráfica 38 Concentraciones de SST en lixiviados RSDJ.....	98

Tablas

Tabla 1 Coordenadas extremas del predio RSDJ.....	8
Tabla 2 Zonas rellenadas en el RSDJ.....	13
Tabla 3 Calidad del vertimiento al Tunjuelo - RSDJ.....	32
Tabla 4 Estaciones para el análisis climático del proyecto.	36
Tabla 5 Comportamiento de la temperatura (T°C) - Estación Doña Juana.....	38
Tabla 6 Promedios anuales de temperatura (T°C) - Estación Doña Juana.....	39
Tabla 7 Comportamiento de la precipitación (mm) - Estación Doña Juana.....	40
Tabla 8 Totales anuales de precipitación (mm) - Estación Doña Juana.....	41
Tabla 9 Comportamiento de la precipitación (mm) - Estación El Bosque.....	42

Tabla 10 Totales anuales de precipitación (mm) - Estación El Bosque.....	43
Tabla 11 Comportamiento de la precipitación (mm) - Estación La Picota.....	44
Tabla 12 Totales anuales de precipitación (mm) - Estación La Picota.....	45
Tabla 13 Resumen del comportamiento de la precipitación....	46
Tabla 14 Brillo Solar (horas) - Estación Doña Juana.....	47
Tabla 15 Comportamiento del viento (m/s) - Estación Doña Juana.....	50
Tabla 16 Comportamiento de la radiación solar (cal/cm ²) - Estación Doña Juana.....	51
Tabla 17 Comportamiento de la humedad relativa (5) - Estación Doña Juana.....	52
Tabla 18 Comportamiento de la evaporación (mm) - Estación Doña Juana.....	54
Tabla 19 Evaporación/Evapotranspiración Real.....	55
Tabla 20 Tasa de ingreso mensual promedio al RSDJ.....	57
Tabla 21 Aforo y caracterización volumétrica en porcentaje de residuos.....	58
Tabla 22 Caracterización volumétrica de residuos plásticos.....	59
Tabla 23 Caracterización de residuos ajustada a la IPCC....	60
Tabla 24 Caudales promedio de lixiviados.....	62
Tabla 25 Valores de Cadmio en el lixiviado (Cd).....	66
Tabla 26 Valores de Níquel en el lixiviado (Ni).....	68
Tabla 27 Valores de Cromo en el lixiviado (Cr).....	70
Tabla 28 Valores de Fenoles en el lixiviado.....	71
Tabla 29 Valores de Boro en el lixiviado (B).....	73
Tabla 30 Valores de Manganeso en el lixiviado (Mn).....	74
Tabla 31 Valores de Mercurio en el lixiviado (Hg).....	76
Tabla 32 Valores de Grasas en el lixiviado (FOG).....	78
Tabla 33 Valores de Alcalinidad en el lixiviado.....	80
Tabla 34 Valores de Conductividad en el lixiviado.....	82
Tabla 35 Valores de pH en el lixiviado.....	84
Tabla 36 Valores de Oxígeno Disuelto en el lixiviado (OD) ..	86
Tabla 37 Valores de Nitritos en el lixiviado (NO ₂ -).....	88
Tabla 38 Valores de Nitratos en el lixiviado (NO ₃ -).....	89
Tabla 39 Valores de Nitrógeno Amoniacal en el lixiviado (NH ₃ y NH ₄).....	91
Tabla 40 Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el lixiviado (DBO).....	93
Tabla 41 Valores de Demanda Química de Oxígeno en el lixiviado (DQO).....	95
Tabla 42 Valores de Sólidos Suspendidos Totales en el lixiviado (DQO).....	97
Tabla 43 Resumen de resultados.....	99

Ilustraciones

Ilustración 1 Esquema de limpieza, desmonte y descapote de zonas a intervenir.....	14
Ilustración 2 Esquema de instalación de drenajes de fondo para evacuación de lixiviados.....	16
Ilustración 3 Esquema del sistema de almacenamiento y conducción de lixiviados.....	18
Ilustración 4 Instalación de piezómetros para control geotécnico.....	23
Ilustración 5 Trincheras drenantes.....	24
Ilustración 6 Trincheras drenantes.....	25
Ilustración 7 Esquema del sistema de almacenamiento y conducción de lixiviados.....	30
Ilustración 8 Esquema Del sistema de almacenamiento y conducción de lixiviados.....	35
Ilustración 9 Ubicación de estaciones climatológicas.....	37
Ilustración 10 Rosa de vientos para la estación Doña Juana.....	49

Fotografías

Fotografía 1 Límites y Áreas activas del RSDJ.....	9
Fotografía 2 Portería y básculas de pesaje.....	10
Fotografía 3 Campamento de operaciones.....	10
Fotografía 4 Estaciones meteorológicas y pluviométricas....	11
Fotografía 5 Pondajes II.....	11
Fotografía 6 Planta Biogás RSDJ.....	12
Fotografía 7 Planta de Tratamiento de Lixiviados.....	12
Fotografía 8 Excavación de terrazas en el RSDJ.....	15
Fotografía 9 Instalación de impermeabilización de la celda.....	17
Fotografía 10 Capa de fondo en una celda de residuos sólidos.....	19
Fotografía 11 Disposición de residuos en el frente de descargue.....	20
Fotografía 12 Disposición de residuos en el frente de descargue.....	21
Fotografía 13 Cierre de la celda.....	26
Fotografía 14 Estado del Pondaje 7.....	28
Fotografía 15 Sistema SBR.....	29
Fotografía 16 Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL)....	31
Fotografía 17 Formación de neblina.....	52
Fotografía 18 Sistemas ultrasónicos para aforo de caudales.....	63

1. OBJETIVOS

- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lixiviados que se generan en el relleno sanitario Doña Juana de la ciudad de Bogotá.
- Analizar las variables climáticas, operativas y constructivas que inciden en la calidad y cantidad de lixiviados que se generan en el relleno sanitario Doña Juana.
- Determinar la relación entre la composición de los materiales dispuestos en las celdas del relleno sanitario y la calidad y cantidad de los lixiviados.
- Cuantificar caudal, cargas y concentraciones del afluente al sistema de tratamiento de lixiviados de Doña Juana.
- Evaluar las características del efluente del sistema de tratamiento de lixiviados de Doña Juana.
- Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de lixiviados de Doña Juana.

2. GENERALIDADES¹

El Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ) de la ciudad de Bogotá es en la actualidad el único sitio autorizado para la disposición final de los residuos sólidos urbanos de la capital Colombiana, así como de siete municipios cundinamarqueses que se encuentran dentro de su área de servicio: Une, Ubaque, Cáqueza, Fosca, Chipaque, Gutiérrez y Fómeque.

Los residuos son transportados hasta allí por los concesionarios u operadores autorizados para la prestación del servicio de recolección, barrido y limpieza de la ciudad y los municipios; las autorizaciones de disposición en el sitio se dan mediante contratos suscritos con la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) como directa encargada por el gobierno distrital para tal fin.

2.1 UBICACIÓN DEL RSDJ

El RSDJ está ubicado en las localidades de Ciudad Bolívar y Usme al sur oriente de la ciudad de Bogotá D.C. El predio limita hacia el oriente con la Avenida Boyacá y el río Tunjuelo; al occidente con la vía rural a Pasquilla y predios de particulares de Mochuelo Bajo y Alto; al sur con la Quebrada Aguas Claras; y al norte con predios de particulares de Mochuelo Bajo. La mayor parte de los predios de disposición activa de residuos sólidos se encuentran en áreas de jurisdicción de la localidad de Ciudad Bolívar, entre las Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) 63-Monteblanco y 64-Mochuelo. Geográficamente, el RSDJ está ubicado en las coordenadas señaladas en la Tabla 1, que establecen los extremos de los límites del predio en las direcciones norte, sur, este y oeste.

Tabla 1 Coordenadas extremas del predio RSDJ

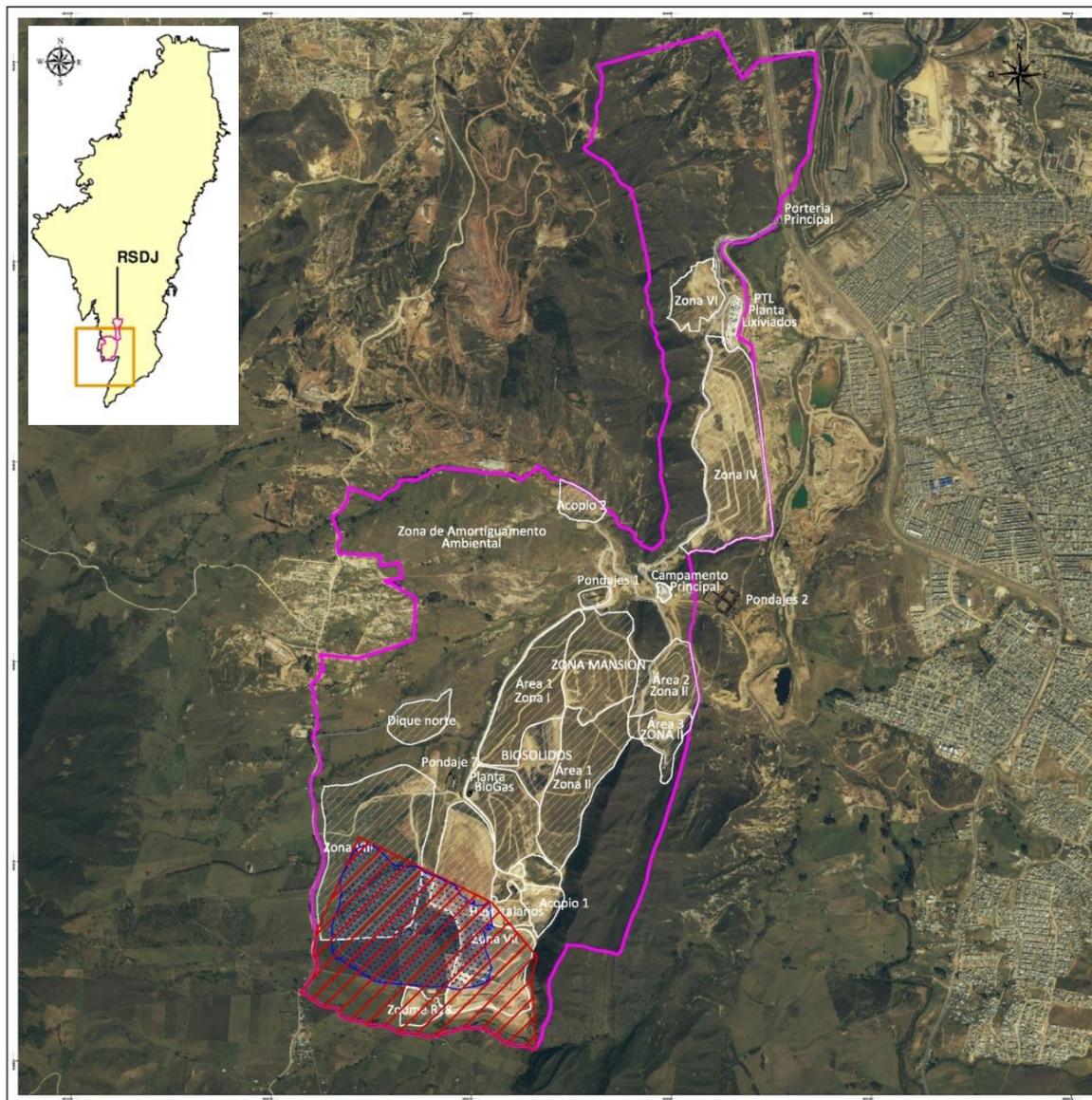
PUNTO	DIRECCIÓN	LATITUD	LONGITUD
1	Norte	4° 32' 03.23"	74° 07' 46.08"
2	Sur	4° 29' 17.68"	74° 08' 15.92"
3	Este	4° 30' 41.19"	74° 07' 37.39"
4	Oeste	4° 30' 21.84"	74° 08' 50.47"

Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

¹ Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Fase 2 (UAESP)

En la Fotografía 1 se delimita el predio del RSDJ con respecto al contorno general de la ciudad de Bogotá D.C., a partir de una imagen satelital posicionada con respecto a la avenida Boyacá, la cual se constituye como vía de acceso principal al sitio. En ésta última, se delimitan las coordenadas geográficas establecidas en la tabla anterior, las áreas rellenadas, los cuerpos de agua principales, los asentamientos cercanos y el área de Fase 2, objeto del actual EIA para licenciamiento. Estos mismos componentes se evidencian en la Figura 1-3 donde se presenta un plano de localización general del RSDJ.

Fotografía 1 Límites y Áreas activas del RSDJ



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

2.2 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

El predio del RSDJ actualmente cuenta con una infraestructura, que además de prestar un servicio para las zonas y actividades ya licenciadas, será utilizada para los desarrollos futuros que se establezcan para dar continuidad a la prestación del servicio de disposición de residuos sólidos.

- Portería principal sobre Autopista al Llano y básculas de pesaje de vehículos (una para el ingreso de los camiones y otra para la salida de los mismos).

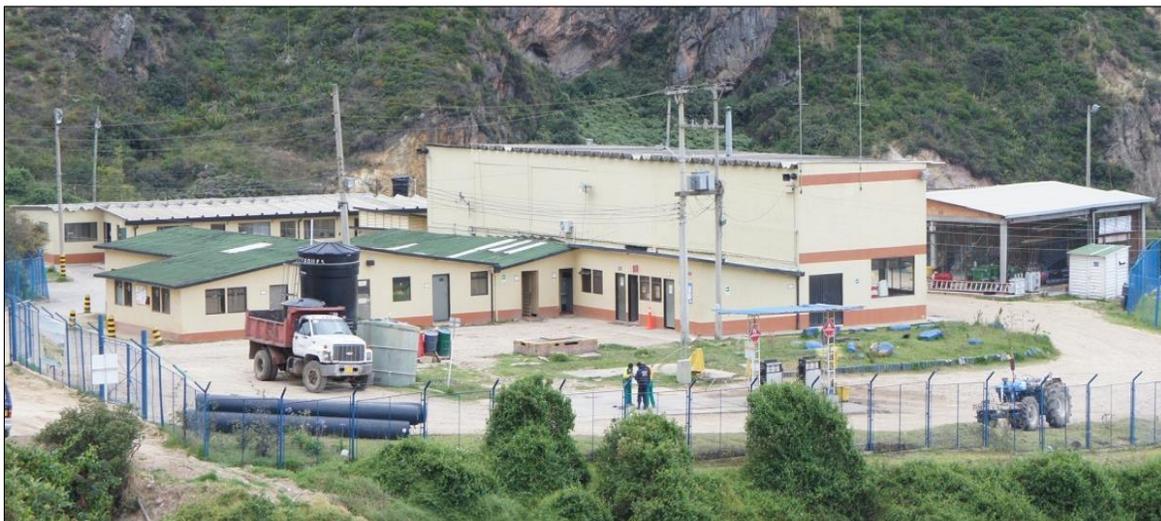
Fotografía 2 Portería y básculas de pesaje



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

- Campamento principal de oficinas y talleres para maquinaria y equipo.

Fotografía 3 Campamento de operaciones



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

- Campamento principal de oficinas y talleres para maquinaria y equipo.

Fotografía 4 Estaciones meteorológicas y pluviométricas



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

- Campamento principal de oficinas y talleres para maquinaria y equipo.

Fotografía 5 Pondajes II



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

- Planta de extracción, quemado y aprovechamiento de Biogás.

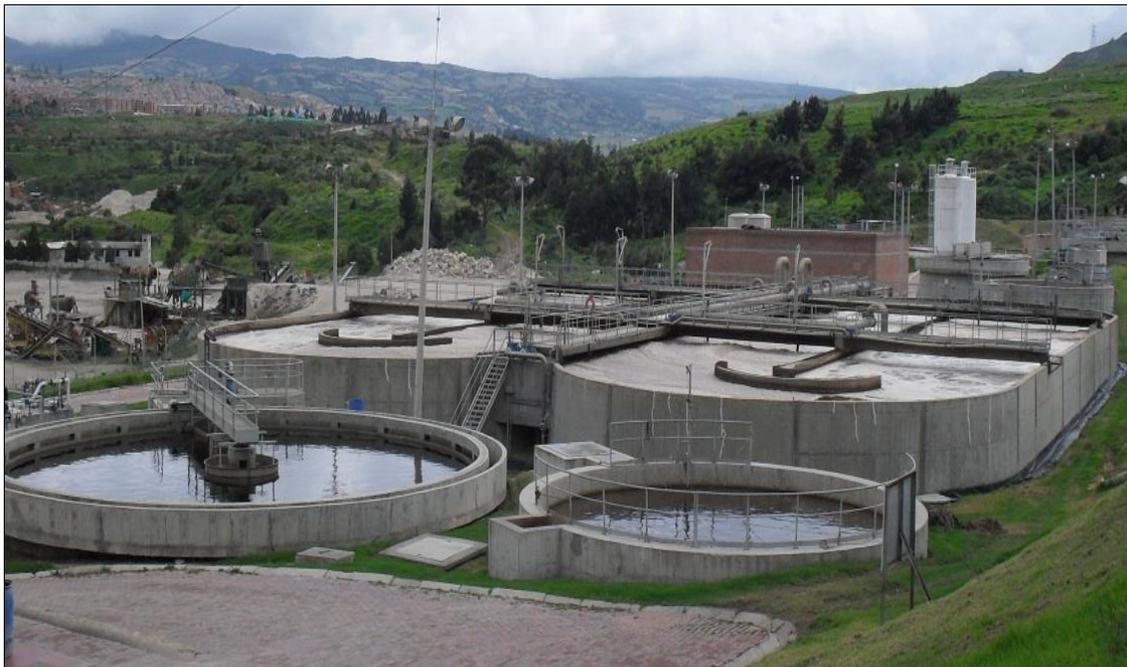
Fotografía 6 Planta Biogás RSDJ



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

- Planta de tratamiento de lixiviados.

Fotografía 7 Planta de Tratamiento de Lixiviados



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

2.3 ZONAS DE DISPOSICIÓN

En la tabla 2 se presenta la relación de áreas ocupadas y operadas históricamente en el RSDJ

Tabla 2 Zonas rellenadas en el RSDJ

ZONA	PERIODO DE OPERACIÓN	VIDA ÚTIL (AÑOS)	ÁREA (HA)	CANTIDAD DE RESIDUOS (TON)	OBSERVACIONES
Zona Antigua	Nov/88 - Sep/93	5	80	7.000.000	Actualmente empradizada
Zona I	Sep/93 - Feb/95	1,5			
Zona Mansión	Feb/95 - Oct/95	0,8	10	1.000.000	Actualmente empradizada y con sistema forzado de extracción de gas utilizado anteriormente como estudio piloto
Zona II - Área I	Oct/95 - Sep/97	2	25	3.000.000	Zona del derrumbe del 27 de septiembre de 1997, restaurada después del evento
Zona II - Área II	Oct/98 - Jul/00	N.A	6.1	Zona del Derrumbe	Actualmente empradizada, con sistema Forzado de Extracción de Gas. Zona de disposición de residuos provenientes del derrumbe
Zona IV	Sep/97 - Ene/99	1,4	19	2.100.000	Empradizada, utilizada como zona de emergencia durante el derrumbe
Zona VI	N.A	N.A	3.2	N.A	Actualmente adecuada como zona de emergencia y de disposición de lodos
Zona VII	Ene/99 - Dic/02	3	40	6.000.000	Cerrada y empradizada
Zona VIII	Mar/02 - Sep/10	6,2	41	13.040.240	En proceso de cierre y con sistema de captación activa de Biogás
Zona II - Área 3	Sep/08 - May/09	1	3.3	515.000	Actualmente empradizada y con sistema forzado de extracción de gas
Biosólidos	Sep/10 - Abr/11	0.7	9.7	1.200.000	En proceso de cierre y con sistema de captación activa de Biogás
Celda Hospitalarios	Jul/98 - A la fecha	18	4	36.000	En Operación
Fase 1 de Optimización	Abr/11 - Dic/2014	3.7	35	7.600.000	Actualmente en proceso de cierre y clausura
Fase 1 de Optimización	Ene/2015 - A la fecha	3.7	35	16.000.000	En Operación

Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

3. ASPECTOS TÉCNICOS DEL RSDJ

3.1 MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LAS ZONAS DE DISPOSICIÓN

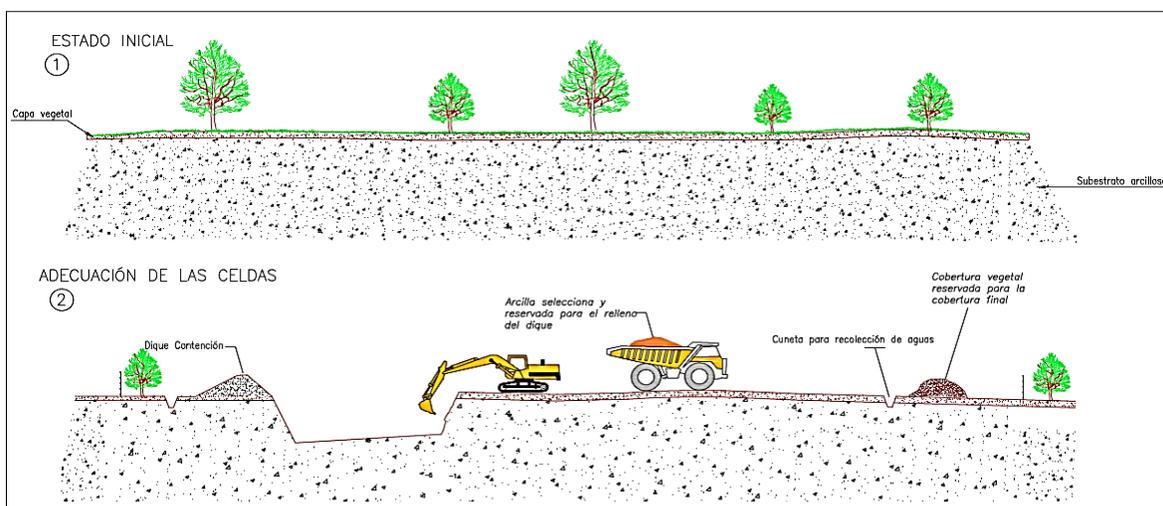
Limpieza, Desmonte y Descapote del Terreno:

La limpieza y desmonte del terreno involucra la remoción de estructuras existentes y de material vegetal así como la excavación selectiva de tierra negra. El descapote es la remoción de la capa superficial del terreno natural en un espesor que puede variar entre 0,20 y 0,50 metros a partir del nivel actual del terreno hasta eliminar la tierra vegetal, la materia orgánica y demás material indeseable depositado en el suelo; la actividad de descapote no se limita a la remoción de la capa superficial, sino que incluye la extracción de todas las raíces y demás objetos que presenten inconvenientes para la ejecución de obras.

Adicionalmente, se realizan los retiros de postes y líneas de corriente que cruzan la zona de trabajos para adecuación del sitio futuro de disposición de residuos, facilitando su posterior traslado hacia zonas donde no se vayan a realizar trabajos.

Las actividades de desmonte y descapote se realizan progresivamente para las terrazas que se van adecuando para continuar con el proceso de disposición; los materiales retirados son acopiados en lugares destinados para tal fin. La limpieza, desmonte y descapote del terreno se esquematizan en la Ilustración 1.

Ilustración 1 Esquema de limpieza, desmonte y descapote de zonas a intervenir



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Excavación de Terrazas:

La excavación de las terrazas consiste en la remoción de material, hasta las cotas de diseño establecidas, para la conformación geométrica de las mismas, según las diferentes configuraciones de las zonas futuras de disposición de residuos. Las pendientes del fondo de las terrazas y de los taludes de conformación obedecen a criterios de estabilidad y transporte de lixiviados según se plantean por los análisis geotécnicos de cada una.

Adicionalmente, el material excavado que cumple con los requisitos geotécnicos, es utilizado posteriormente para la construcción de diques de contención, la re-conformación de lagunas de almacenamiento y el mantenimiento de las vías de acceso; la excavación y conformación de las terrazas se realiza en forma secuencial, en coordinación con el avance en la disposición de residuos.

En la fotografía 8 se evidencia el resultado de la excavación de terrazas adelantado para una nueva zona de disposición de residuos en el RSDJ.

Fotografía 8 Excavación de terrazas en el RSDJ



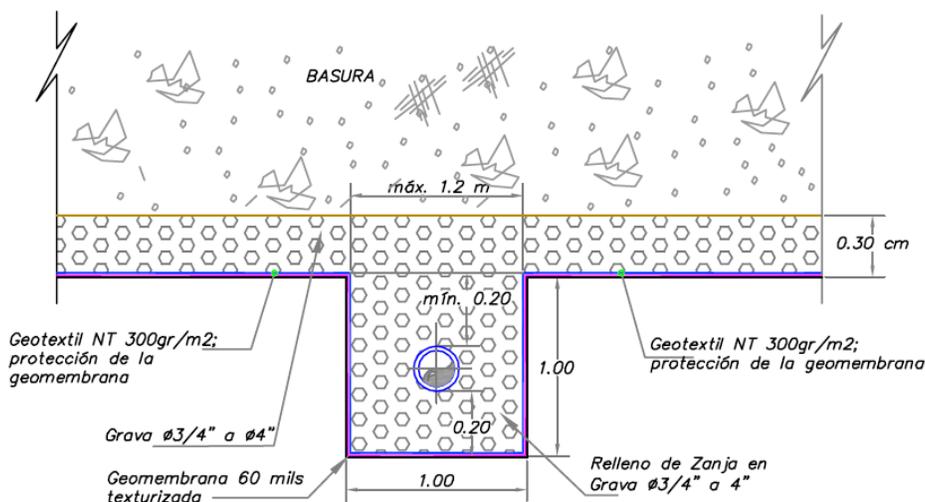
Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Drenajes de Fondo e Impermeabilización de Terrazas

El sistema de drenaje para la evacuación del lixiviado consta de líneas de captación principal a las cuales les entregan líneas secundarias de tipo espina de pescado. Para esto se realizan zanjas sobre las terrazas ya conformadas, para la instalación de la tubería. La ilustración 2 muestra el resultado de la excavación de las zanjas para la instalación de drenes de fondo típico para las zonas de disposición de residuos en el RSDJ.

Ilustración 2 Esquema de instalación de drenajes de fondo para evacuación de lixiviados.

DETALLE DE LA CAPA DE DRENAJE DE FONDO PARA TUBERIAS PERFORADAS



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

El sistema de impermeabilización de terrazas consiste en el reemplazo del material de fondo que no cumpla con las especificaciones técnicas de permeabilidad establecidas en el diseño, por material arcilloso que sí lo cumpla (Permeabilidad $<1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$). También incluye la instalación de la geomembrana (60 mills texturizada) y el geotextil no tejido de protección, para asegurar el aislamiento de los residuos sólidos del terreno natural, al igual que impedir el flujo de lixiviados hacia las capas subyacentes. El material drenante se extiende únicamente al nivel de fondo de las terrazas, y el material impermeable incluirá el fondo de la terraza y los taludes. En la Fotografía 9 se detalla la impermeabilización de las terrazas de las zonas de relleno en el RSDJ.

Fotografía 9 Instalación de impermeabilización de la celda

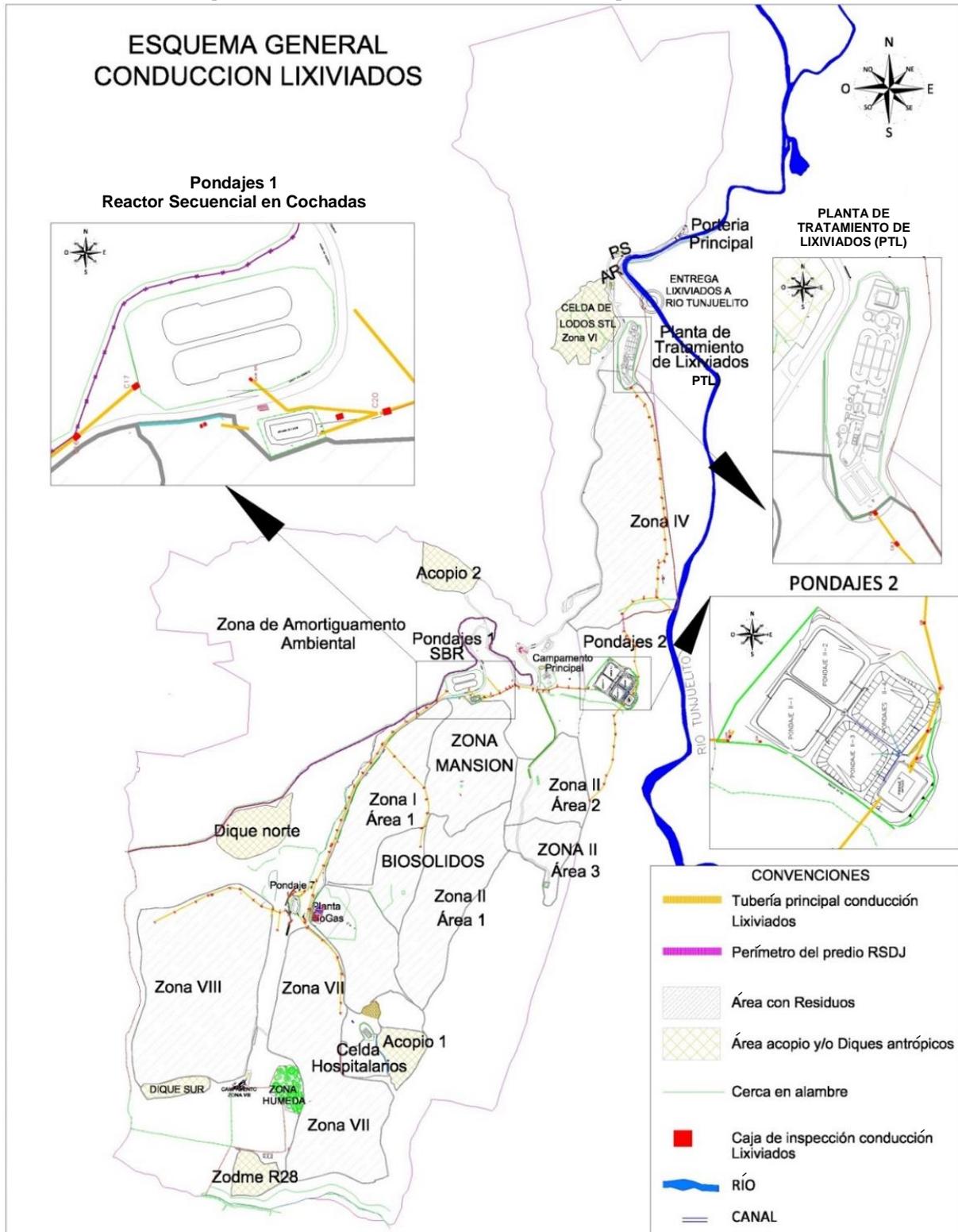
Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Sistema de Recolección y Transporte de Lixiviados

El sistema de recolección principal capta lixiviados principalmente de las zonas transversales de fondo de las celdas de disposición, así como de entregas parciales de las zonas de disposición adyacentes a las áreas de trabajo, brotes y eventuales zonas donde se extrae lixiviado por sistema de bombeo. Para esto, se establecen varias líneas principales de conducción de 14", 12" y 10" de diámetro.

El sistema de drenes secundarios es de tipo espina de pescado en HDPE (Polietileno de alta densidad), con diámetros de 8" y pendientes dadas por la resultante de la pendiente de fondo de la terraza en cada tramo de su recorrido. Los lixiviados evacuados son transportados hasta la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL), con descarga posterior hacia el río Tunjuelo. En la ilustración 3 se esquematiza el sistema de conducción de lixiviado del RSDJ.

Ilustración 3 Esquema del sistema de almacenamiento y conducción de lixiviados



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Capa Drenante

La capa drenante consta de la implementación de material granular directamente sobre el geotextil, de manera que se provea un plano de escurrimiento para el lixiviado que separa el horizonte de residuos del fondo, para acelerar la captación en el fondo y la llegada del lixiviado a los colectores inferiores. La capa drenante para las terrazas de fondo del RSDJ está compuesta principalmente de cantos rodados y grava gruesa de río con diámetros comprendidos entre la 1/2" y 4", prefiriéndose los diámetros mayores por su favorabilidad en la creación de espacios de percolación del lixiviado (Fase líquida), mientras que a su vez se obtiene como beneficio la protección de las capas de materiales geo-sintéticos mejorando considerablemente la impermeabilización del sistema.

Fotografía 10 Capa de fondo en una celda de residuos sólidos



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

3.2 MÉTODO OPERATIVO DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La operación comprende el periodo a partir del cual inicia la recepción y descargue de residuos en el frente de trabajo, hasta su cierre. Progresivamente se conforman niveles de residuos, aproximadamente de igual altura, para conformar las terrazas. Dentro de los procesos operativos de disposición de residuos en las zonas activas, se realizan las siguientes actividades.

Disposición de residuos, conformación de niveles y taludes operativos

El proceso de disposición comienza con la llegada de los camiones a la zona de descarga. Estos realizan el descargue sobre el patio de volteo, estacionándose en posición de reversa con respecto al frente de descargue y siguiendo las instrucciones del auxiliar de patio. La disgregación y compactación de los residuos se efectúa con el equipo dispuesto para tal fin. La distancia de arrastre de la maquinaria sobre los residuos (esparcida a lo largo del frente de descargue) está entre 65 y 100 m, con el fin de ampliar la vida útil de los corredores viales. Adicionalmente, los residuos se compactan en capas con espesores operativos mínimos hasta alcanzar la altura de diseño del nivel a conformar, de esta manera no se afecta la eficiencia de los compactadores. Durante la operación, se adelanta un control topográfico estricto de las cotas alcanzadas y del área de disposición diaria. Una vez alcanzado el volumen disponible en cada nivel, se procede al inicio de la construcción del nivel inmediatamente superior.

Fotografía 11 Disposición de residuos en el frente de descargue



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Cobertura temporal

Conforme se disponen los residuos, se instala la cobertura temporal luego de compactar los residuos; esta consiste en una capa de 0,40 m de material arcilloso o un polietileno de baja densidad. La cobertura se retira cuando se conforma el nivel de residuos superior, tal que se mantenga un flujo libre de lixiviados en sentido vertical. La cobertura es posible utilizarla varias veces para una misma terraza, siempre y cuando el material se encuentre en buenas condiciones. En la fotografía 12 se muestra la cobertura temporal utilizada actualmente para las terrazas de disposición de las zonas operativas del RSDJ; en esta imagen se aprecia tanto cobertura de arcilla como cobertura de polietileno.

Fotografía 12 Disposición de residuos en el frente de descargue

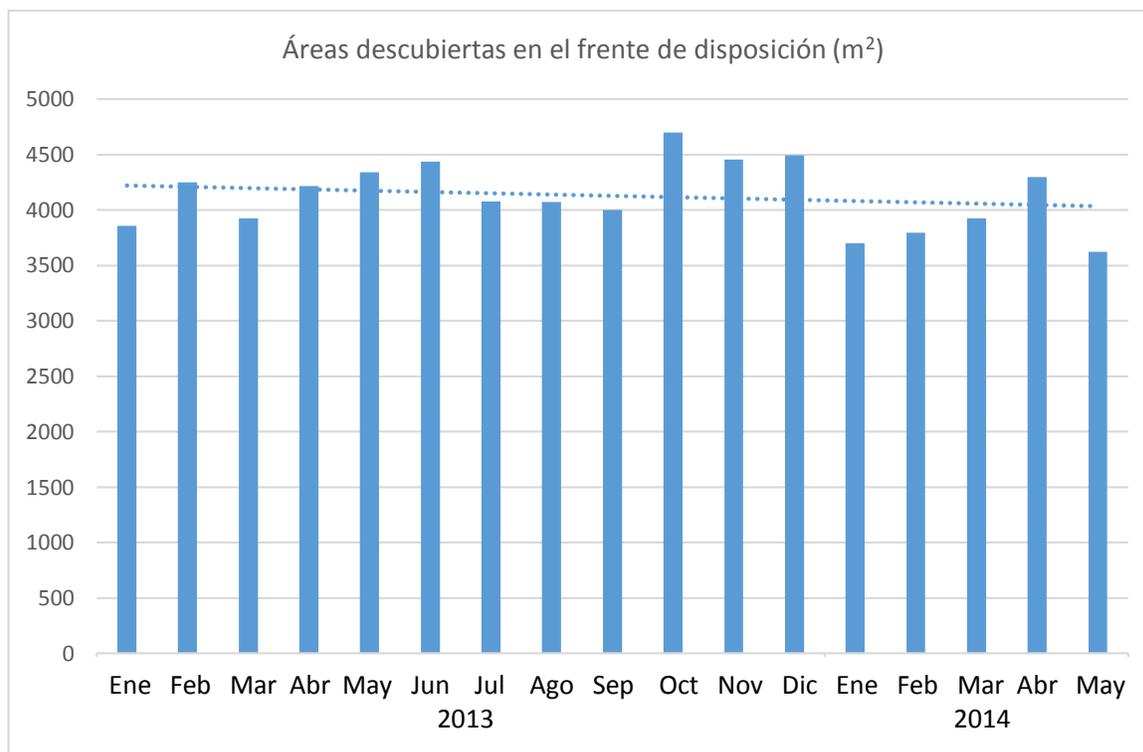


Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Áreas descubiertas

Las áreas descubiertas de residuos se constituyen como una de las principales causantes de infiltración de aguas lluvias y escorrentía que incrementan la producción de lixiviados por unidad de área en el fondo de la celda. A continuación se presenta el análisis del consolidado histórico de los años 2013 y 2014 basado en los promedios diarios mensuales de áreas descubiertas monitoreadas por el actual operador del sitio:

Gráfica 1 Áreas descubiertas en el frente de disposición



Fuente: Los autores. 2015

Construcción de chimeneas de evacuación de gases

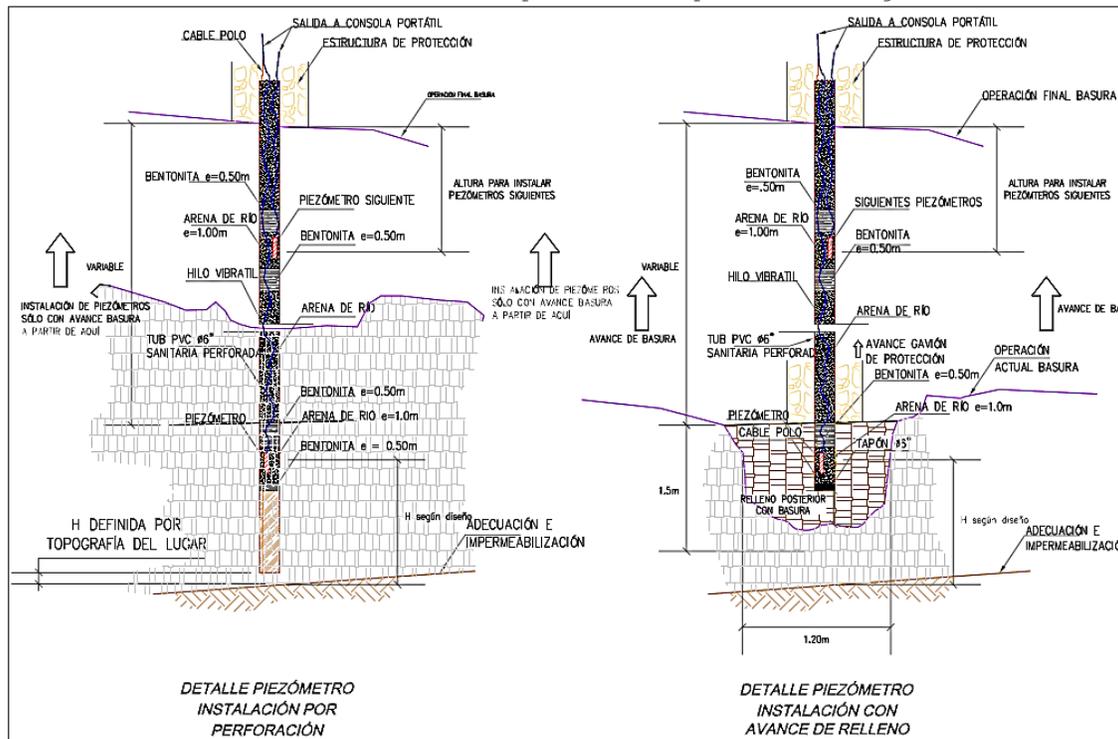
El sistema de evacuación de gases contempla la instalación de chimeneas en gavión construidas desde la base del relleno a partir de la capa drenante, las cuales se irán levantando simultáneamente con los niveles de residuos que se vayan conformando. Adicionalmente, contempla la prolongación de las chimeneas existentes de zonas adyacentes clausuradas o en proceso de clausura que se vean afectadas por el realce u operación de las celdas activas.

Todas las chimeneas de gavión tienen el mismo esquema constructivo, una columna cuadrada de 1 m² de sección compuesta por rajón de hasta 10" embebiendo una tubería de HDPE de 200 mm perforada y contenida en una malla eslabonada calibre 13 de 2 m de altura con aberturas de 10x10 cm. Estas chimeneas se construyen hasta llegar a un 90% de la altura total de los residuos. A partir de este punto, se prolongan con tuberías ciegas de 200 mm a través de la cobertura final y sobresaliendo de esta cerca de 1 m. El remate de las chimeneas se realiza empleando dos codos de 90° de PVC.

Instalación de piezómetros para monitoreo geotécnico

De forma paralela al avance de la disposición en la zona de trabajos y operación, y siguiendo las estipulaciones de los diseños, se instala la red de piezómetros para el control de las presiones internas del relleno. La ilustración 4 muestra el método de instalación de estos elementos de control geotécnico.

Ilustración 4 Instalación de piezómetros para control geotécnico

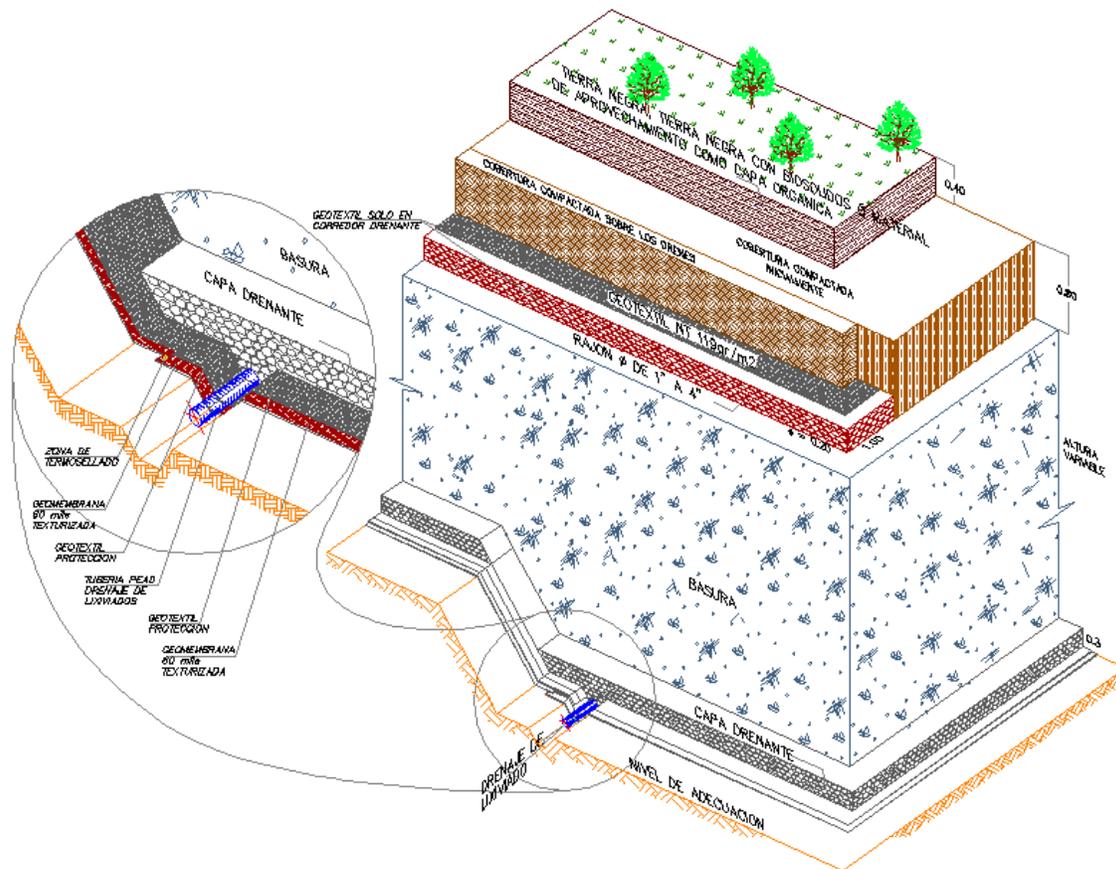


Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Trincheras drenantes

Las trincheras drenantes constituyen un sistemas complementario para la evacuación de lixiviados y gases, que se conecta a la red de chimeneas. El sistema está compuesto por una serie de zanjas excavadas sobre los residuos dispuestos a diferentes niveles de llenado y rellenas con rajón, en las cuales se aprovechan las pendientes de los planos de conformación y de esta manera se conduce el lixiviado y los gases hacia las estructuras de las chimeneas. La ilustración 5 esquematiza el proceso de proyección de trincheras drenantes empleado típicamente en rellenos sanitarios y celdas de disposición de residuos complejas, de alta tasa de recepción y elevada altura de conformación de celda.

Ilustración 6 Trincheras drenantes



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Sistema de manejo de aguas lluvias

A medida que se conformen durante la etapa de operación los taludes de disposición de residuos, bermas y vías de acceso temporal, se hace uso de materiales de soporte sobre las canaletas de lixiviado, dejando una pendiente de escurrimiento para conducir el agua lluvia hacia la berma o vía. En sitios donde se presenten depresiones o contrapendiente, se adecuan zonas de almacenamiento o pozos de captación para evacuar posteriormente el agua lluvia.

Una vez constituido el domo de llenado, se construye una red de cunetas y sistemas de desagüe superficial que descargue hacia los canales perimetrales y finalmente hacia las quebradas presentes en el área de desarrollo del proyecto.

Fotografía 13 Cierre de la celda

Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Clausura y Post-clausura

Una vez se hayan dispuesto los residuos en el espacio definido por la celda, se hayan conformado las capas finales de cobertura, se hayan construido los drenes de cierre, las redes de brotes de lixiviados y manejo de aguas lluvias, el lugar es considerado cerrado. No obstante lo anterior, los operadores del sitio y responsables del proyecto deben realizar labores de control topográfico y seguimiento de producción de gas y lixiviado, pues aunque no se disponga material dentro del relleno, la masa continúa produciendo estos subproductos, además de presentar asentamientos importantes. Dentro de las actividades de clausura y post-clausura se destacan las siguientes actividades:

- Instalación de puntos superficiales de control topográfico:

Sobre el domo clausurado se instalan puntos de control topográfico, sobre los cuales se toman medidas periódicas de coordenadas planas y altimetría con respecto a un punto fijo fuera del domo. El análisis de estos datos, da a conocer el comportamiento del relleno clausurado en términos de su asentamiento.

- Monitoreo de la red de piezómetros e inclinómetros instalada:

Periódicamente se toma el registro de las medidas de presión en cada uno de los piezómetros, así como los desplazamientos laterales en los inclinómetros instalados en el relleno. El análisis puntual e histórico de estos datos indica al operador las condiciones de presión de poros a la que se encuentra sometida la masa de residuos dispuestos, lo cual a su vez es indicativo de las condiciones de drenaje interno, tasa de asentamiento y grado de desplazamiento lateral. Todos los registros anteriores son útiles para la prevención, seguimiento y control de los movimientos en masa.

- Empradización y Recuperación Paisajística:

El proceso de empradización y recuperación paisajística pretende mitigar el impacto visual de las zonas rellenas sobre el medio ambiente circundante, a su vez permite reducir la cantidad de precipitación que potencialmente pueda llegar a infiltrarse en la masa de residuos, controla la erosión y facilita el manejo de las aguas reduciendo la cantidad y arrastre de sedimentos hacia estructuras y sistemas de control y conducción de las aguas lluvias.

3.3 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

El tratamiento de los lixiviados generados por el proceso operativo del RSDJ, era anteriormente regido y controlado por la Resolución 166 de 2008 por la cual se expidió el permiso de vertimientos; sin embargo, en el año 2014, y como consecuencia de un proceso sancionatorio preventivo aplicado por la CAR, este permiso fue caducado, dejando al sitio de disposición final con la necesidad de realizar el trámite de obtención de un nuevo permiso de vertimiento sujeto a nuevas mejoras y optimizaciones al sistema de tratamiento de los lixiviados previa descarga al Rio Tunjuelo. Para dar cumplimiento, se encuentra en marcha una serie de acciones de choque para el mejoramiento del sistema de tratamiento, almacenamiento, pondajes y PTL.

3.3.1 Sistema de conducción y almacenamiento de lixiviados

La red de recolección de lixiviados está concebida de manera que se capten los caudales generados en todas las zonas rellenadas, iniciando en el extremo sur del relleno en las zonas VII y VIII, Fase 1 y Fase 2, finalizando en su conducción hacia la PTL para su posterior tratamiento y descarga final en el Río Tunjuelo. La captación del lixiviado se realiza por medio del drenaje de fondo de cada terraza, que conduce a las cajas de salida y de allí a los pondajes. Estos pondajes permiten regular los caudales operativos de lixiviado, evitando superar la capacidad hidráulica de las tuberías y generar reboses hacia el entorno.

Esto último es de gran importancia, específicamente en época de lluvias, en la cual aumenta la producción de lixiviado en el relleno. De acuerdo con los tiempos de retención de los pondajes, estos cumplen la función de remover parte de la carga orgánica y sólidos suspendidos presentes en los lixiviados.

Existen cinco estructuras principales para el almacenamiento de lixiviado en el área del relleno.

En primer lugar se encuentra el Pondaje 7, diseñado para recolectar el lixiviado maduro proveniente de las zonas VII y VIII, al igual que el lixiviado joven del proyecto Fase 1 y Fase 2. En la actualidad, el pondaje cuenta con una capacidad de 3.845 m³.

Fotografía 14 Estado del Pondaje 7



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

En segundo lugar están los Pondajes 1, dos unidades de almacenamiento iguales adecuadas para instalar un sistema de tratamiento biológico tipo Reactor Secuencial en Cochadas, (SBR por sus siglas en inglés), el cual consta de un sistema de aireación por sopladores diseñado para remover hasta un 50% de concentración de DBO₅ y 30% de Nitrógeno total (STL S.A E.S.P, 2009).

Fotografía 15 Sistema SBR



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

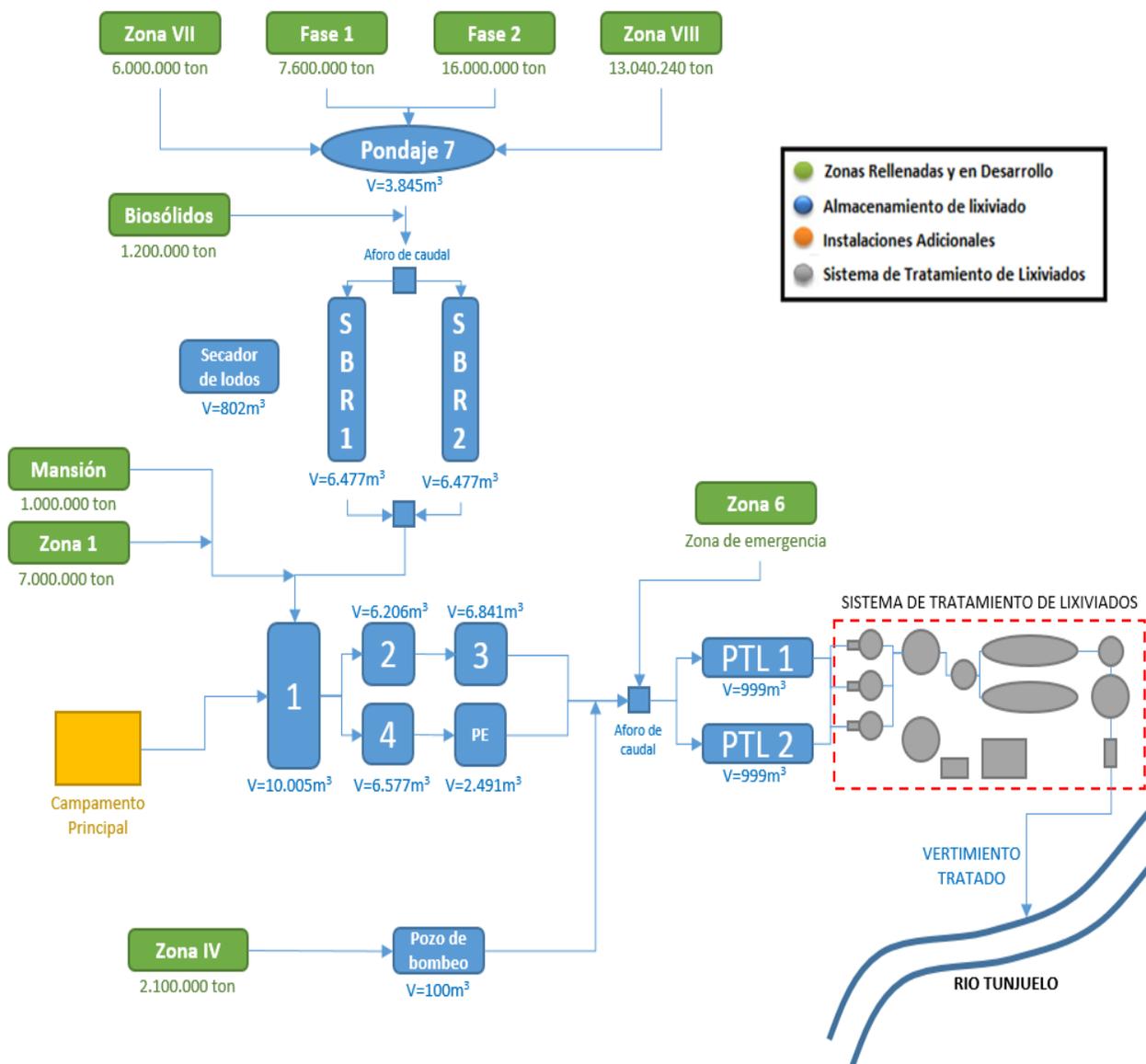
El SBR se encuentra aguas abajo del Pondaje 7 y cada SBR cuenta con una capacidad de almacenamiento de 6.477m³. Adicionalmente, el sistema cuenta con un pondaje adyacente como secador de lodos con una capacidad de 802m³.; actualmente, esta estructura está habilitada para ser utilizada en el almacenamiento de lixiviados en épocas donde la producción del mismo es muy alta. En la Fotografía 15 se presentan las dos unidades del SBR y el secador de lodos. Estas unidades constituyen uno de los tantos elementos pertenecientes al plan de choque ejecutado años atrás. El sistema SBR se encuentra funcionando actualmente con eficiencias en remoción de carga orgánica de diseño.

En tercer lugar, aguas abajo del SBR, se encuentra la serie de Pondajes 2, constituidos por cuatro (4) lagunas con capacidad de 10.005, 6.206, 6.841 y 6.577 m³, y un pondaje antiguo con capacidad de 2.491 m³ utilizado para emergencias en caso de que se colmaten las primeras cuatro lagunas (CGR Doña Juana S.A E.S.P, 2011). Este sistema recibe el lixiviado proveniente del sistema SBR al igual que la descarga de la Zona II, Zona I y Mansión.

En cuarto lugar, se encuentra la estación de bombeo de la Zona IV, en la cual el lixiviado es bombeado a una caja de salida denominada "Tanque A", que conecta con la línea de conducción principal. La estructura desde la cual es bombeado el lixiviado cuenta con una capacidad de almacenamiento de 100 m³.

Finalmente, se encuentran los dos pondajes de regulación a la llegada de la PTL, con capacidad cada uno de 999 m³ los cuales reciben el lixiviado proveniente de todas las zonas rellenas, tanto en operación como las ya cerradas. En estos pondajes, la mezcla es homogeneizada y se da un proceso de sedimentación primaria. Posteriormente, por medio de un pozo de bombeo, el lixiviado es conducido desde los pondajes al interior del sistema de tratamiento primario. En la ilustración se muestra un esquema general de las estructuras de almacenamiento y conducción de lixiviados en el RSDJ.

Ilustración 7 Esquema del sistema de almacenamiento y conducción de lixiviados



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

3.3.2 Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL)

La planta de tratamiento de lixiviados (PTL) está compuesta por los procesos unitarios descritos en la ilustración 8 y que se detallan en los anexos 1, 2 y 3 del presente documento.

1. Proceso Fisicoquímico
2. Predesnitrificación
3. Proceso Biológico Aerobio y Proceso Biológico de Denitrificación
4. Postdesnitrificador
5. Clarificador
6. Filtro de anillas
7. Deshidratación de lodos

En la Fotografía 16 se muestra una imagen general de los zanjones de oxidación y tanque pre-desnitrificador

Fotografía 16 Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL)



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

La PTL opera según los compromisos asumidos por el Operador del Relleno consignados en la Resolución 166 de 2008, emitida por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR); en ésta se establecen los parámetros de calidad del vertimiento de la PTL al río Tunjuelo posterior a su tratamiento. A continuación en la Tabla 3 se presentan las concentraciones máximas permisibles en el vertimiento de acuerdo con la resolución 166 de 2008.

Tabla 3 Calidad del vertimiento al Tunjuelo - RSDJ

Parametro	Límite Resolución CAR 166/08	Vertimiento típico Años 2008 a 2010	Diferencia respecto la norma actual
Aluminio	5	0.54	● - 0.89
Arsénico	0.1	0.01	● - 0.93
Berilio	0.1	0.01	● - 0.90
Boro	4	2.01	● - 0.50
Cadmio	0.01	0.03	● 2.38
Zinc	2	1.02	● - 0.49
Cobalto	0.05	0.01	● - 0.80
Cobre	0.2	0.09	● - 0.56
Cromo Total	0.1	0.93	● 8.33
DBO	100	1 200.00	● 11.00
Grasas y Aceites	2	13.36	● 5.68
Hierro	5	22.90	● 3.58
Litio	2.5	0.05	● - 0.98
Manganeso	0.2	0.37	● 0.85
Mercurio	0.01	0.01	● - 0.31
Molibdeno	0.01	0.10	● 9.00
Níquel	0.2	0.54	● 1.69
Plomo	0.1	0.29	● 1.86
Selenio	0.02	0.01	● - 0.63
Vanadio	0.1	0.20	● 1.00
PH	4,5 - 9,0	7.88	OK
Fenoles	0.2	0.12	● - 0.40

- Cumplimiento de la norma sobre el comportamiento promedio
- Cumplimiento parcial sobre el comportamiento promedio
- Incumplimiento de la norma sobre el comportamiento promedio

Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

Los diagramas de flujo para la PTL del RSDJ y que muestran específicamente los componentes de las etapas fisicoquímicas, de desnitrificación, procesos biológicos aerobios, post-denitrificación, clarificación, filtro de anillas y línea de lodos, se presentan en el anexo 1 (Diagrama de flujo descriptivo PTL), Anexo 2 (Diagrama detallado de procesos PTL), y anexo 3 (Perfil hidráulico PTL). Esta información fue suministrada por el actual operador de la PTL, así como por el consorcio HERA-NAM-VELZEA, encargado en su momento de la construcción de obras.

Tratamiento Fisicoquímico

El tratamiento fisicoquímico tiene como objetivo primordial remover los metales pesados del lixiviado por medio de precipitación. Adicionalmente, busca la remoción de sólidos suspendidos totales, materia orgánica, nitrógeno total, grasas y aceites.

El proceso está ideado para operar en diferentes etapas, considerando que los componentes químicos tienen distintos rangos de estabilidad termodinámica de acuerdo con su pH. Sin embargo, la segunda etapa está limitada por la carga de Sólidos Suspendidos Totales (SST) que puede manejar el decantador lamelar sin riesgo de atascarse. Adicionalmente, las unidades han sido modificadas para operar tanto en serie como en paralelo, permitiéndole absorber los picos de caudal que puedan presentarse en el sistema. Originalmente la PTL contaba con dos unidades de tratamiento fisicoquímico; sin embargo, uno de los objetivos del Plan de Choque fue la instalación de una tercera unidad para aumentar la capacidad de tratamiento a un caudal de 16 L/s. Esta tercera unidad fue construida por el anterior operador de la PTL y se encuentra integrada al sistema de tratamiento actual.

Actualmente la operación se realiza desde la caja de entrada y pondajes de regulación, con paso de los lixiviados hacia la unidad Fisicoquímica 3, en donde, de acuerdo a las características se realiza la dosificación de hidróxido de calcio en solución, para la regulación de pH y el tratamiento parcial de metales (La dosificación de hidróxido de calcio se realiza en un rango entre 700 y 1000 kilogramos por día, lo que equivale aproximadamente entre 1 y 5 kilogramos por metro cúbico), pasando luego a la mezcla rápida y al decantador donde se realiza la purga de lodos primarios mientras que el clarificado pasa al tanque pre-desnitrificador.

Predesnitrificación

En el predesnitrificador se inicia el proceso Biológico por la acción de las bacterias presentes en el licor mezclado sobre el lixiviado; esta unidad anóxica facilita la remoción de carga nitrogenada para luego pasar a los reactores biológicos.

Proceso Biológico Aerobio y de Desnitrificación

El proceso biológico aerobio de lodos activados busca remover la mayor carga orgánica, dada por la concentración de DBO5 y DQO; al igual que busca remover un porcentaje de grasas y aceites, algunos metales, sólidos suspendidos y disueltos,

virus, bacterias y demás sustancias contaminantes. Por otro lado, la finalidad del proceso biológico de nitrificación es la remoción del nitrógeno amoniacal (amonio), el cual surge como producto de la descomposición de los residuos. Para esto se utiliza una etapa en medio aerobio de nitrificación seguido por una etapa en medio anóxico de desnitrificación. Los procesos biológicos son realizados en dos zanjones de oxidación. En el medio oxidante de los reactores y en presencia de bacterias nitrificadoras, se elimina fundamentalmente la carga orgánica disuelta y se realiza un proceso de nitrificación en el cual se convierte el nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. Adicionalmente en los extremos de los reactores se presentan condiciones anóxicas, las cuales permiten realizar un proceso de desnitrificación parcial por medio de bacterias adaptadas a estas condiciones, por el cual se convierten los nitritos y nitratos a nitrógeno en forma gaseosa y se libera a la atmósfera. Para complementar el proceso de desnitrificación el sistema cuenta con dos unidades desnitrificadoras, una antes y otra después de los zanjones de oxidación.

Postdesnitrificación

En el tanque postdesnitrificador se finaliza la fase biológica de tratamiento, allí se afina la remoción de carga nitrogenada. De esta última estructura el lixiviado pasa al decantador secundario en donde se realiza la purga de lodos biológicos y la recirculación externa

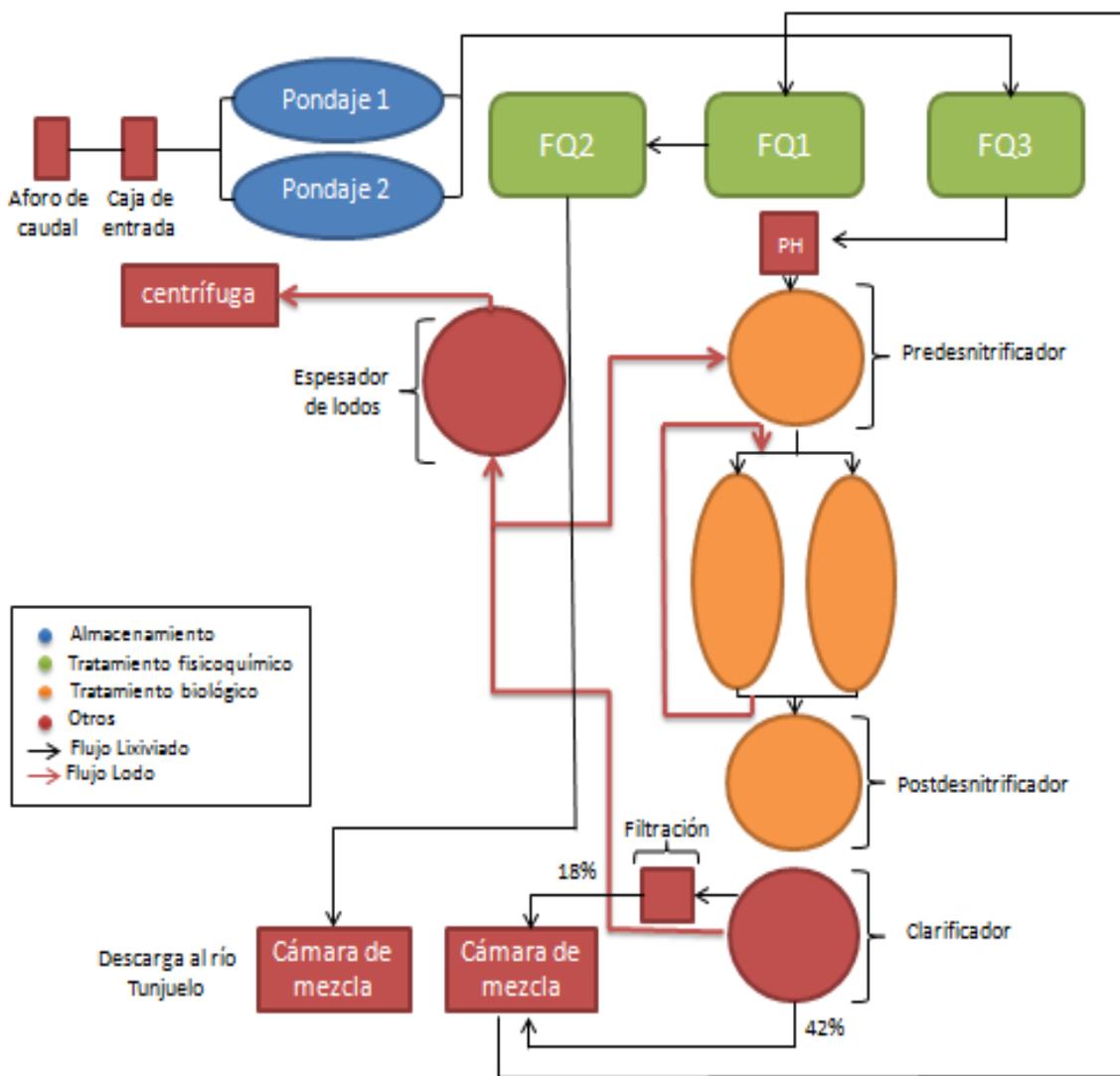
Clarificador, filtro de anillas, Fisicoquímico 1 y Fisicoquímico 2

Posterior a las operaciones unitarias biológicas, el lixiviado es sometido a un proceso de sedimentación/clarificación para separar la fracción sólida del mismo (lodo biológico) de la fracción líquida (lixiviado tratado). Posteriormente, el clarificado pasa a las unidades de filtros de anillas localizadas en la unidad de salida de la PTL. Antes de pasar a la cámara de salida, como parte de un manejo en evaluación para el tratamiento, los lixiviados tratados son bombeados hacia las unidades fisicoquímicas 1 y 2 en donde se realiza un afinado mediante la aplicación de sulfato de aluminio en solución para remoción de sólidos suspendidos totales aún presentes en el lixiviado y así disminuir DBO y metales presentes en los mismos. Finalmente el lixiviado se conduce a la cámara de aforo y salida.

Línea de Lodos

Todos los lodos de tratamiento primario y secundario son enviados al espesador de lodos donde son concentrados y de éste pasan al edificio de deshidratación donde por medio de centrífugas se separa la parte líquida y sólida presente en los lodos. La parte sólida es almacenada en la celda temporal de lodos donde se estabiliza para luego ser enviada a la celda de lodos ubicada en la zona VI del RSDJ. La parte líquida se recircula a la entrada de los reactores biológicos a través de la unidad de vaciados y flotantes. La ilustración 8 muestra un esquema generalizado de las estructuras de tratamiento de la planta de lixiviados. En ella se esquematiza también los procesos de recirculación y evacuación de lodos del sistema.

Ilustración 8 Esquema Del sistema de almacenamiento y conducción de lixiviados



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La Cordillera de los Andes sirve de barrera a los vientos planetarios que le corresponden a Colombia, principalmente Alisios del sur y del norte, a las masas ecuatoriales del Pacífico y a las masas del Amazonas, lo cual modifica el tipo de circulación atmosférica general y determina las variaciones territoriales de los parámetros meteorológicos. Por su posición intertropical, la amplitud térmica anual es muy pequeña, lo cual hace que la precipitación sea el principal elemento climático del país.

La precipitación se debe principalmente al paso de la Zona de Convergencia Intertropical, y por lo tanto la lluvia tiene un régimen bimodal, el cual sufre un retardo de un mes en el inicio del período lluvioso, entre el sur y el norte del país (Compañía de Estudios e Interventorías Ltda, 1997). Para el área de influencia del proyecto, el estudio climático comprendió el análisis de 3 estaciones meteorológicas cercanas al lugar. En la Tabla 4 se indica la ubicación de las estaciones seleccionadas.

De los equipos e instrumentación instalados en el área, la Estación Doña Juana fue la única que presentó los parámetros climáticos completos, razón por lo cual el análisis meteorológico se basa en esta estación (a excepción del parámetro precipitación). Para el análisis de las series meteorológicas se tomaron registros medios mensuales multianuales correspondientes al periodo comprendido entre 1991 y 2014, en la estación Doña Juana; estación Picota entre los años 1981 a 2014 y estación el Bosque entre los años 1963 al 2014.

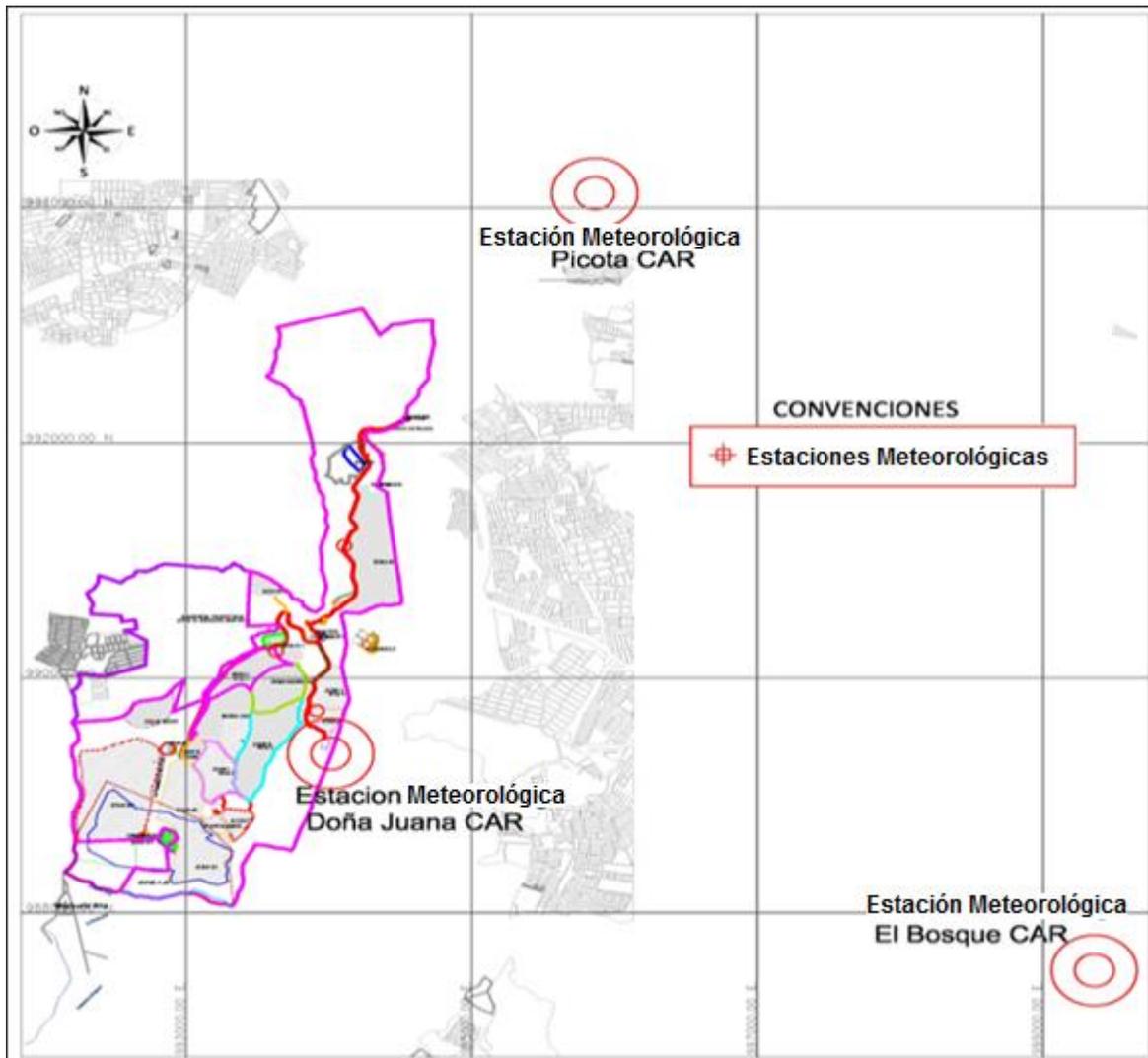
Tabla 4 Estaciones para el análisis climático del proyecto

Estación	Entidad	Código	Tipo	Altitud	Norte	Este	Periodo
Doña Juana	CAR	2120630	CP	2700 msnm	989354,78	994010,80	1991-2014
Picota	CAR	2120156	PG	2570 msnm	994125,73	995859,58	1981-2014
El Bosque	CAR	2120085	PG	3300 msnm	987511,31	999358,14	1963-2014

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

La información suministrada por estas estaciones hidro-climatológicas se considera de total validez y suficiencia teniendo en cuenta la edad de las series, el proceso de validación de los datos, la entidad encargada de su manejo y administración, así como la depuración de los mismos como parte de los procesos de calibración y certificación de la información.

Ilustración 9 Ubicación de estaciones climatológicas



Fuente: EIA Fase 2, GENIVAR-CGR-UAESP.2014

La selección de las estaciones climatológicas de referencia para la caracterización climática del sitio de disposición involucraron conceptos y parámetros tales como:

- Facilidad para triangular e interpolar datos correspondientes a ubicaciones intermedias entre ellas para la generación de curvas de igual valor (isolíneas).
- Series históricas de datos con una antigüedad superior a los 20 años de funcionamiento continuo.
- Información oficial válida manejada por una entidad pública que verifique y certifique la calidad y seguridad de los mismos.

4.1 TEMPERATURA

Para el área de estudio y con base en el análisis de datos de campo obtenidos de la estación de Doña Juana, el valor promedio de temperatura media mensual multianual es de 12,3°C. En el curso del año la temperatura media mensual no tiene variaciones significativas. Los meses más cálidos son Abril y Junio, y los meses más fríos son Julio y Agosto. Los datos consolidados se presentan en la Tabla 5.

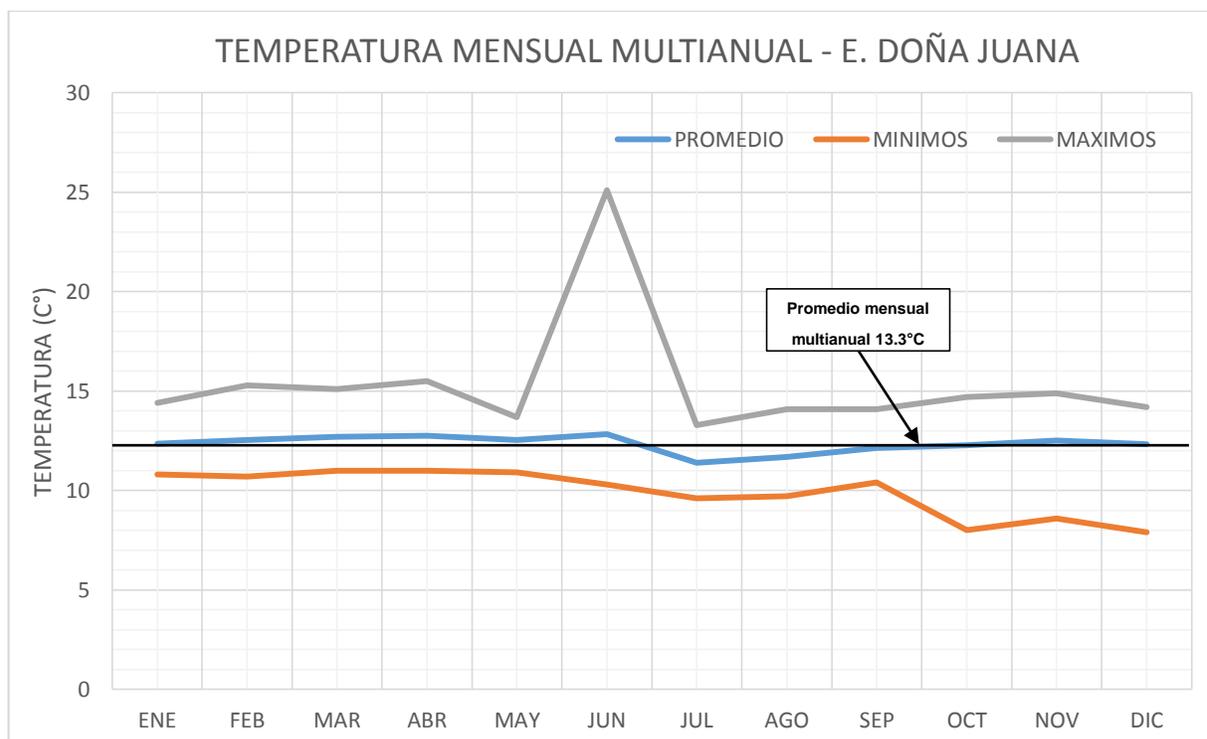
Tabla 5 Comportamiento de la temperatura (T°C) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	10,8	10,7	11,0	11,0	10,9	10,3	9,6	9,7	10,4	8,0	8,6	7,9
Máximo	14,4	15,3	15,1	15,5	13,7	25,1	13,3	14,1	14,1	14,7	14,9	14,2
Promedio	12,3	12,5	12,7	12,7	12,5	12,8	11,4	11,7	12,1	12,3	12,5	12,3

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

La temperatura media mínima presenta el punto más alto en los meses de Marzo y Abril con 11°C y el punto más bajo en Diciembre con 7,9°C. De manera inversa la temperatura media máxima tiene su pico más alto en Junio con 25,1°C (un dato anormal según la tendencia de la estación) y el más bajo en Julio con 13,3°C.

Gráfica 2 Temperatura mensual multianual (T°C) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

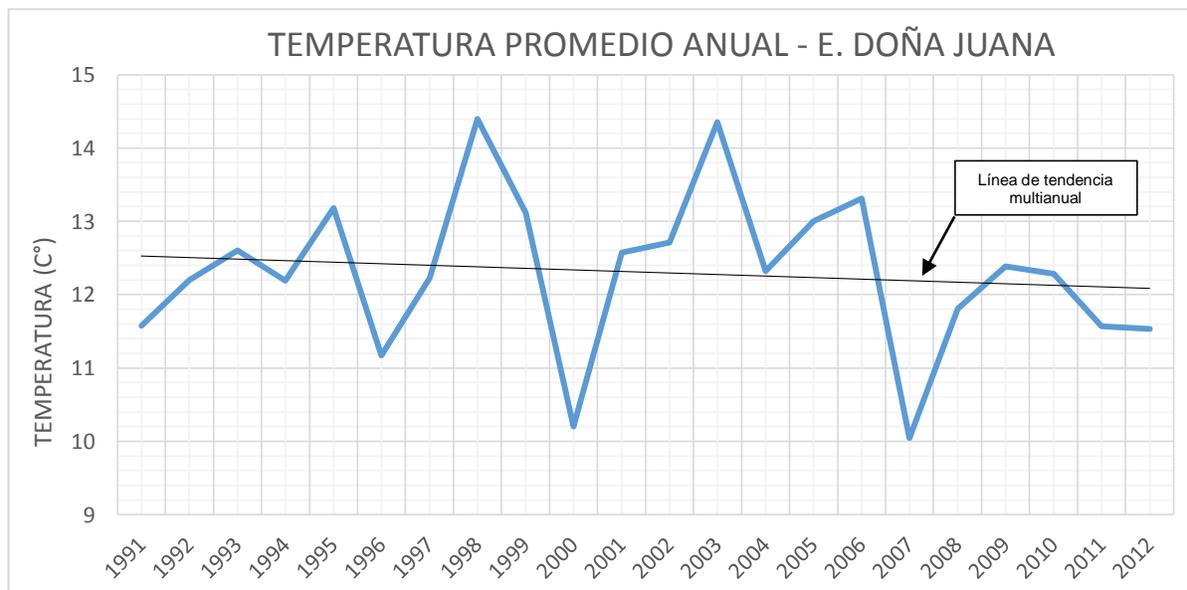
A pesar de la influencia de la zona de confluencia intertropical (ZCI), la caída en la cantidad de brillo solar asociada al incremento de la nubosidad y el viento de la zona, el comportamiento de la temperatura promedio es muy estable a lo largo del año (Gráfica 3), indicando condiciones predominantes de sensación fría constante en la zona.

Tabla 6 Promedios anuales de temperatura (T°C) - Estación Doña Juana

AÑO	PROMEDIO	AÑO	PROMEDIO	AÑO	PROMEDIO
1991	11,6	1999	13,1	2007	10,0
1992	12,2	2000	10,2	2008	11,8
1993	12,6	2001	12,6	2009	12,4
1994	12,2	2002	12,7	2010	12,3
1995	13,2	2003	14,4	2011	11,6
1996	11,2	2004	12,3	2012	11,5
1997	12,2	2005	13,0	2013	No disponible
1998	14,4	2006	13,3	2014	No disponible

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Gráfica 3 Temperatura promedio anual multianual (T°C) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

De acuerdo con lo evidenciado en la gráfica 2, la temperatura promedio del sitio se mantiene constante a lo largo de los años (12.3°C ±0.2), sin embargo el rango de diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas se acentúa cada vez más, demostrando incidencias significativas de los fenómenos de cambio climático sobre la región donde se encuentra el sitio de disposición final.

4.2 PRECIPITACIÓN

La precipitación se define como el agua, tanto en forma líquida como sólida, que cae sobre la superficie de la tierra. Este fenómeno viene siempre precedido a su vez de los fenómenos de condensación y sublimación o por una combinación de ambos. El análisis de la precipitación se realizó para las 3 estaciones seleccionadas por contar con los registros adecuados.

4.2.1 Estación Doña Juana

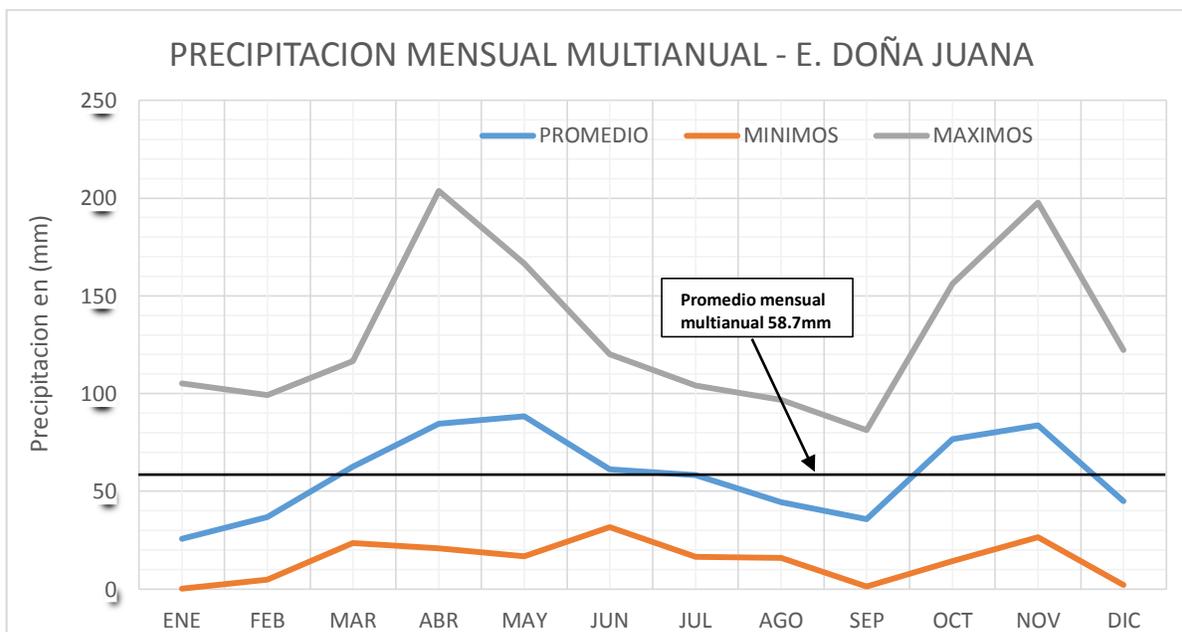
Tabla 7 Comportamiento de la precipitación (mm) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	0,3	4,8	23,6	20,7	16,7	31,7	16,5	16,0	1,2	14,3	26,5	2,0
Máximo	105,2	99,2	116,6	203,7	166,6	120,1	104,1	96,9	81,4	156,3	197,7	122,2
Promedio	25,7	37,0	62,6	84,7	88,4	61,3	58,2	44,6	35,8	76,8	83,7	45,0

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Para la estación "Doña Juana" se presenta un régimen de distribución de lluvias del tipo bimodal. El primer período de lluvias se presenta entre los meses de Marzo y Mayo, y el segundo periodo es el que se encuentra comprendido entre Octubre y Noviembre (Ver gráfica 4). El promedio mensual multianual es de 58,7 mm. El mes promedio más lluvioso es Mayo con 88,4 mm y Enero es el mes más seco con 25,7 mm.

Gráfica 4 Precipitación mensual multianual (mm) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

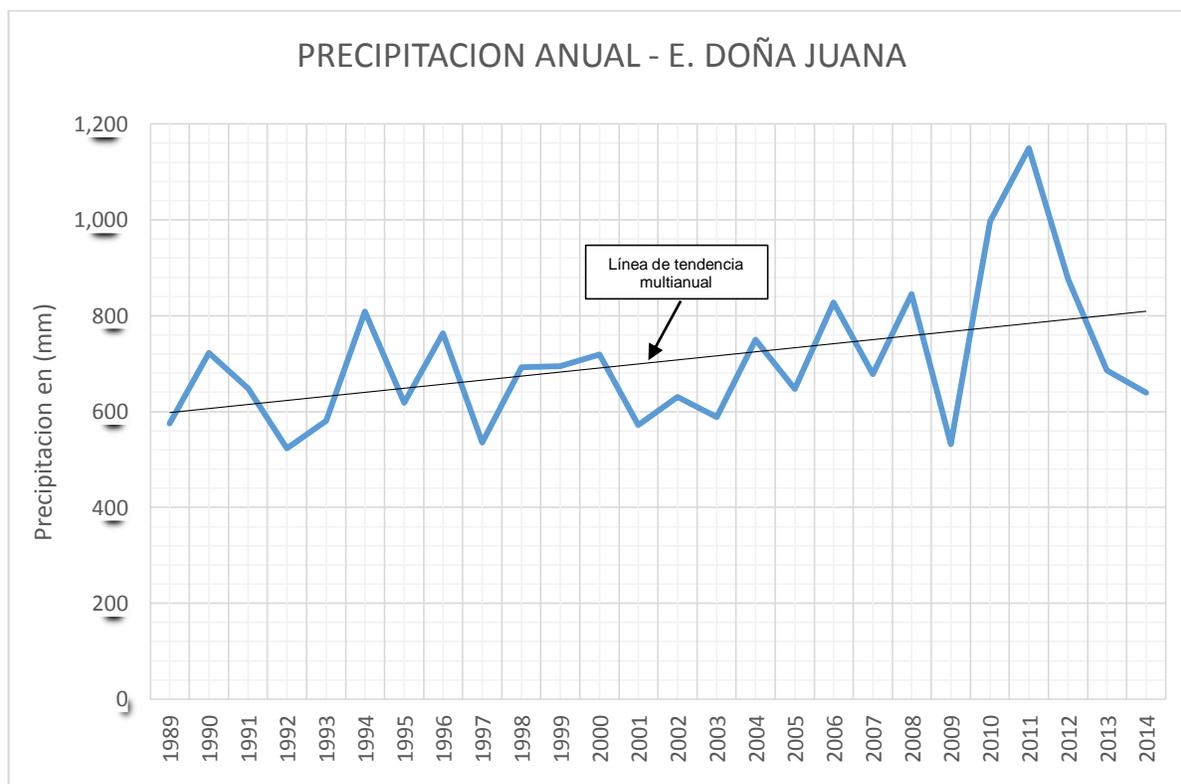
La precipitación registrada en la zona tiene relación directa con el paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCI), la cual impacta significativamente la nubosidad, el brillo solar, el viento y la temperatura; tal y como se mencionó anteriormente, la precipitación es el principal parámetro determinante del comportamiento climático de la zona.

Tabla 8 Totales anuales de precipitación (mm) - Estación Doña Juana

AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL
1989	575,6	1998	692,6	2007	678,3
1990	722,0	1999	694,3	2008	844,7
1991	647,9	2000	719,4	2009	532,0
1992	522,9	2001	572,2	2010	997,1
1993	580,7	2002	630,0	2011	1149,2
1994	808,4	2003	588,3	2012	876,3
1995	618,1	2004	749,9	2013	686,1
1996	763,5	2005	647,0	2014	639,8
1997	535,2	2006	827,4	2015	No disponible

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Gráfica 5 Precipitación anual multianual (mm) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Si bien la precipitación total registrada en la estación Doña Juana venía siendo anualmente muy estable con una ligera tendencia al incremento, se aprecia claramente la incidencia que tuvo la llegada del fenómeno de la Niña a la zona de interés durante los años 2010 y 2011 (Ver Gráfica 5), registrando valores anormales y excesivos de precipitación respecto de los años precedentes.

4.2.2 Estación El Bosque

Para la estación “El Bosque” se presenta un régimen de distribución de lluvias del tipo bimodal, el primer período de lluvias es bastante extenso y se enmarca entre los meses de Abril a Julio, el segundo periodo es el que se encuentra comprendido entre Octubre y Noviembre (Ver gráfica 6). El promedio mensual multianual es de 107,6 mm. El mes más lluvioso es Julio con promedio de 166,4 mm, y Enero es el mes más seco con 34,8 mm.

Tabla 9 Comportamiento de la precipitación (mm) - Estación El Bosque

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	0	2,4	4,1	23,9	16,6	1,7	9,4	9,7	7,2	15,2	15,2	1,0
Máximo	153,5	200,0	202,2	321,0	378,0	417,5	486,5	329,3	339,5	296,0	401,5	212,5
Promedio	34,8	52,4	76,7	126,1	143,3	152,7	166,4	130,8	99,1	118,8	122,0	67,2

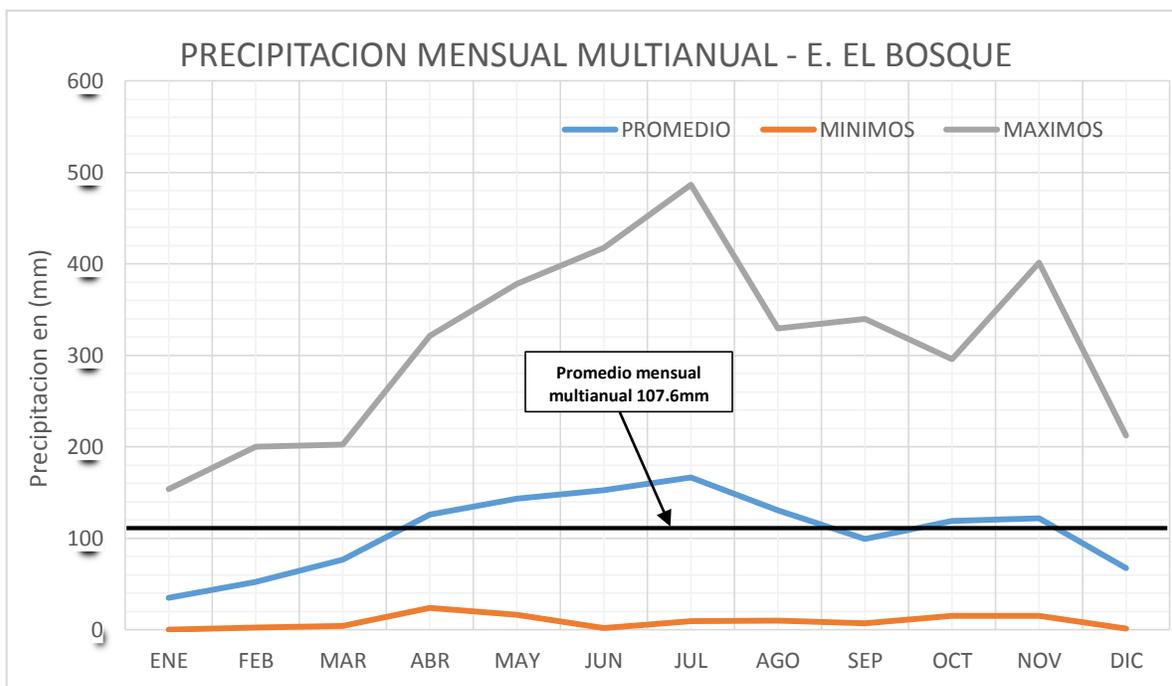
Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

El valor máximo mensual multianual registrado es de 486,5mm en el mes de julio (Ver tabla 9); respecto de los mínimos se encuentran meses completamente secos sin presencia de precipitación, usualmente en el mes de enero.

En la serie de precipitaciones máximas (Ver Gráfica 6), se puede apreciar un comportamiento bimodal tetra-estacional similar al comportamiento promedio mensual multianual, con una fuerte desviación respecto de la presentada por la tendencia mínima mensual multi-anual. Al respecto de las precipitaciones totales mostradas en la gráfica 7, no se evidencian variaciones significativas de los registros para el periodo comprendido entre el año 2010 y 2011, el cual representa uno de los periodos anuales más lluviosos registrados históricamente por el sistema de estaciones de monitoreo climático.

La tendencia de medios mínimos se encuentra usualmente por debajo de los 20 mm mensuales, lo cual confirma la ocurrencia de meses muy secos (Ver gráfica 6).

Gráfica 6 Precipitación mensual multianual (mm) - Estación El Bosque



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

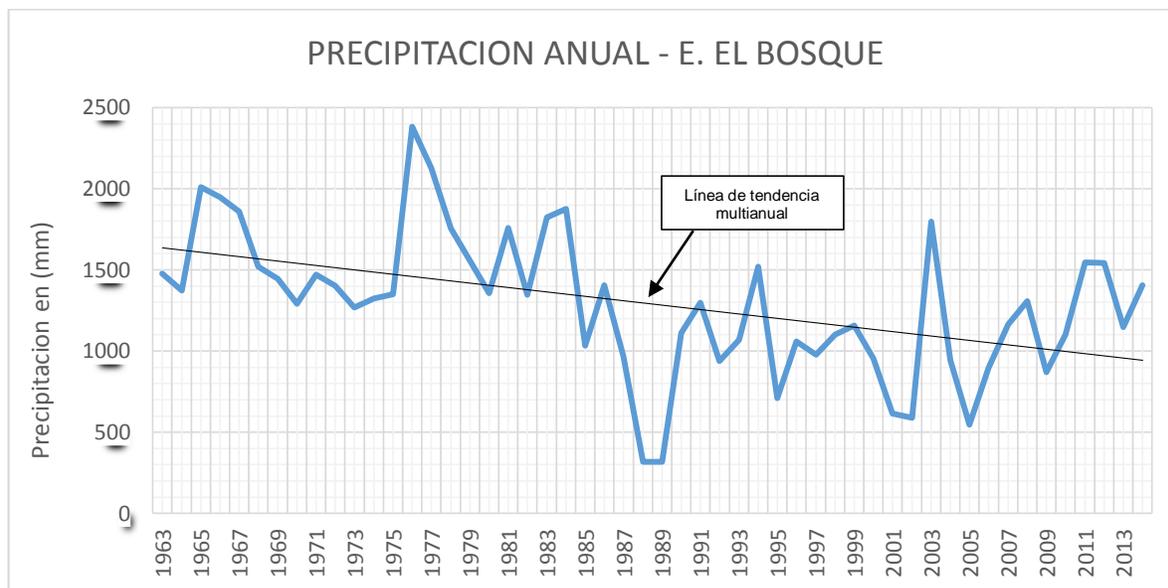
Tabla 10 Totales anuales de precipitación (mm) - Estación El Bosque

AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL
1963	1477	1981	1759	1998	1101
1964	1373	1982	1345	1999	1156
1965	2009	1983	1824	2000	953
1966	1947	1984	1875	2001	615
1967	1861	1985	1032	2002	590
1968	1520	1986	1405	2003	1798
1969	1443	1987	967	2004	944
1970	1292	1988	319	2005	547
1971	1470	1989	319	2006	896
1972	1401	1990	1110	2007	1165
1973	1268	1991	1296	2008	1306
1974	1324	1992	938	2009	869
1975	1349	1993	1070	2010	1101
1976	2383	1994	1518	2011	1547
1977	2129	1995	709	2012	1544
1978	1753	1996	1058	2013	1146
1979	1556	1997	978	2014	1404
1980	1358				

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

La tendencia anual multianual de precipitación muestra un descenso significativo por efecto de cambios en los regímenes regionales y distribuciones de la humedad (Ver gráfica 7 y tabla 10). Varios autores asocian principalmente el cambio en la oferta hídrica por precipitación a la expansión de la frontera urbana, la deforestación y la inclusión de la estación dentro de la isla de calor asociada a la actividad humana en la ciudad de Bogotá (Ruiz y Escobar, IDEAM 2012)².

Gráfica 7 Precipitación anual multianual (mm) - Estación El Bosque



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

4.2.3 Estación La Picota

Para la estación “La Picota” se presenta un régimen de distribución de lluvias del tipo bimodal, el primer período de lluvias se presenta entre los meses de Marzo y Junio, el segundo periodo es el que se encuentra comprendido entre Octubre y Diciembre. El promedio mensual multianual es de 51,1 mm. El mes más lluvioso es Abril con 83,2 mm y Enero es el mes más seco con 23,1 mm (Ver gráfica 8).

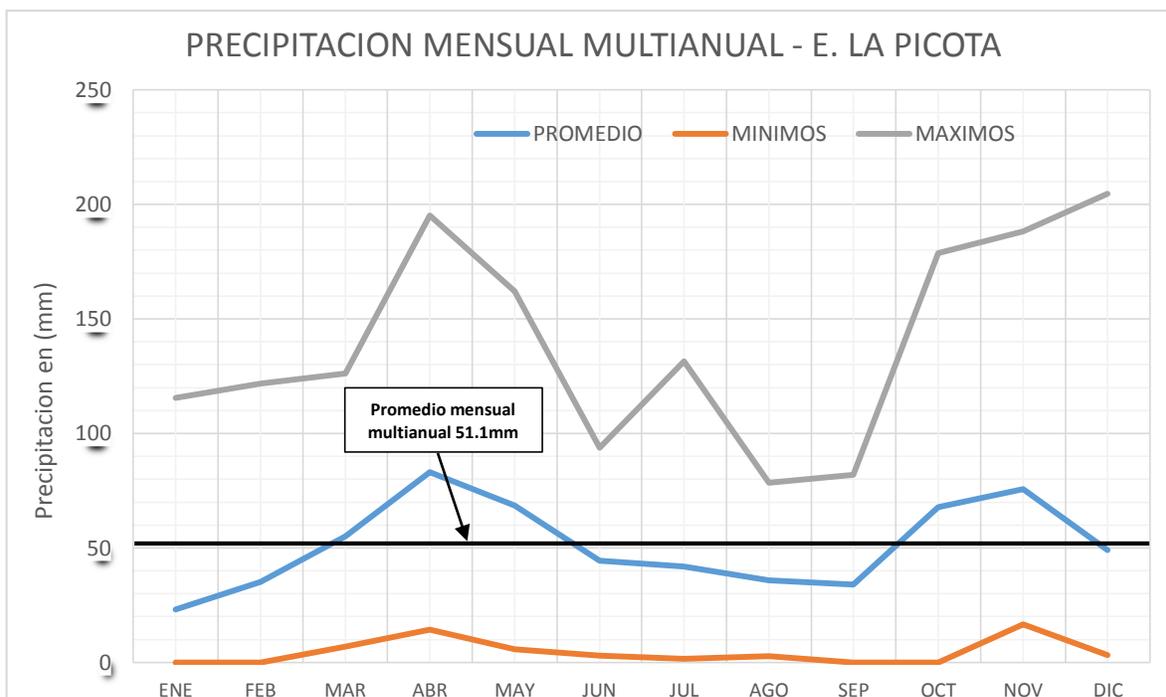
Tabla 11 Comportamiento de la precipitación (mm) - Estación La Picota

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	0,0	0,0	6,9	14,4	5,7	3,0	1,6	2,7	0,0	0,0	16,7	3,2
Máximo	115,6	121,8	126,2	195,2	162,1	93,8	131,4	78,4	81,9	178,8	188,2	204,6
Promedio	23,1	35,2	55,2	83,2	68,5	44,3	41,9	35,8	33,9	67,7	75,7	48,9

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

² Ruiz y Escobar, Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante la variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá. IDEAM Año 2012.

Gráfica 8 Precipitación mensual multianual (mm) - Estación La Picota



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

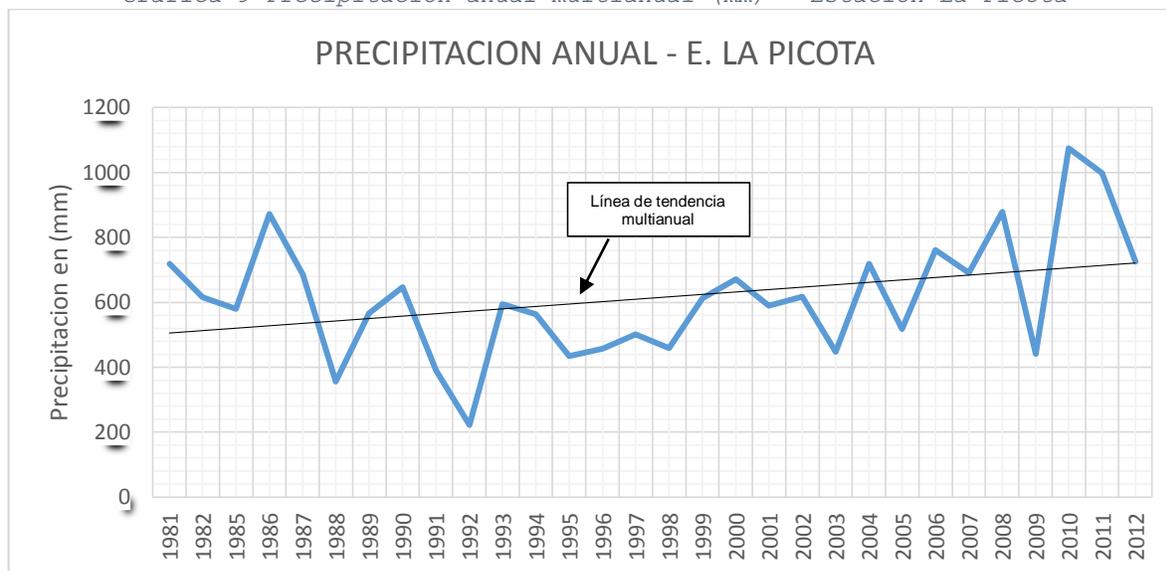
Adicionalmente, en la gráfica 8, y más específicamente de la serie de precipitaciones máximas, se puede apreciar un comportamiento trimodal hexaestacional; Esta serie de datos representan los periodos mensuales multi-anales más lluviosos registrados históricamente por el sistema de estaciones de monitoreo climático.

Tabla 12 Totales anuales de precipitación (mm) - Estación La Picota

AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL
1981	717,8	1992	220,7	2003	446,9
1982	616,2	1993	594,7	2004	718,0
1983	NA	1994	562,7	2005	518,0
1984	NA	1995	434,3	2006	761,6
1985	579,2	1996	456,5	2007	691,1
1986	871,9	1997	501,0	2008	878,1
1987	685,2	1998	458,2	2009	441,2
1988	355,5	1999	612,5	2010	1075,3
1989	566,97	2000	670,5	2011	997,7
1990	646,2	2001	589,8	2012	725,0
1991	390,9	2002	617,8	2013	NA

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Gráfica 9 Precipitación anual multianual (mm) - Estación La Picota



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Si bien, históricamente la precipitación total anual en la estación La Picota fue muy estable (615 mm), la tendencia fue seriamente alterada por el incremento en las lluvias presentado durante el fenómeno de la Niña de los años 2010 y 2011 (1075,3 mm y 997,3 mm), donde se superaron ampliamente los registros en aproximadamente un 43% de exceso respecto al histórico, lo cual demuestra y confirma las afectaciones del cambio climático sobre el proyecto y el sitio de disposición final en particular.

Tabla 13 Resumen del comportamiento de la precipitación

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Doña Juana			'''	'''	φ					'''	'''	
La Picota				φ	'''					'''	'''	
El Bosque				'''	'''	'''	φ			'''	'''	
	'''	Precipitación					φ	Mes más lluvioso				

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Los principales fenómenos antropogénicos que han afectado la intensidad, distribución y ocurrencia de las precipitaciones en la zona de estudio son³:

- Ampliación de la frontera urbana y descarga de contaminantes a la atmósfera en la zona de influencia de la estación meteorológica.
- Deforestación en áreas aledañas a la estación e influencia de las islas de calor en el comportamiento climático de la región.

³ Ruiz y Escobar, Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante la variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá. IDEAM Año 2012.

4.3 BRILLO SOLAR

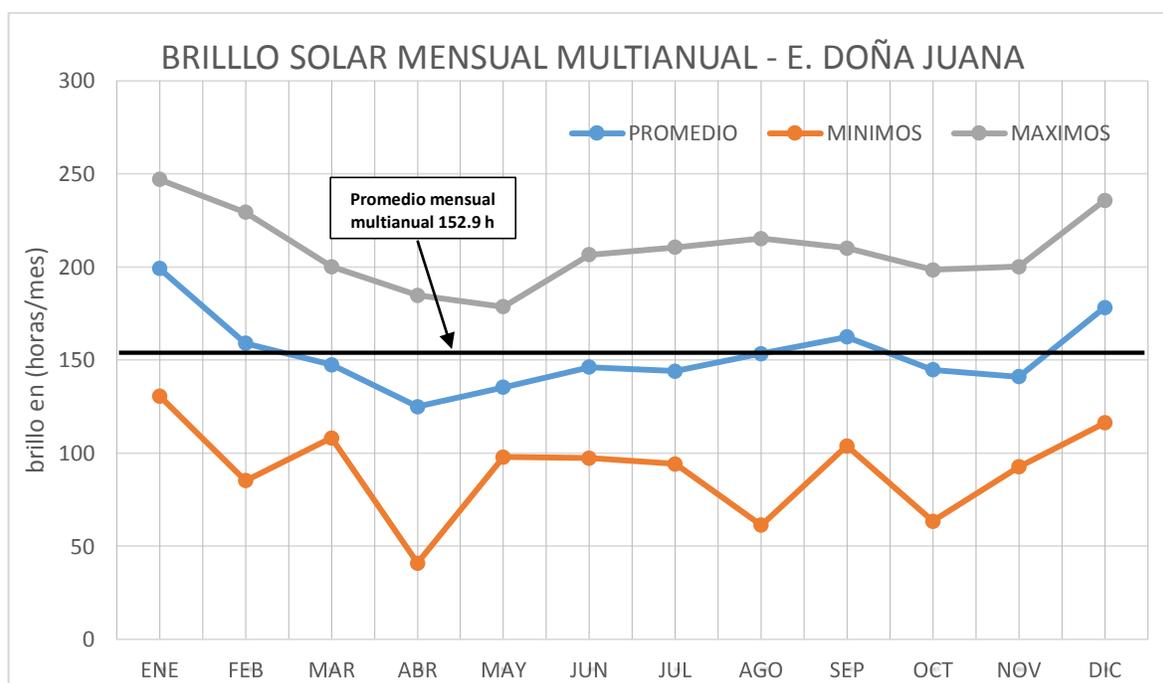
El promedio anual de brillo solar para la estación Doña Juana es de 152,9 h/mes. Se diferencian dos períodos de mayor brillo, uno de Diciembre a Febrero y otro ubicado en el mes de septiembre. Los meses restantes están por debajo de la media de intensidad lumínica (Ver gráfica 10)

Tabla 14 Brillo Solar (horas) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	130,7	85,3	108,2	40,9	97,9	97,4	94,2	61,3	103,9	63,5	92,6	116,3
Máximo	247,0	229,4	200,1	184,8	178,6	206,5	210,6	215,3	210,1	198,4	200,2	235,8
Promedio	199,1	158,9	147,4	124,9	135,3	146,2	144,0	153,5	162,4	144,8	141,1	178,2

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

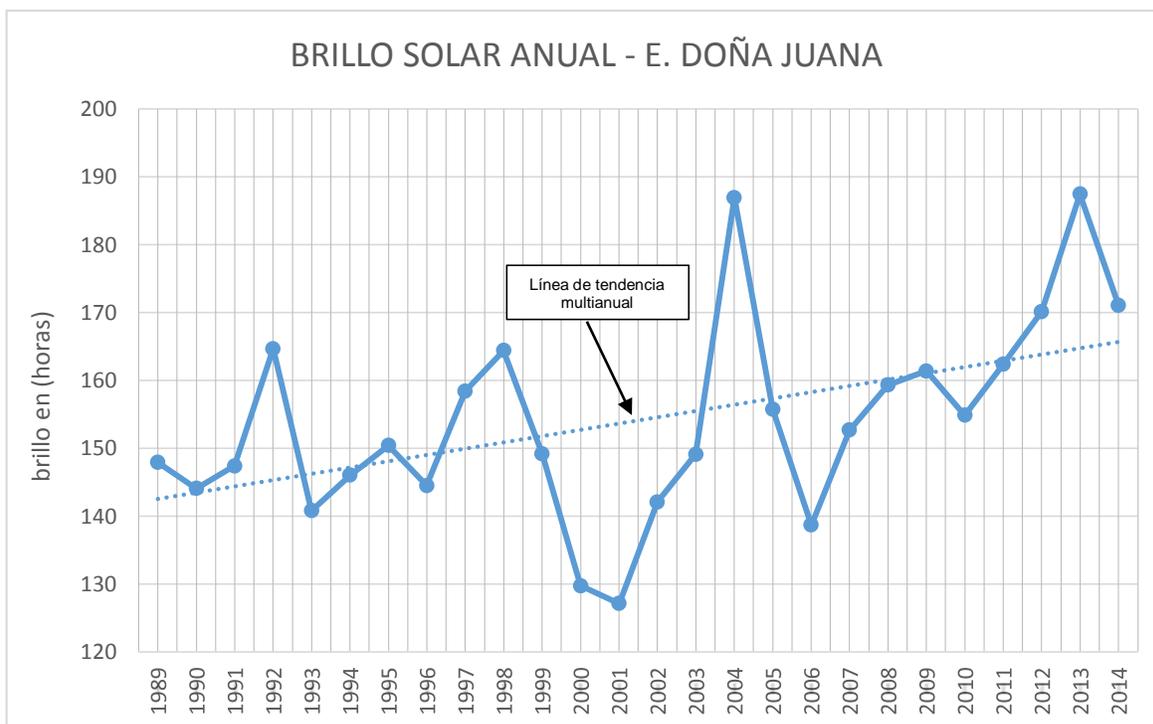
Gráfica 10 Brillo Solar (Horas) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

El parámetro del brillo solar es inversamente proporcional a la nubosidad de la zona y a la precipitación. Los fenómenos de precipitación y nubosidad guardan una relación intrínseca, y determinan en gran medida los registros de brillo solar sobre la superficie de la tierra (Tropósfera).

Gráfica 11 Brillo Solar mensual anual multianual promedio- Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Como se puede analizar en la Gráfica 11 durante la ocurrencia de extensos periodos de intensas y prolongadas precipitaciones, el brillo solar en la zona se ve reducido significativamente, como respuesta inversamente proporcional al incremento de la nubosidad y de la precipitación; sin embargo, y como efecto sensible del cambio climático en la región, en los últimos años se ha incrementado el brillo solar con respecto a los registros históricos (2012,2013 y 2014), trayendo consigo un efecto de incremento de la temperatura y de la sensación térmica en la zona de influencia de la estación climatológica, comprobando los efectos de las variaciones globales sobre zonas locales, plenamente identificadas.⁴

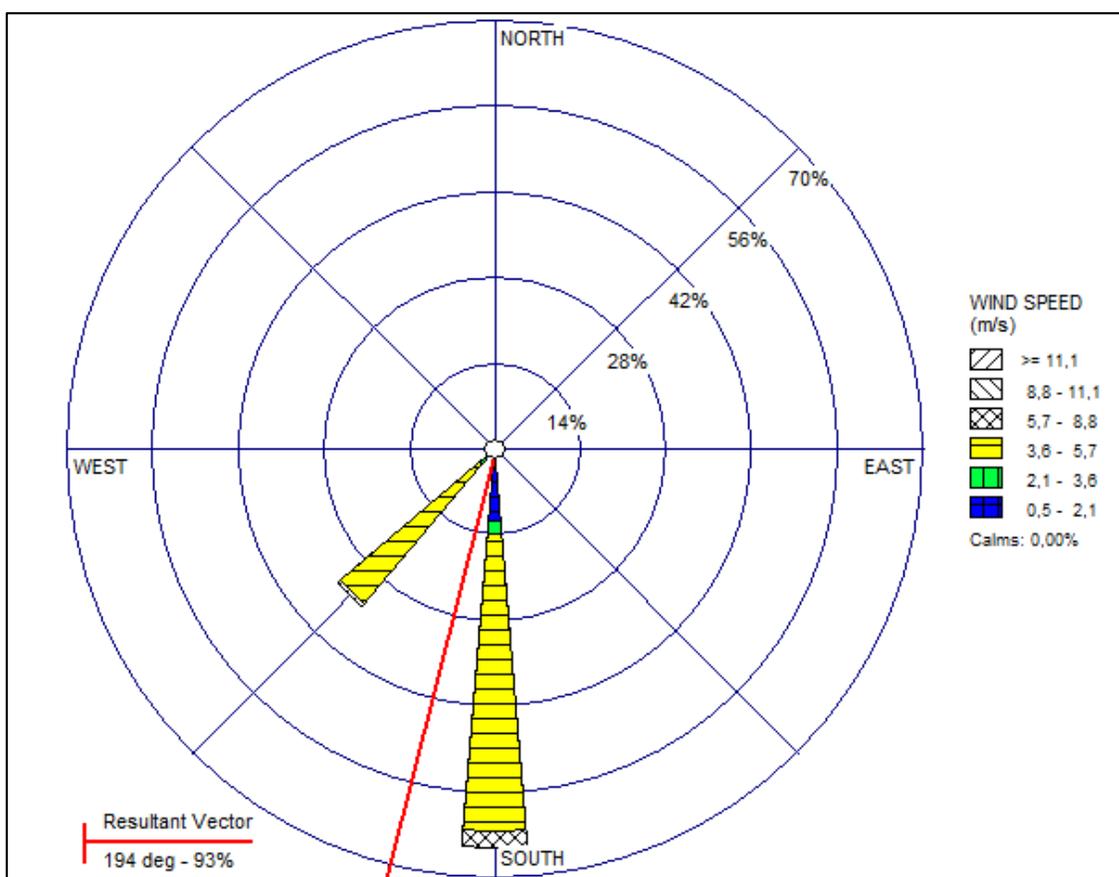
Adicionalmente, como se aprecia en la gráfica 11, durante la aparición del fenómeno del Niño, se incrementa el brillo solar, asociado a la baja confluencia de nubes en la zona del RSDJ.

⁴ Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo. IDEAM y FOPAE 2005.

4.4 VIENTO

Según la rosa de los vientos para la estación Doña Juana el 78,8% de los vientos analizados provienen del Sur. Le siguen en importancia los vientos del Sur-Este con 21,2%. Las demás direcciones se presentan con una frecuencia mínima durante el año, las cuales se presentan entre las 6 a.m. y las 11 a.m. El porcentaje de calmas presentado en los vientos es menor al 1,0%. La velocidad del viento (mayoritariamente) oscila entre 3,6 m/s y 5,7 m/s en el transcurso del año y la velocidad promedia anual es de 4,2 m/s.

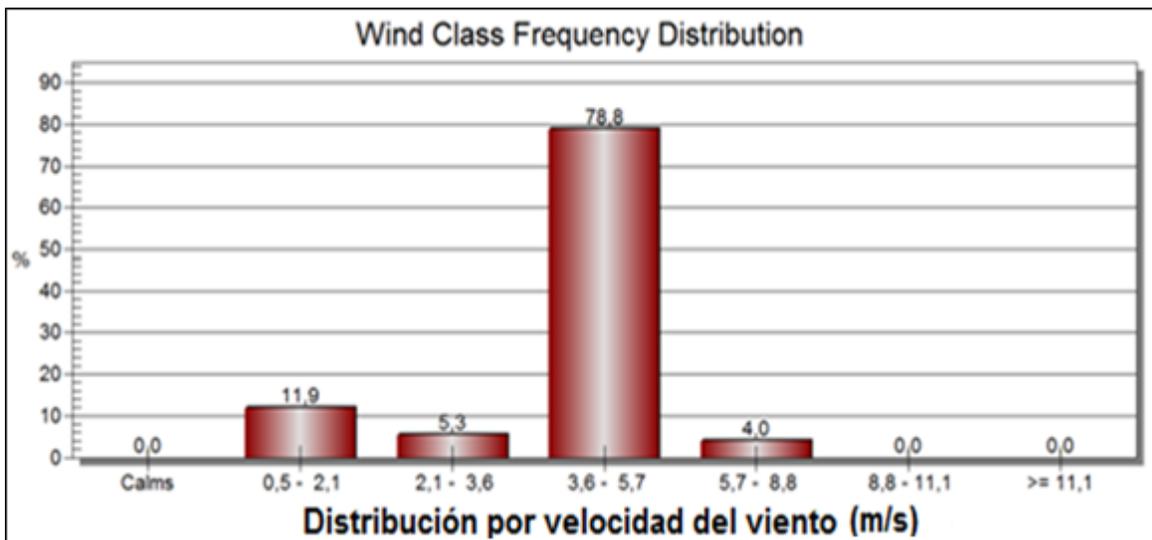
Ilustración 10 Rosa de vientos para la estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Debido a la magnitud de la velocidad, los vientos se clasifican como de tipo brisa suave a moderada y en algunos casos de tipo brisa fresca. Cabe anotar que la velocidad máxima absoluta fue de 7 m/s en el mes de Junio provenientes del Sur Occidente (SW) normalmente estas velocidades suelen presentarse durante las horas de la mañana.

Gráfica 12 Distribución y frecuencia de vientos - Estación Doña Juana



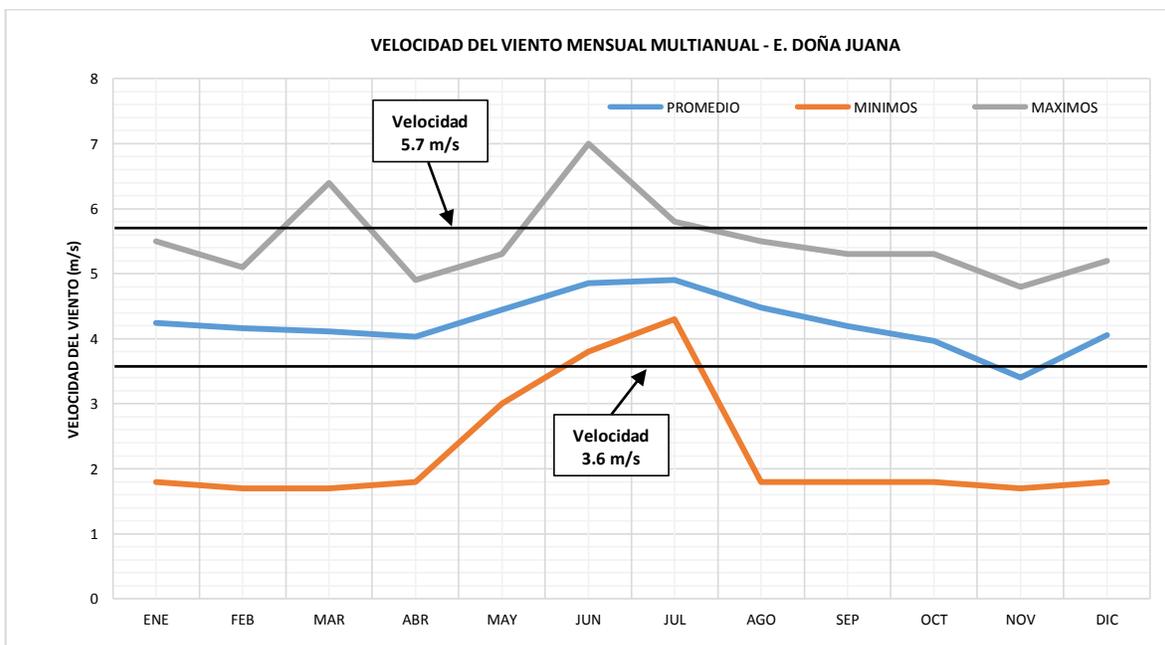
Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Tabla 15 Comportamiento del viento (m/s) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	1,8	1,7	1,7	1,8	3,0	3,8	4,3	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8
Máximo	5,5	5,1	6,4	4,9	5,3	7,0	5,8	5,5	5,3	5,3	4,8	5,2
Promedio	4,2	4,2	4,1	4,0	4,5	4,9	4,9	4,5	4,2	4,0	3,4	4,1

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Gráfica 13 Comportamiento del viento (m/s) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

4.5 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar en el estudio climatológico de una zona, se define como el conjunto de ondas electromagnéticas que alcanzan a llegar a la tropósfera (las cuales no fueron reflejadas, absorbidas o desviadas por capas superiores de la atmósfera), esta radiación es inversamente proporcional a la nubosidad del área (ya que esta se constituye como interferencia directa).

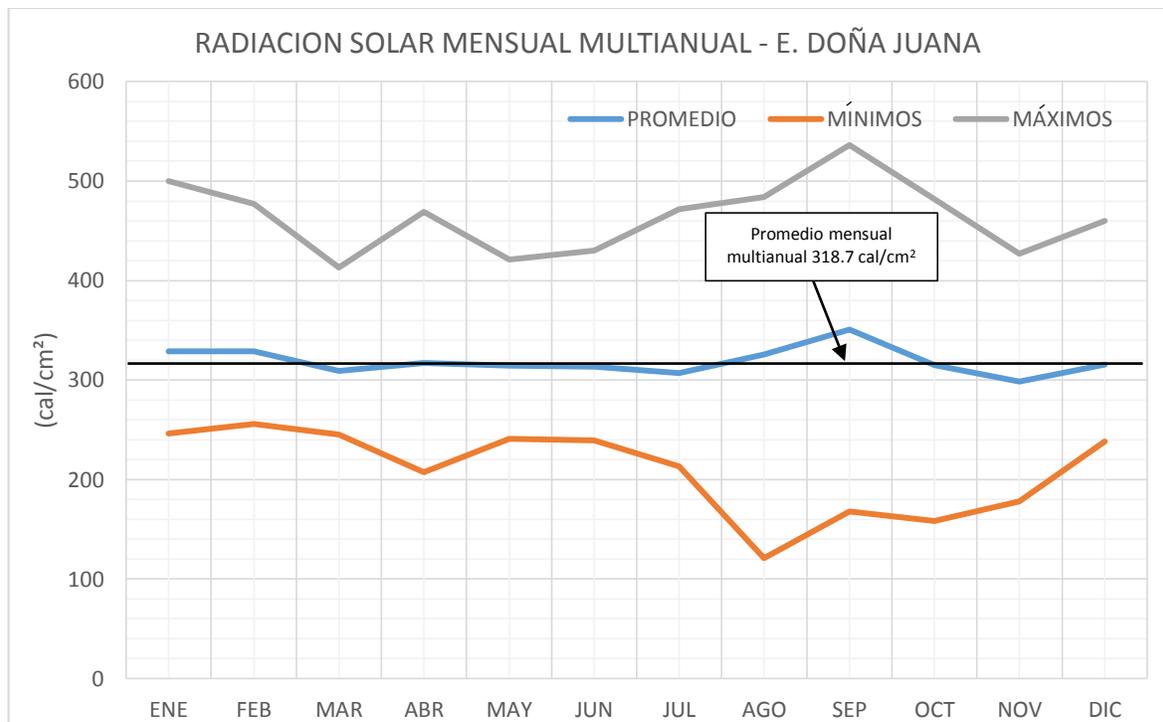
Tabla 16 Comportamiento de la radiación solar (cal/cm²) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	246	256	245	207	241	239	213	121	168	158	178	238
Máximo	500	477	413	469	421	430	472	484	536	482	427	460
Promedio	329	328,9	309,4	316,9	314,7	313,2	307,2	325,5	350,8	314,8	298,5	315,5

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Para la estación Doña Juana el mayor periodo de Radiación Solar se encuentra entre los meses de Agosto y Septiembre, justo antes del inicio del periodo de lluvias. El valor promedio anual para la estación es de 318,7 cal/cm². El valor máximo obtenido es de 536 cal/cm² en el mes de septiembre.

Gráfica 14 Comportamiento de la radiación solar (cal/cm²) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

4.6 HUMEDAD RELATIVA

La Humedad Relativa es la relación de la cantidad de humedad en un volumen dado y la cantidad que podría contener dicho volumen si estuviera saturado (Relación expresada en %, entre la presión real del vapor de agua y la presión de saturación a la misma temperatura). La humedad relativa es la forma más común de expresar la humedad atmosférica. Este componente atmosférico es de especial interés por su explícita relación con el bienestar humano y el crecimiento de las plantas.

Tabla 17 Comportamiento de la humedad relativa (5) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	55	52	58	59	61	63	66	60	55	57	60	64
Máximo	81	85	83	86	87	86	90	86	85	87	82	85
Promedio	65,7	67,6	70,5	72,1	75,2	75,8	78,0	75,3	71,5	72,8	72,9	74,5

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

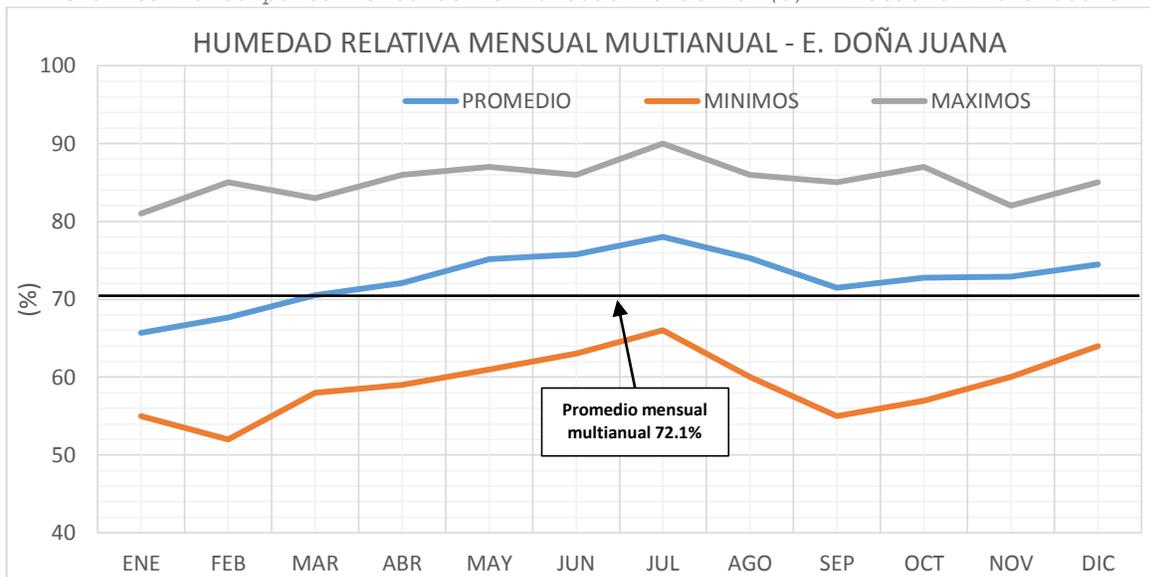
El valor promedio para la estación Doña Juana es de 72,1%. En el área de estudio los meses secos son Enero, Febrero y Marzo, mientras que los meses más húmedos son Junio y Julio. Por las características del área, como latitud, altura y entorno geográfico, en las noches y madrugadas, es común que se presente una saturación de humedad, pudiéndose producir la condensación y las consiguientes neblinas o nieblas. Al transcurrir el día la temperatura se eleva, lo cual implica una disminución de la humedad relativa, lo que supone la desaparición de la niebla.

Fotografía 17 Formación de neblina



Fuente: Universidad de los Andes, 2011

Gráfica 15 Comportamiento de la humedad relativa (5) - Estación Doña Juana



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Una de las consideraciones más importantes en el análisis de la humedad relativa para los estudios climáticos radica en la relación que existe entre los altos niveles de humedad relativa en determinada zona de estudio (Relleno Sanitario Doña Juana) y la capacidad de retención de los contaminantes en la parte baja de la atmósfera, más específicamente en la tropósfera. La abundancia de agua en las masas de aire, y la generación de diferentes compuestos químicos contaminantes asociados a las actividades antropogénicas, crean subproductos tales como la lluvia ácida que por acción de la precipitación pueden llegar a afectar extensas zonas incluso por fuera de las establecidas como áreas de influencia de un proyecto en particular. La humedad relativa y los contaminantes en la atmósfera también son actores principales de los procesos de inversión térmica, en especial en zonas donde el gradiente térmico diurno y nocturno puede alcanzar niveles altos en determinados periodos del año.

4.7 EVAPORACIÓN POTENCIAL

La evaporación se refiere al agua transferida a la atmósfera a partir de las superficies libres de agua, hielo y nieve. En el caso de la evaporación potencial, se define como la máxima pérdida de agua hacia la atmósfera de una superficie líquida (o sólida saturada) expuesta libremente a condiciones ambientales. (Monsalve, 1999).

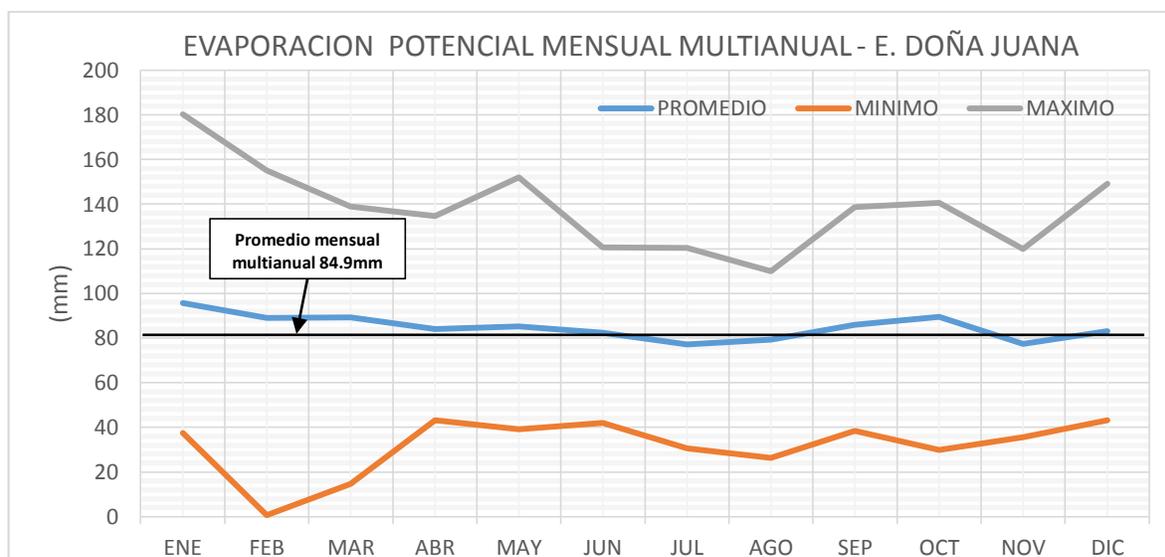
Para el caso de la Estación Doña Juana, el promedio mensual multianual es de 84,9 mm. El período de mayor evaporación potencial se inicia en general desde Marzo hasta Mayo; luego hay otra época que va desde Septiembre hasta Octubre, aunque existe un incremento significativo nuevamente en el mes de Diciembre. El período de menor evaporación potencial se encuentra en el mes de Febrero, Junio y en el mes de Noviembre. Los máximos niveles de evaporación promedio se alcanzan en el mes de Enero.

Tabla 18 Comportamiento de la evaporación (mm) - Estación Doña Juana

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mínimo	37,4	0,6	14,8	43,3	39,1	41,9	30,7	26,3	38,4	29,8	35,5	43,1
Máximo	180,3	155,0	139,0	134,7	152,0	120,6	120,3	110,0	138,6	140,7	120,0	149,1
Promedio	95,8	89,1	89,4	84,0	85,3	82,3	77,2	79,2	86,0	89,5	77,3	83,2

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Gráfica 16 Comportamiento de la evaporación potencial (mm)



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

4.8 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y LA EVAPORACIÓN

Con el ánimo de obtener una relación entre la precipitación típica de la zona donde se encuentra el sitio de disposición final y la evaporación típica, se procedió a comparar los resultados de dichos parámetros para la estación Doña Juana. Se procede a convertir la Evaporación Potencial proveniente de los datos de la estación meteorológica Doña Juana de la CAR en Evaporación Real y Evapotranspiración real haciendo uso de tres métodos:

- Método de CENICAFE

$$ETR = \left\{ ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right] \right\}^{1/2}$$

Dónde

ETR: Es la evapotranspiración real, en mm/año

ETP: Es la evapotranspiración potencial, en mm/año

P: Es la precipitación media en la cuenca en mm/año

- Método de Thornthwaite

$$Ej = \left(\frac{10t_j}{I}\right)^a \times 1.6$$

Dónde

Ej: Es la evapotranspiración potencial mensual del mes j, no ajustada (cm)

t_j: Es la temperatura media mensual del mes j (°C)

I: Índice de calor

- Método de Prescott

$$Pmc = 0.9Ev^{0.75}$$

Dónde:

Pmc Es la precipitación media calculada (cm)

Ev Es la evaporación medida en el tanque evaporímetro tipo A

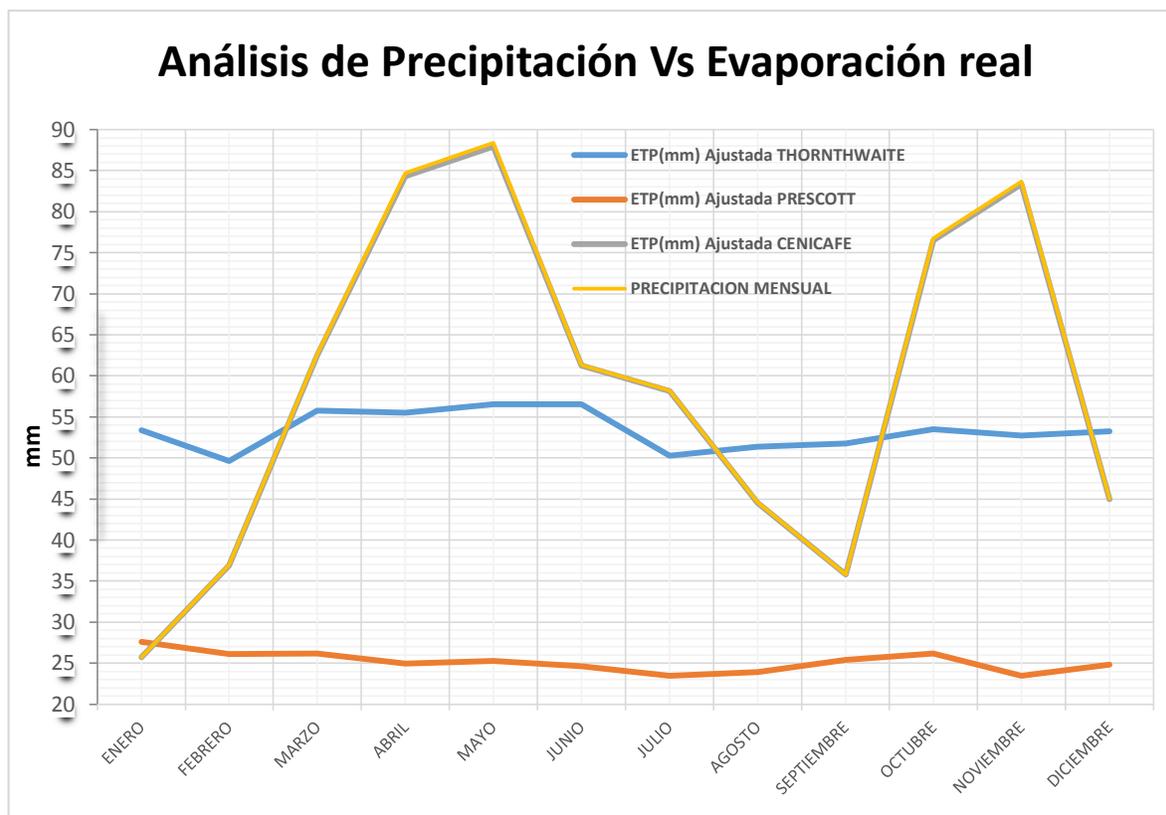
Los resultados se presentan en la tabla 19.

Tabla 19 Evaporación/Evapotranspiración Real

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PP media Doña Juana (mm)	25,7	37,0	62,6	84,7	88,4	61,3	58,2	44,6	35,8	76,8	83,7	45,0
ETP Real CENICAFE (mm)	25,7	36,9	62,5	84,3	87,9	61,2	58,1	44,5	35,8	76,5	83,4	45,0
EVP Real Thorntwaite (mm)	53.4	49.6	55.7	55.5	56.5	56.6	50.2	51.4	51.7	53.5	52.7	53.2
Pmc Prescott (mm)	27,6	26,1	26,2	24,9	25,3	24,6	23,4	23,9	25,4	26,2	23,5	24,8

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

Gráfica 17 Evaporación/Evapotranspiración Real Vs Precipitación



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.2015

En la gráfica 17 se observa que durante Enero, Febrero y Septiembre la curva de precipitación se encuentra en lo más bajo del año, como también existe la mayor diferencia con las líneas de Evapotranspiración Real de Thornthwaite, lo que indica que en este periodo existe el máximo agotamiento del almacenamiento. A partir del Marzo, Abril, Mayo y Junio existe reposición de agua lo que es suficiente para lograr mantener concentración de humedad del suelo y soportar el déficit de los meses de Agosto y Septiembre. Con los registros de Octubre, Noviembre se define el comportamiento bimodal de lluvias permitiendo cerrar los años sin déficit a pesar que el mes de diciembre es un mes desfavorable para esta condición.

4.9 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Tal y como se ha podido comprobar mediante el análisis y resultados del estudio climático de la zona, se establece que el Relleno Sanitario Doña Juana de la ciudad de Bogotá se encuentra en una zona correspondiente a una clasificación climática frío seco con tendencia bimodal en sus principales aspectos y parámetros determinantes del clima.

5. CALIDAD Y CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS

Para el estudio de los residuos sólidos que tendrán por objeto la disposición controlada en las celdas de la Fase 1 y Fase 2 de Optimización de las Zonas VII y VIII del RSDJ, se tomó como base las caracterizaciones y aforos realizados por CGR Doña Juana S.A. E.S.P, como parte de sus compromisos como actual operador y responsable por la administración y mantenimiento del sitio. Una gran parte de la información fue obtenida además de los documentos oficiales presentados ante la IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de las naciones Unidas, como parte integral del proyecto de reducción de emisiones de Biogás como estrategia para la mitigación del efecto invernadero, llevados a cabo por la UAESP y por el operador especializado BIOGAS DOÑA JUANA SA ESP (Carbon BW de Alemania).

Adicionalmente, se obtuvo la parte final de la información de los Informes de Cumplimiento Ambiental anuales presentados por CGR Doña Juana SA ESP a la autoridad ambiental durante el año 2011 al 2013, en complemento a los radicados mediante Estudio de Impacto Ambiental Complementario para la fase 2 de optimización de las zonas VII y VIII del Relleno Sanitario; a continuación se presentan los resultados de dicho análisis.

5.1 AFORO DE RESIDUOS

El ingreso y determinación de la cantidad de residuos con destino a las celdas de disposición final del RSDJ se calcula teniendo como fuente los registros de peso obtenidos en la báscula de ingreso al sitio; allí por diferencia de masa entre el camión recolector a la entrada y a la salida del sitio, se determina su peso descargado en el frente de descargue; a continuación se presentan los registros consolidados por mes para los años 2011 a 2014.

Tabla 20 Tasa de ingreso mensual promedio al RSDJ

Año	Ingreso (Ton/mes)
2011	190.848
2012	189.952
2013	195.925
2014	196.350

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Tal y como se puede apreciar en la tabla 20, la tendencia de ingreso mensual de residuos sólidos para disposición final al sitio en los últimos años ha sido creciente en consecuencia de la dinámica poblacional y demografía creciente de la ciudad de Bogotá y de los municipios adscritos a su área de servicio. A manera general se puede afirmar que la tasa diaria de ingreso de residuos en bruto al RSDJ se sitúa entre las 6300 ton/día y las 6500 ton/día.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS

5.2.1 Método de cuarteo volumétrico in situ

El empleo de este método se refiere a la toma de medidas (Masa y Volumen), así como de muestras directamente en el frente de disposición del Relleno Sanitario, para posteriormente realizar la caracterización fisicoquímica en laboratorio de los residuos sólidos que son dispuestos en una celda de disposición. Se analizaron vehículos recolectores de las 6 macro-rutas residenciales más importantes que atienden el área de servicio de la capital colombiana, por cada uno de los operadores de recolección y aseo autorizados para tal fin.

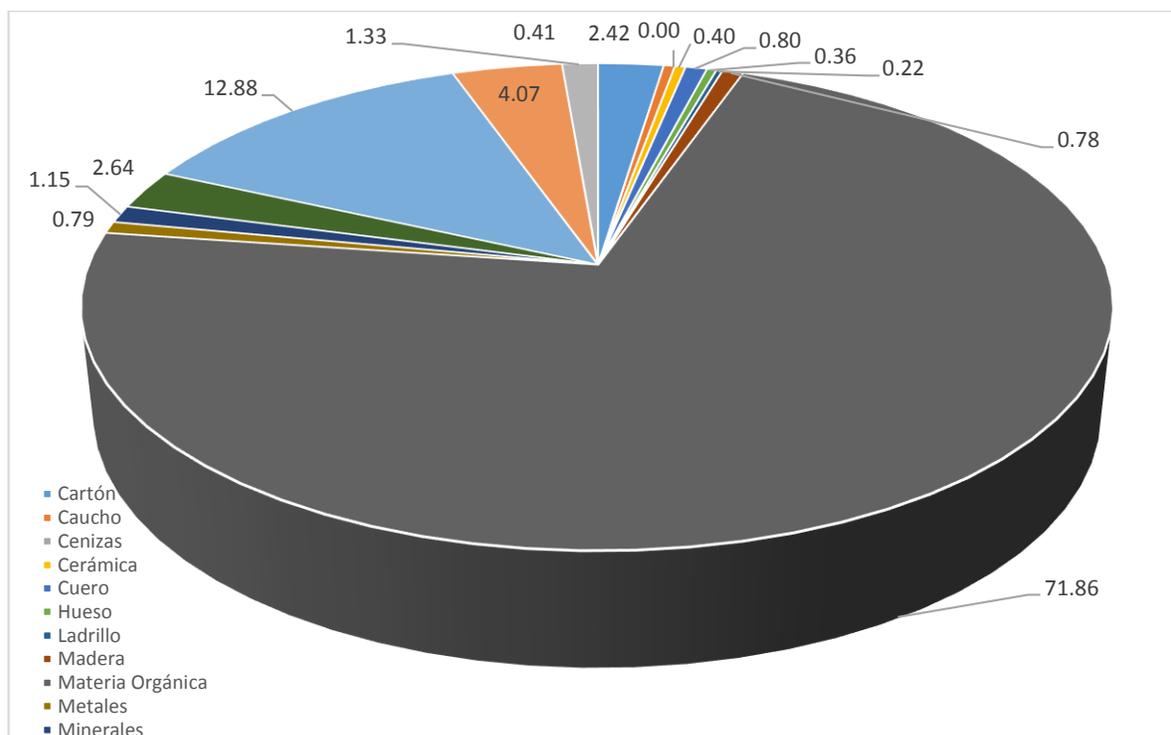
Este método realiza la cuantificación y segregación de los materiales residuales por grupos de composición midiéndolos por porcentaje; los resultados del análisis de datos comprendidos por muestreo y aforos trimestrales realizados entre los años 2011 y 2013 se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21 Aforo y caracterización volumétrica en porcentaje de residuos

Tipo de residuo	Porcentaje (%)
Cartón	2,32
Caucho	0,41
Cenizas	0,00
Cerámica	0,39
Cuero	0,80
Hueso	0,36
Ladrillo	0,22
Madera	0,78
Materia Orgánica	71,86
Metales	0,79
Minerales	1,15
Papel	2,64
Plástico	12,88
Textil	4,07
Vidrio	1,33
TOTAL	100%

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 18 Caracterización de residuos método volumétrico



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Adicional a los datos presentados anteriormente, se presenta el análisis y caracterización de los materiales residuales plásticos encontrados, con el ánimo de determinar por parte del operador del sitio, la viabilidad de inicial un proceso de recuperación y posterior reciclaje de estos materiales, bajo un esquema de sostenibilidad social, ambiental y económica enmarcado dentro de un proyecto responsable para la ciudad de Bogotá.

Tabla 22 Caracterización volumétrica de residuos plásticos

Tipo de plástico	Porcentaje (%)
Tereftalato de Polietileno PET	15,0
Polietileno de Alta Densidad PEAD	31,6
Policloruro de Vinilo PVC	6,4
Polietileno de Baja Densidad PEBD	17,6
Polipropileno PP	17,7
Poliestireno PE	8,1
OTROS	3,6
TOTAL	100%

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

5.2.2 Método según segregación de la IPCC

Este método de caracterización de los residuos sólidos registrado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC por sus siglas en inglés), permite comparar las características típicas de los residuos sólidos que tienen como destino la disposición final en el RSDJ, con los datos estadísticos nacionales del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ahora MADS). A continuación se presentan los resultados estimados al aplicar los factores de características típicas de los residuos, a las tasas brutas diarias de ingreso al RSDJ.

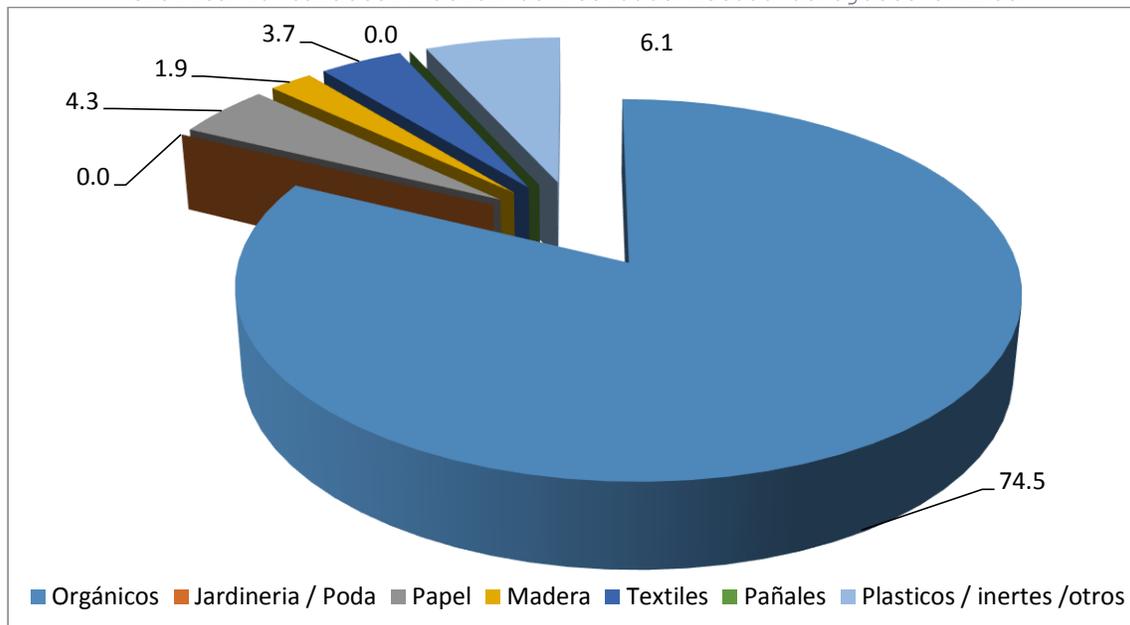
Tabla 23 Caracterización de residuos ajustada a la IPCC

Material	Promedio en porcentaje %	Peso diario aforado Ton
Orgánicos	74,5	4809,5
Jardinería / Poda	0,0	0,0
Papel	4,3	276,8
Madera	2,1	134,1
Textiles	3,7	241,9
Pañales	0,00	0,0
Plásticos / inertes / otros	15,4	993,7
Total	100,0	6456,0

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

La humedad promedio monitoreada para la masa de residuos fue del 68% al 73%, dato tomado directamente de las caracterizaciones realizadas por el operador actual del sitio (CGR Doña Juana SA ESP), en colaboración con el laboratorio especializado de la Universidad de los Andes. El resultado gráfico del análisis de masas de residuos por la Metodología del IPCC se presenta en la gráfica 19.

Gráfica 19 Caracterización de residuos método de ajuste a IPCC



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Del análisis de la caracterización de residuos en Doña Juana se puede concluir:

- El porcentaje de humedad existente en la masa de residuos es superior a 73%, lo cual generará alta cantidad de lixiviados y gases rápidamente por efecto de la descomposición acelerada de la abundante materia orgánica (72% a 75%), dentro de los primeros meses posteriores a su confinamiento en la celda.
- Dadas las altas cantidades de materia orgánica, los lixiviados a ser generados contarán con alta DBO y compuestos nitrogenados en estado reducido, como resultado de los procesos de descomposición y estabilización de cadenas de hidrocarbonadas en condiciones anaerobias.
- De acuerdo con datos no oficiales del operador CGR Doña Juana SA ESP, dentro de la corriente de residuos dispuestos en el sitio, existen mezclados residuos orgánicos con algunos residuos industriales (hasta un 8% diario) y mixtos (hasta un 5% diario) que no pueden ser caracterizados fácilmente mediante métodos de cuarte tradicionales; de acuerdo a esto, se espera que las concentraciones de DQO y de metales pesados en el lixiviado sean altas, así como parte de la DBO, los SST y Sedimentables difícilmente removibles por procesos de quelación con metales y estabilización de compuestos complejos.

6. CAUDALES DE LIXIVIADOS

6.1 CONSOLIDADO DE AFOROS MEDIOS MENSUALES

Se presenta en la tabla 24 el consolidado mensual de caudales aforados por el actual operador en el periodo comprendido entre octubre de 2010 a marzo de 2014, con base en registros tomados a la entrada de la PTL.

Tabla 24 Caudales promedio de lixiviados

FECHA	L/s	FECHA	L/s	FECHA	L/s
oct-10	18,9	dic-11	14,9	feb-13	9,9
nov-10	22,5	ene-12	10,1	mar-13	8,9
dic-10	26,0	feb-12	9,1	abr-13	9,7
ene-11	21,2	mar-12	10.	may-13	9,1
feb-11	19,1	abr-12	10,7	jun-13	13,0
mar-11	20,4	may-12	9,2	jul-13	14,2
abr-11	22,1	jun-12	8,2	ago-13	12,5
may-11	23,2	jul-12	7,5	sep-13	12,0
jun-11	18,2	ago-12	7,2	oct-13	15,1
jul-11	12,7	sep-12	6,9	nov-13	19,6
ago-11	10,7	oct-12	8,9	dic-13	15,4
sep-11	11,3	nov-12	8,9	ene-14	14,5
oct-11	11,3	dic-12	8,9	feb-14	15,4
nov-11	12,5	ene-13	9,5	mar-14	17,2

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

El caudal promedio mensual de lixiviados en el RSDJ para la ventana de tiempo analizada por el presente estudio es de 13,5 L/s.

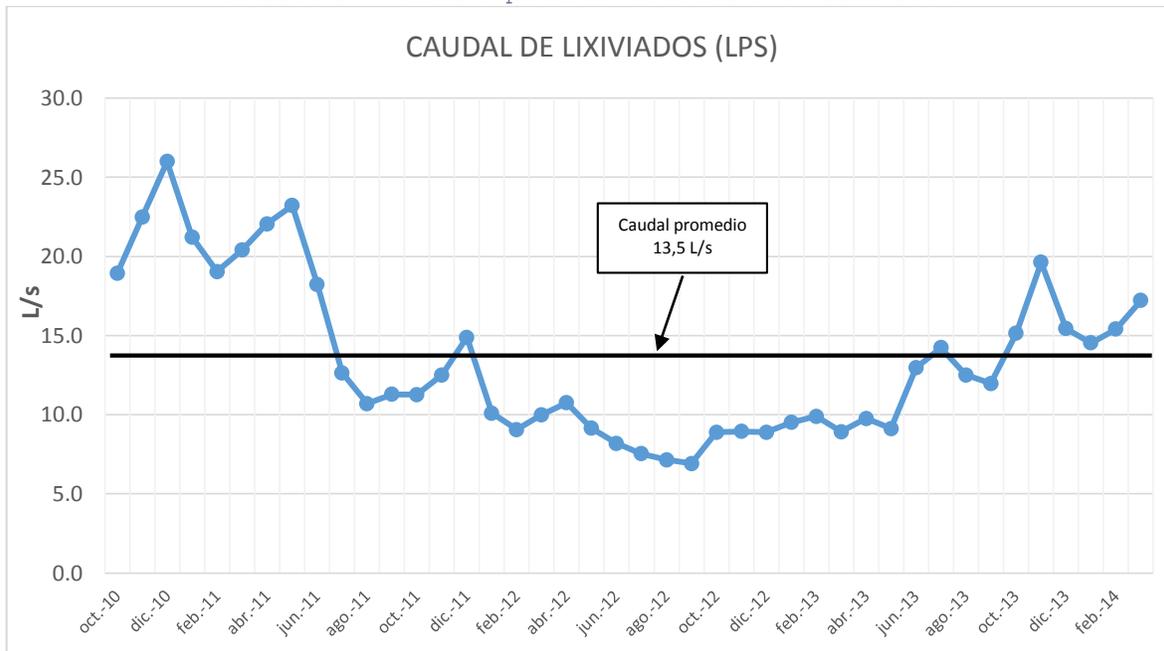
6.2 CONTROL DE LIXIVIADOS

Para mitigar el incremento de caudales de lixiviados, se han adoptado los siguientes controles operativos:

- No permitir la exposición de residuos sólidos, en periodos de alta precipitación más allá de los 6.000 m².
- Ejecutar oportunamente la cobertura temporal de los residuos sólidos; velar por el mantenimiento de las zonas recubiertas con cobertura temporal y final, de manera que se reduzca al máximo la cantidad de grietas, fisuras y perforaciones que faciliten la infiltración del agua lluvia a la masa de residuos.
- Velar por la rápida, oportuna y eficaz construcción y mantenimiento de todos los sistemas de conducción y manejo de las aguas lluvias - tanto en la etapa de operación, cierre y clausura.

- Realizar un mantenimiento periódico de las estructuras, tuberías, filtros y conducciones para el drenaje de los lixiviados, especialmente las estructuras de fondo; para reducir la posibilidad de taponamientos, acumulación excesiva de fluidos en la masa de residuos, variaciones del caudal de lixiviados efectivamente drenados y cambios súbitos en el caudal que será tratado en la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL).

Gráfica 20 Caudales promedio mensuales de lixiviados



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Fotografía 18 Sistemas ultrasónicos para aforo de caudales



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7. CALIDAD DE LIXIVIADOS

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados analizados por un laboratorio acreditado ante el IDEAM, corresponden a la ventana de tiempo comprendida entre noviembre de 2011 y junio de 2014. Los puntos de monitoreo analizados corresponden a:

- **AFLUENTE:** Muestra tomada en la estructura de entrada de la PTL.
- **EFLUENTE:** Muestra tomada en la estructura de entrega de lixiviados tratados al Rio Tunjuelo
- **NORMA:** Concentración máxima permitida por la Resolución CAR 166 de 2008 por la cual se expide el permiso de vertimientos para la PTL del RSDJ.

Para el cálculo de la carga contaminante en el afluente y efluente del sistema de tratamiento, se hace uso de la siguiente expresión:

$$Carga \left[\frac{kg}{d} \right] = Concentración \left[\frac{kg}{m^3} \right] * Caudal \left[\frac{m^3}{d} \right]$$

$$c = [C_c] * Q$$

Donde:

C: Corresponde a la carga contaminante asociada al parámetro de análisis. Se expresa en kg/d.

[C_c]: Corresponde a la concentración del contaminante asociada al parámetro de análisis. Se expresa en kg/m³.

Q: Corresponde al caudal o gasto del flujo o corriente analizada. Se expresa en m³/d.

Para el cálculo de la eficiencia de remoción por contaminante, se hace uso de la siguiente expresión:

$$Eficiencia [\%] = \frac{\left(Carga\ entrada \left[\frac{kg}{d} \right] - Carga\ salida \left[\frac{kg}{d} \right] \right)}{Carga\ de\ entrada \left[\frac{kg}{d} \right]} \times 100$$

$$E[\%] = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100$$

Donde:

C_0 : Carga del contaminante a la entrada del sistema de tratamiento. Se expresa en kg/d.

C_f : Carga del contaminante a la salida del sistema de tratamiento o punto de vertido al Río. Se expresa en kg/d.

E: Corresponde a la eficiencia porcentual en remoción del contaminante, asociada al funcionamiento del sistema global de tratamiento.

Los resultados se presentan en las tablas 25 a 44

7.1 CADMIO

El Cadmio en lixiviados es fuertemente adsorbido por la materia orgánica. Cuando este elemento logra pasar al suelo y a los lodos mal dispuestos por sistemas de tratamiento de lixiviados, puede llegar a ser extremadamente peligroso, facilitando su translocación hacia cultivos y posteriormente hacia humanos y animales por el consumo de alimentos en contacto con este. El Cadmio puede acumularse en los cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto. (LENNTECH, 2012).

En ecosistemas acuáticos el Cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al Cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por Cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben Cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro. (LENNTECH, 2012).

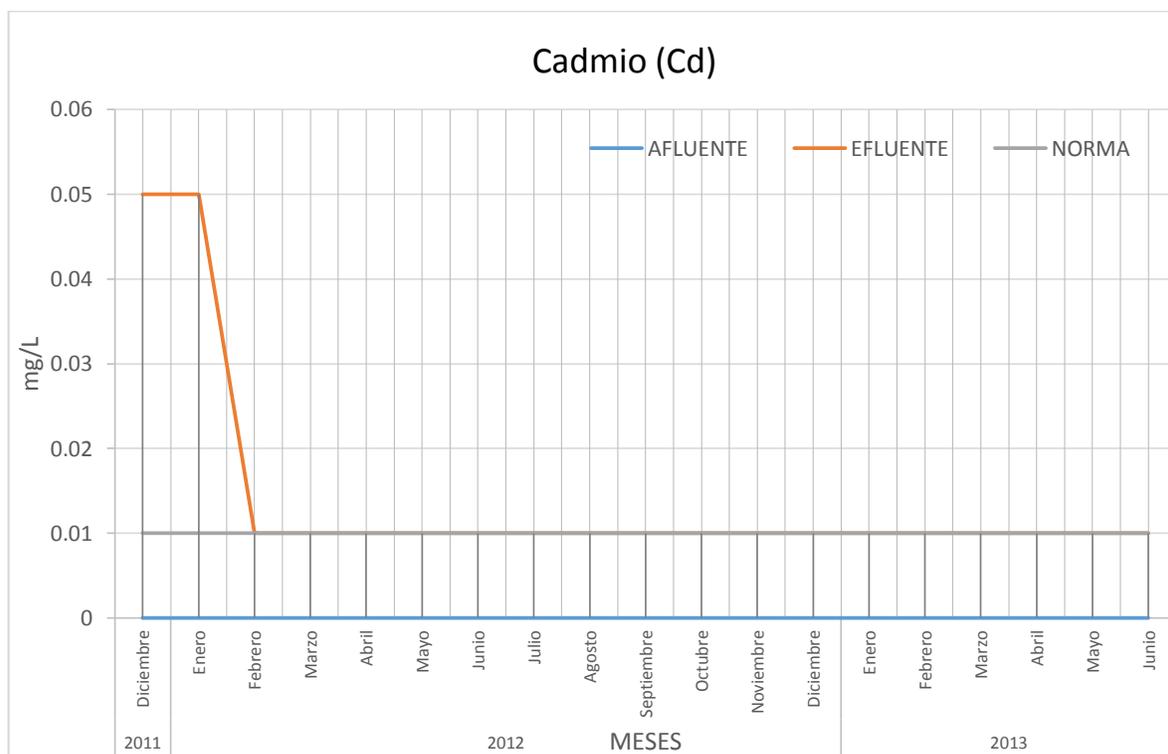
En la tabla 25 y en la gráfica 21 se presentan los valores obtenidos para el Cadmio en el lixiviado del RSDJ, allí se observa que la PTL cumple la norma de vertimientos en el periodo Diciembre de 2011 a Junio de 2013.

Tabla 25 Valores de Cadmio en el lixiviado (Cd)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Diciembre	14,88	0,05	0,05	0,01	0,06	0,06	0%	No Cumple
2012	Enero	10,1	0,05	0,05	0,01	0,04	0,04	0%	No Cumple
	Febrero	9,6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Marzo	9,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Abril	10,74	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Mayo	9,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Junio	8,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Julio	7,53	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Agosto	7,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Septiembre	6,91	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Octubre	8,89	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Noviembre	8,93	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Diciembre	8,9	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
2013	Enero	9,51	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Febrero	9,9	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Marzo	8,92	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Abril	9,75	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Mayo	9,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%	Cumple
	Junio	12,97	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0%	Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 21 Concentraciones de Cadmio (Cd) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.2 NIQUEL

El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0,008% de la corteza terrestre y 0,01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel, y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre. El níquel es un elemento que ocurre en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. Los humanos usan el níquel para muchas aplicaciones diferentes.

La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería.

El níquel es tomado del suelo y de las aguas biomagnificándose cuando la gente consume grandes cantidades de vegetales procedentes de suelos contaminados. Es conocido que las plantas acumulan níquel. (LENNTECH, 2012)

Finalmente, el níquel puede ser encontrado en detergentes. En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades este puede ser peligroso para la salud humana. (LENNTECH, 2012)

La toma de altas cantidades de níquel tiene las siguientes consecuencias:

- Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.
- Enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel.
- Embolia de pulmón.
- Fallos respiratorios.
- Defectos de nacimiento.
- Asma y bronquitis crónica.
- Reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas.
- Desordenes del corazón.

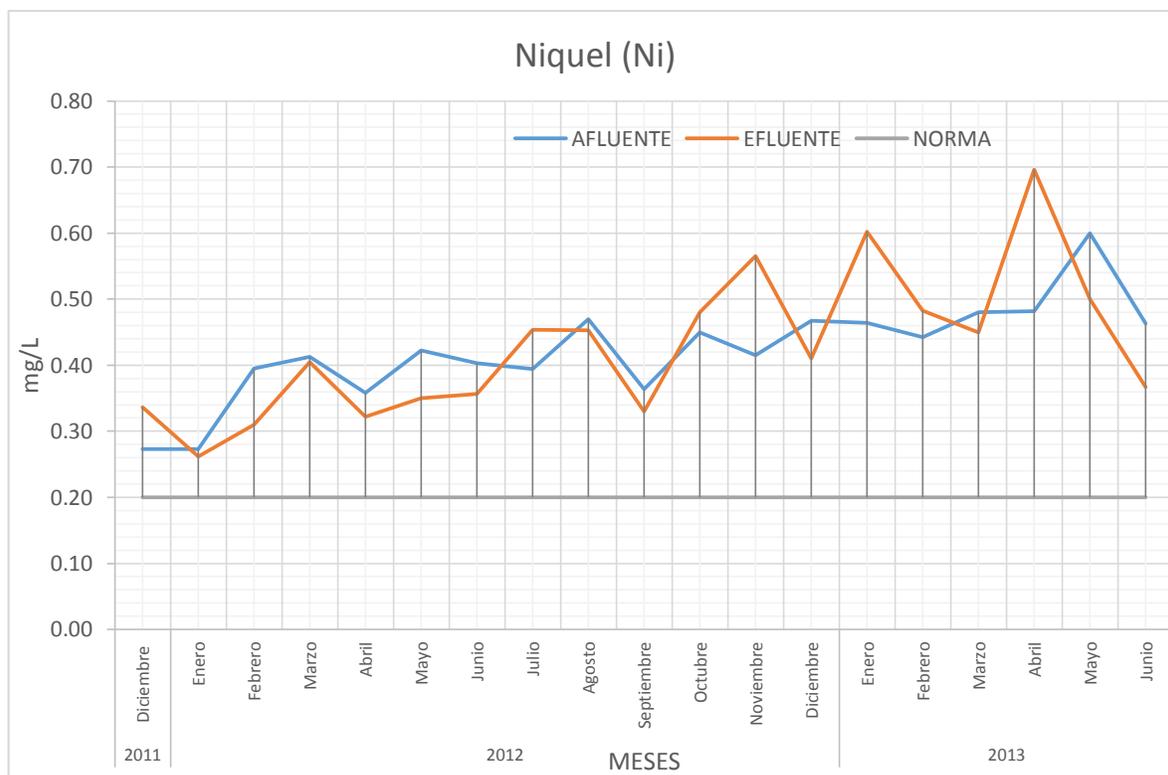
El níquel es liberado a las aguas de lixiviación en rellenos sanitarios, depositándose en el suelo o reaccionando con las gotas de lluvia. En la tabla 26 y en la gráfica 22 se presentan los valores obtenidos para el Níquel en el lixiviado del RSDJ. Se observa que la PTL no cumple la norma de vertimientos en todo el periodo analizado comprendido entre Diciembre de 2011 y Junio de 2013.

Tabla 26 Valores de Níquel en el lixiviado (Ni)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Diciembre	14,9	0,27	0,34	0,2	0,35	0,43	-23%	No Cumple
2012	Enero	10,1	0,27	0,26	0,2	0,24	0,23	4%	No Cumple
	Febrero	9,1	0,40	0,31	0,2	0,31	0,24	22%	No Cumple
	Marzo	10,0	0,41	0,41	0,2	0,36	0,35	2%	No Cumple
	Abril	10,7	0,36	0,32	0,2	0,33	0,30	10%	No Cumple
	Mayo	9,2	0,42	0,35	0,2	0,33	0,28	17%	No Cumple
	Junio	8,2	0,40	0,36	0,2	0,28	0,25	12%	No Cumple
	Julio	7,5	0,39	0,45	0,2	0,26	0,29	-15%	No Cumple
	Agosto	7,2	0,47	0,45	0,2	0,29	0,28	4%	No Cumple
	Septiembre	6,9	0,36	0,33	0,2	0,22	0,19	9%	No Cumple
	Octubre	8,9	0,45	0,48	0,2	0,34	0,37	-7%	No Cumple
	Noviembre	8,9	0,42	0,57	0,2	0,32	0,44	-36%	No Cumple
	Diciembre	8,9	0,47	0,41	0,2	0,36	0,31	12%	No Cumple
2013	Enero	9,5	0,46	0,60	0,2	0,38	0,50	-30%	No Cumple
	Febrero	9,9	0,44	0,48	0,2	0,38	0,41	-9%	No Cumple
	Marzo	8,9	0,48	0,45	0,2	0,37	0,35	6%	No Cumple
	Abril	9,8	0,48	0,70	0,2	0,41	0,59	-44%	No Cumple
	Mayo	9,1	0,60	0,50	0,2	0,47	0,40	17%	No Cumple
	Junio	13,0	0,46	0,37	0,2	0,52	0,41	21%	No Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 22 Concentraciones de Níquel (Ni) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.3 CROMO

En lixiviados proviene principalmente de la descomposición de residuos complejos con alta presencia de metales, chatarra, y desechos industriales; este metal pesado forma tres series de compuestos con otros elementos; éstos se representan en términos de los óxidos de cromo: cromo con valencia dos, CrO , óxido de Cr (II) u óxido cromoso; con valencia tres, Cr_2O_3 , óxido de Cr (III) u óxido crómico, y con valencia seis, CrO_3 , anhídrido de Cr (VI) o anhídrido de ácido crómico. (LENNTECH, 2012)

El cromo es capaz de formar compuestos con otros elementos en estados de oxidación (II), (III) y (VI). El principal interés para el análisis del mismo, lo compone su toxicidad y peligrosidad para la salud pública; los efectos adversos para la salud se pueden agrupar en:

- Erupciones cutáneas
- Malestar de estómago y úlceras
- Problemas respiratorios
- Debilitamiento del sistema inmune
- Daño en los riñones e hígado
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón
- Muerte

El Cromo en aguas puede llegar a afectar cultivos traslocándose hacia los productos comestibles incrementando el riesgo de cáncer en humanos y animales. No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. (LENNTECH, 2012)

En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores. (LENNTECH, 2012)

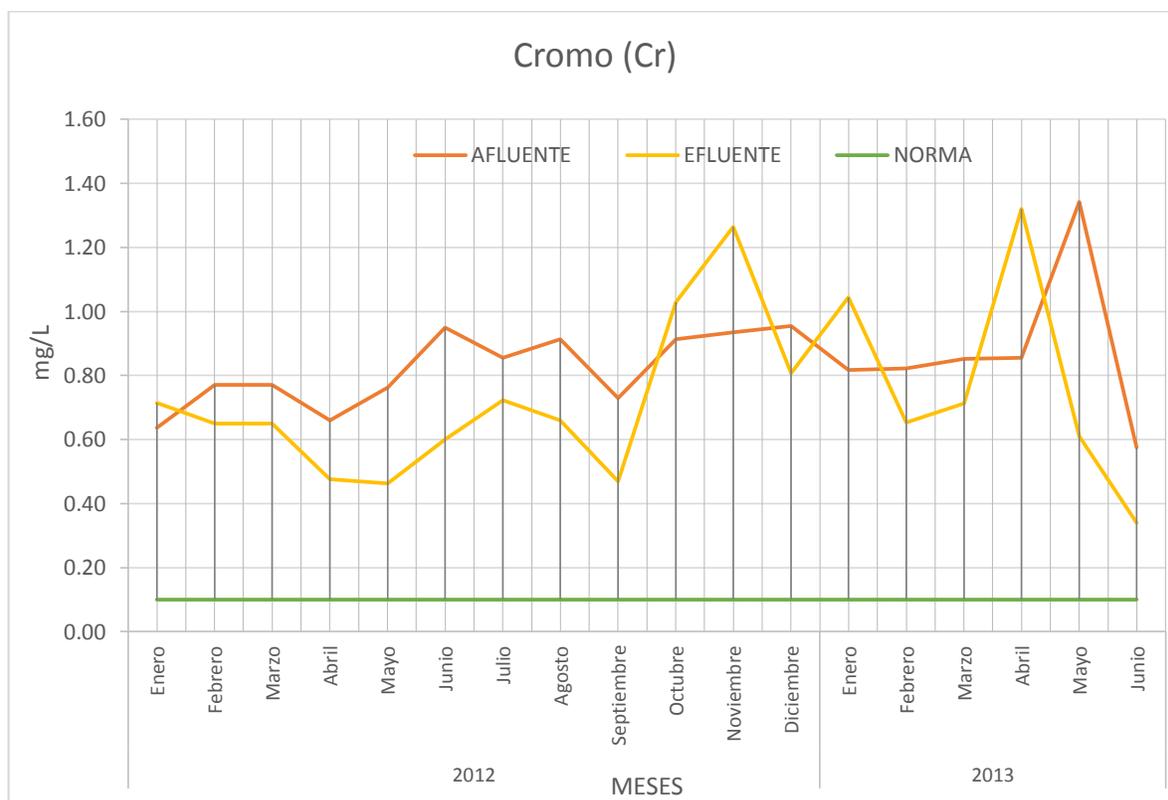
En la tabla 27 y en la gráfica 23 se presentan los valores obtenidos para el Cromo en el lixiviado del RSDJ. Se observa que la PTL no cumple la norma de vertimientos en todo el periodo comprendido entre Enero de 2012 y Junio de 2013.

Tabla 27 Valores de Cromo en el lixiviado (Cr)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2012	Enero	10,1	0,64	0,71	0,1	0,56	0,62	-12%	No Cumple
	Febrero	9,1	0,77	0,65	0,1	0,60	0,51	16%	No Cumple
	Marzo	10,0	0,77	0,65	0,1	0,66	0,56	16%	No Cumple
	Abril	10,7	0,66	0,48	0,1	0,61	0,44	28%	No Cumple
	Mayo	9,2	0,76	0,46	0,1	0,60	0,36	39%	No Cumple
	Junio	8,2	0,95	0,60	0,1	0,67	0,42	37%	No Cumple
	Julio	7,5	0,86	0,72	0,1	0,56	0,47	16%	No Cumple
	Agosto	7,2	0,91	0,66	0,1	0,56	0,40	28%	No Cumple
	Septiembre	6,9	0,73	0,47	0,1	0,43	0,28	36%	No Cumple
	Octubre	8,9	0,91	1,03	0,1	0,70	0,79	-13%	No Cumple
	Noviembre	8,9	0,94	1,27	0,1	0,72	0,98	-35%	No Cumple
	Diciembre	8,9	0,96	0,81	0,1	0,73	0,62	15%	No Cumple
2013	Enero	9,5	0,82	1,04	0,1	0,67	0,86	-28%	No Cumple
	Febrero	9,9	0,82	0,65	0,1	0,70	0,56	21%	No Cumple
	Marzo	8,9	0,85	0,71	0,1	0,66	0,55	16%	No Cumple
	Abril	9,8	0,86	1,32	0,1	0,72	1,11	-54%	No Cumple
	Mayo	9,1	1,34	0,61	0,1	1,06	0,48	55%	No Cumple
	Junio	13,0	0,58	0,34	0,1	0,64	0,38	41%	No Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 23 Concentraciones de Cromo (Cr) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.4 FENOLES

Los fenoles son compuestos aromáticos comunes en aguas residuales y lixiviados provenientes de desechos industriales, hospitalarios y del sector farmacéutico. Los fenoles en aguas residuales y lixiviados se consideran no biodegradables, pero se ha demostrado que son tolerables hasta concentraciones de 500 mg/L. Este compuesto tiene alta demanda de oxígeno (OD) (LENNTECH, 2012).

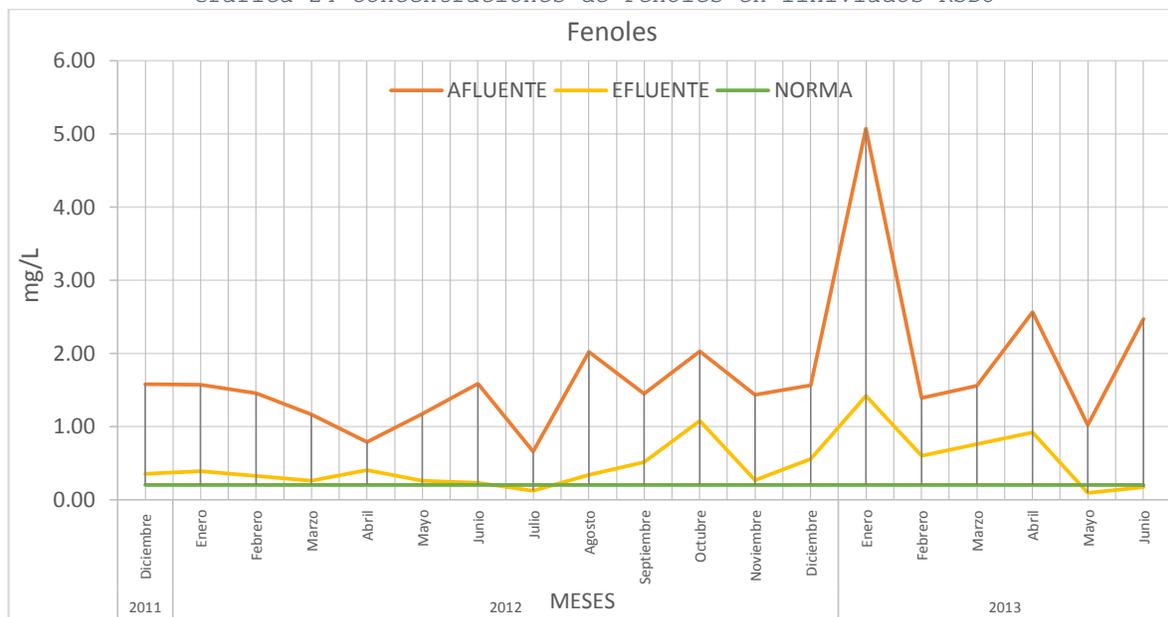
En la tabla 28 y en la gráfica 24 se presentan los valores obtenidos para Fenoles en el lixiviado del RSDJ. Se observa que la PTL solo cumplió la norma de vertimientos para fenoles en los meses de julio de 2012, así como en los meses de mayo y junio de 2013.

Tabla 28 Valores de Fenoles en el lixiviado

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Diciembre	14,9	1,58	0,35	0,2	2,03	0,45	78%	No Cumple
2012	Enero	10,1	1,57	0,39	0,2	1,37	0,34	75%	No Cumple
	Febrero	9,1	1,46	0,33	0,2	1,14	0,26	77%	No Cumple
	Marzo	10,0	1,16	0,26	0,2	1,01	0,22	78%	No Cumple
	Abril	10,7	0,79	0,41	0,2	0,73	0,38	48%	No Cumple
	Mayo	9,2	1,17	0,26	0,2	0,92	0,20	78%	No Cumple
	Junio	8,2	1,59	0,23	0,2	1,12	0,16	86%	No Cumple
	Julio	7,5	0,66	0,12	0,2	0,43	0,08	82%	Cumple
	Agosto	7,2	2,02	0,34	0,2	1,25	0,21	83%	No Cumple
	Septiembre	6,9	1,45	0,51	0,2	0,86	0,30	65%	No Cumple
	Octubre	8,9	2,03	1,08	0,2	1,56	0,82	47%	No Cumple
	Noviembre	8,9	1,44	0,27	0,2	1,10	0,20	82%	No Cumple
	Diciembre	8,9	1,57	0,56	0,2	1,20	0,43	65%	No Cumple
2013	Enero	9,5	5,07	1,42	0,2	4,16	1,17	72%	No Cumple
	Febrero	9,9	1,39	0,60	0,2	1,19	0,51	57%	No Cumple
	Marzo	8,9	1,56	0,76	0,2	1,20	0,58	51%	No Cumple
	Abril	9,8	2,57	0,92	0,2	2,16	0,77	64%	No Cumple
	Mayo	9,1	1,02	0,10	0,2	0,80	0,07	91%	Cumple
	Junio	13,0	2,47	0,17	0,2	2,77	0,19	93%	Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 24 Concentraciones de Fenoles en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.5 BORO

El Boro en aguas residuales y lixiviados proviene principalmente de la industria metalúrgica y de la industria de vidrios, razón por la cual su fuente principal la constituyen los de residuos metálicos tales como chatarra. Las plantas absorben Boro del suelo y a través del consumo de plantas por los animales este termina en las cadenas alimentarias. (LENNTECH, 2012).

El Boro ha sido encontrado en los tejidos animales pero este no parece ser que se acumule. Cuando los animales absorben grandes cantidades de Boro en un periodo de tiempo corto a través de la comida o el agua los órganos reproductivos masculinos serán afectados. Cuando los animales son expuestos al Boro durante el embarazo sus descendientes pueden sufrir defectos de nacimiento y fallos en el desarrollo. Además, los animales sufren irritación de nariz cuando respiran Boro. Los humanos pueden ser expuestos al Boro a través de las frutas y vegetales, el agua, aire y el consumo de productos. Cuando se consumen grandes cantidades de comida que contiene Boro, la concentración de Boro en sus cuerpos puede aumentar a niveles que causan problemas de salud. El Boro puede infectar el estómago, hígado, riñones y cerebro y puede eventualmente llevar a la muerte. Cuando la exposición es con pequeñas cantidades de Boro tiene lugar la irritación de la nariz, garganta y ojos. (LENNTECH, 2012).

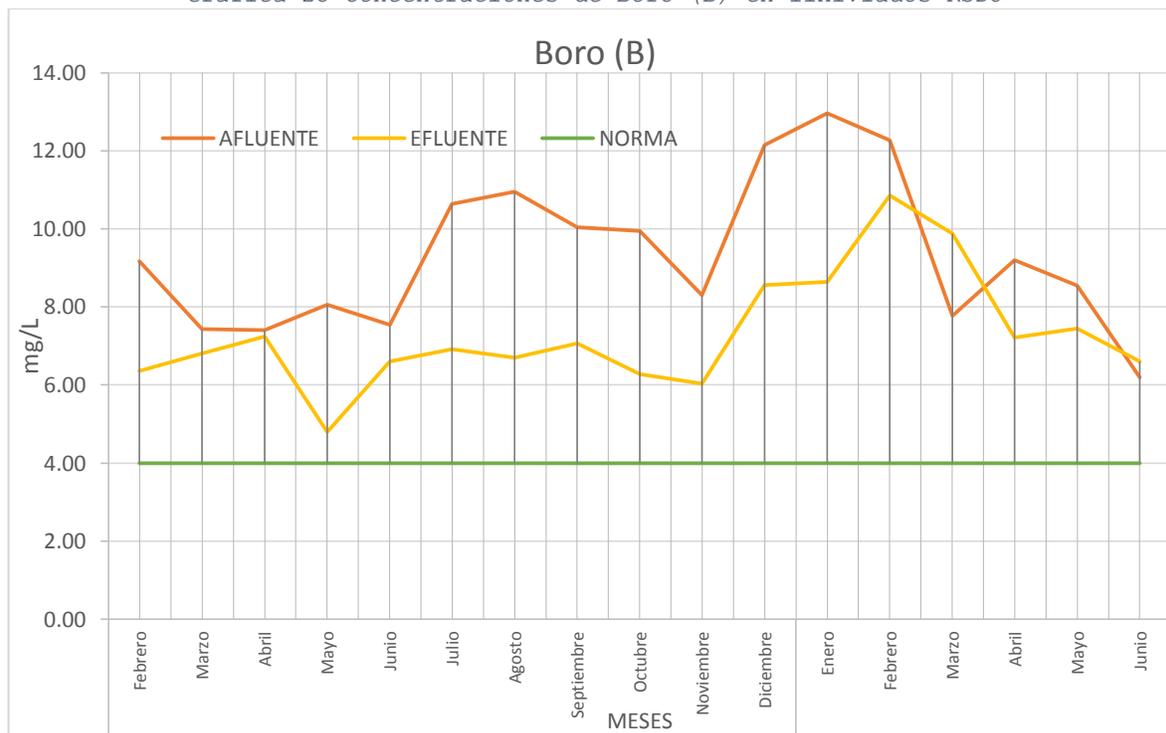
En la tabla 29, se presentan los valores obtenidos para Boro en el lixiviado del RSDJ. Se observa que la PTL no cumple la norma de vertimientos en el periodo comprendido entre Febrero de 2012 y Junio de 2013.

Tabla 29 Valores de Boro en el lixiviado (B)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2012	Febrero	9,1	9,18	6,36	4	7,18	4,98	31%	No Cumple
	Marzo	10,0	7,43	6,80	4	6,41	5,87	8%	No Cumple
	Abril	10,7	7,40	7,24	4	6,87	6,72	2%	No Cumple
	Mayo	9,2	8,05	4,80	4	6,36	3,79	40%	No Cumple
	Junio	8,2	7,53	6,60	4	5,32	4,66	12%	No Cumple
	Julio	7,5	10,64	6,92	4	6,92	4,50	35%	No Cumple
	Agosto	7,2	10,95	6,70	4	6,76	4,14	39%	No Cumple
	Septiembre	6,9	10,03	7,07	4	5,99	4,22	30%	No Cumple
	Octubre	8,9	9,95	6,28	4	7,64	4,82	37%	No Cumple
	Noviembre	8,9	8,30	6,03	4	6,40	4,65	27%	No Cumple
	Diciembre	8,9	12,15	8,56	4	9,34	6,58	30%	No Cumple
2013	Enero	9,5	12,96	8,64	4	10,65	7,10	33%	No Cumple
	Febrero	9,9	12,28	10,85	4	10,50	9,28	12%	No Cumple
	Marzo	8,9	7,78	9,88	4	5,99	7,61	-27%	No Cumple
	Abril	9,8	9,20	7,22	4	7,75	6,08	22%	No Cumple
	Mayo	9,1	8,55	7,45	4	6,74	5,87	13%	No Cumple
	Junio	13,0	6,20	6,60	4	6,95	7,40	-6%	No Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 25 Concentraciones de Boro (B) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.6 MANGANESO

El Manganeseo en aguas residuales y lixiviados proviene principalmente de la industria de pinturas y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. Los efectos de altas concentraciones de este elemento afectan en la salud humana el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con Manganeseo son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. (LENNTECH, 2012).

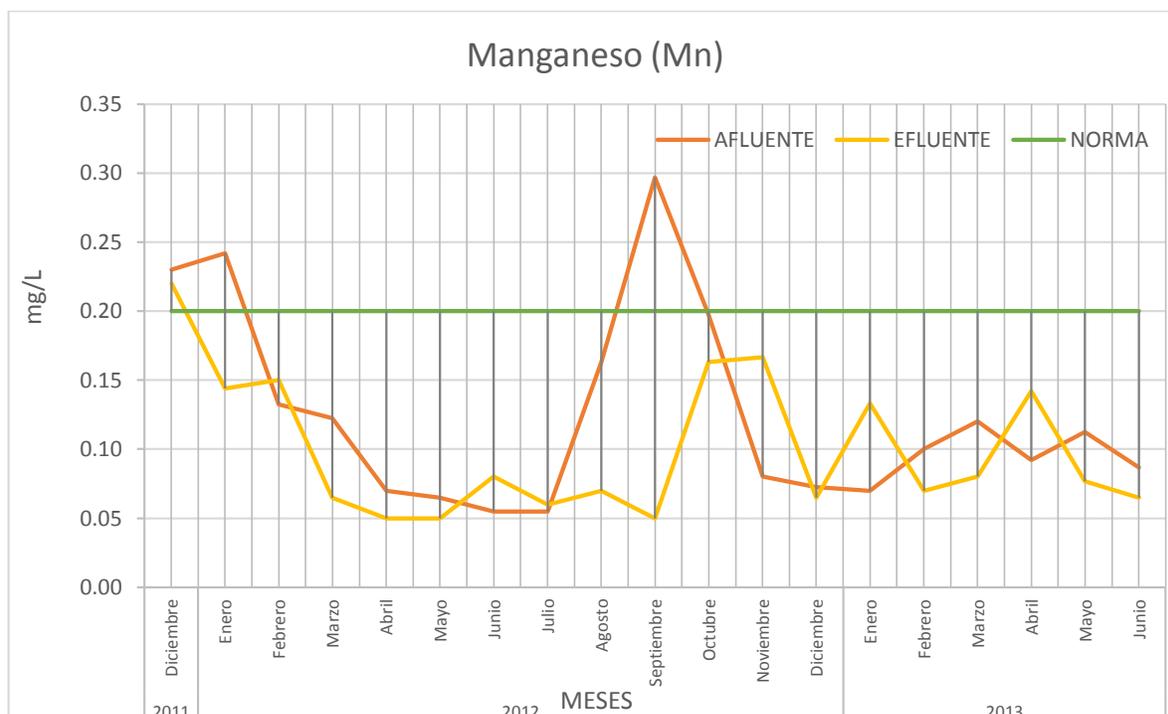
El manganeseo puede causar Parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis. En la tabla 30 y en la gráfica 26 se presentan los valores obtenidos para Manganeseo en el lixiviado del RSDJ. Se observa que la PTL cumple con la norma de vertimientos en el periodo comprendido entre el mes de enero de 2012 a junio de 2013; sin embargo de lo anterior, en el mes de diciembre de 2011 se presentó un incumplimiento de la norma de vertimientos.

Tabla 30 Valores de Manganeseo en el lixiviado (Mn)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Diciembre	14,9	0,23	0,22	0,2	0,29	0,28	4%	No Cumple
2012	Enero	10,1	0,24	0,14	0,2	0,21	0,13	40%	Cumple
	Febrero	9,1	0,13	0,15	0,2	0,10	0,18	-13%	Cumple
	Marzo	10,0	0,12	0,06	0,2	0,10	0,06	47%	Cumple
	Abril	10,7	0,07	0,05	0,2	0,06	0,05	29%	Cumple
	Mayo	9,2	0,06	0,05	0,2	0,05	0,04	23%	Cumple
	Junio	8,2	0,05	0,08	0,2	0,04	0,06	-45%	Cumple
	Julio	7,5	0,05	0,06	0,2	0,04	0,04	-9%	Cumple
	Agosto	7,2	0,16	0,07	0,2	0,10	0,04	57%	Cumple
	Septiembre	6,9	0,30	0,05	0,2	0,18	0,03	83%	Cumple
	Octubre	8,9	0,20	0,16	0,2	0,15	0,13	17%	Cumple
	Noviembre	8,9	0,08	0,17	0,2	0,06	0,13	-108%	Cumple
Diciembre	8,9	0,07	0,06	0,2	0,06	0,05	10%	Cumple	
2013	Enero	9,5	0,07	0,13	0,2	0,06	0,11	-90%	Cumple
	Febrero	9,9	0,10	0,07	0,2	0,08	0,06	30%	Cumple
	Marzo	8,9	0,12	0,08	0,2	0,09	0,06	33%	Cumple
	Abril	9,8	0,09	0,14	0,2	0,08	0,12	-54%	Cumple
	Mayo	9,1	0,11	0,08	0,2	0,09	0,06	32%	Cumple
	Junio	13,0	0,09	0,06	0,2	0,10	0,07	25%	Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 26 Concentraciones de Manganeso (Mn) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.7 MERCURIO

El mercurio metálico se usa en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, como fluido de trabajo en bombas de difusión en técnicas de vacío, en la fabricación de rectificadores de vapor de mercurio, termómetros, barómetros, tacómetros y termostatos y en la manufactura de lámparas de vapor de mercurio. Históricamente se utilizó en amalgamas de plata para empastes de dientes. El Mercurio en estos mecanismos está atrapado y usualmente no causa ningún problema de salud. De cualquier manera, cuando un termómetro se rompe una exposición significativamente alta al Mercurio ocurre a través de la respiración, esto ocurrirá por un periodo de tiempo corto mientras este se evapora. Esto puede causar efectos dañinos, como daño a los nervios, al cerebro y riñones, irritación de los pulmones, irritación de los ojos, reacciones en la piel, vómitos y diarreas. El Mercurio no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de Mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de Mercurio. El Mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar

en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos. El Mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente:

- Daño al sistema nervioso
- Daño a las funciones del cerebro
- Daño al ADN y cromosomas
- Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza
- Efectos negativos en la reproducción, daño en el espermatozoides, defectos de nacimientos y abortos

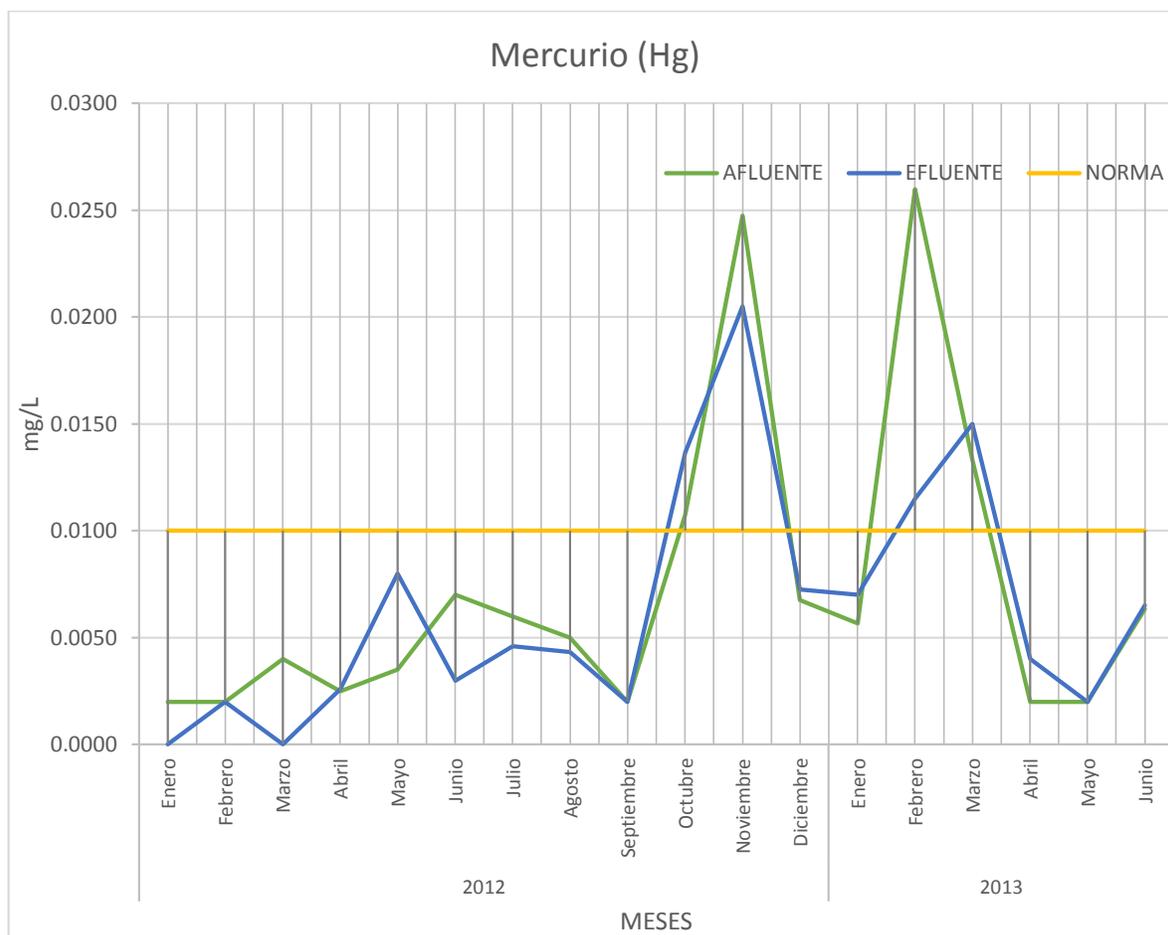
Aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de Mercurio. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de Mercurio en el agua se incrementarán debido a la movilización del Mercurio en el suelo. El Mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos los microorganismos pueden convertirlo en Metil mercurio, una substancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso. (LENNTECH, 2012). En la tabla 31 y en la gráfica 27, se presentan los valores obtenidos para Mercurio en el lixiviado del RSDJ. Se observa que en los meses de octubre y noviembre de 2012, así como en febrero y marzo de 2013 se incumple la norma de vertimientos para mercurio.

Tabla 31 Valores de Mercurio en el lixiviado (Hg)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2012	Enero	10,1	0,0020	0,0000	0,01	0,0018	0,0000	100%	Cumple
	Febrero	9,1	0,0020	0,0020	0,01	0,0016	0,0016	0%	Cumple
	Marzo	10,0	0,0040	0,0000	0,01	0,0035	0,0000	100%	Cumple
	Abril	10,7	0,0025	0,0026	0,01	0,0023	0,0024	-4%	Cumple
	Mayo	9,2	0,0035	0,0080	0,01	0,0028	0,0063	-129%	Cumple
	Junio	8,2	0,0070	0,0030	0,01	0,0050	0,0021	57%	Cumple
	Julio	7,5	0,0060	0,0046	0,01	0,0039	0,0030	23%	Cumple
	Agosto	7,2	0,0050	0,0043	0,01	0,0031	0,0027	13%	Cumple
	Septiembre	6,9	0,0020	0,0020	0,01	0,0012	0,0012	0%	Cumple
	Octubre	8,9	0,0108	0,0137	0,01	0,0083	0,0105	-27%	No Cumple
	Noviembre	8,9	0,0248	0,0205	0,01	0,0191	0,0158	17%	No Cumple
	Diciembre	8,9	0,0068	0,0073	0,01	0,0052	0,0056	-7%	Cumple
2013	Enero	9,5	0,0057	0,0070	0,01	0,0047	0,0058	-24%	Cumple
	Febrero	9,9	0,0260	0,0115	0,01	0,0222	0,0098	56%	No Cumple
	Marzo	8,9	0,0133	0,0150	0,01	0,0103	0,0116	-13%	No Cumple
	Abril	9,8	0,0020	0,0040	0,01	0,0017	0,0034	-100%	Cumple
	Mayo	9,1	0,0020	0,0020	0,01	0,0016	0,0016	0%	Cumple
	Junio	13,0	0,0063	0,0065	0,01	0,0071	0,0073	-3%	Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 27 Concentraciones de Mercurio (Hg) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.8 GRASAS Y ACEITES

Las grasas son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido. Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética. (LENNTECH, 2012).

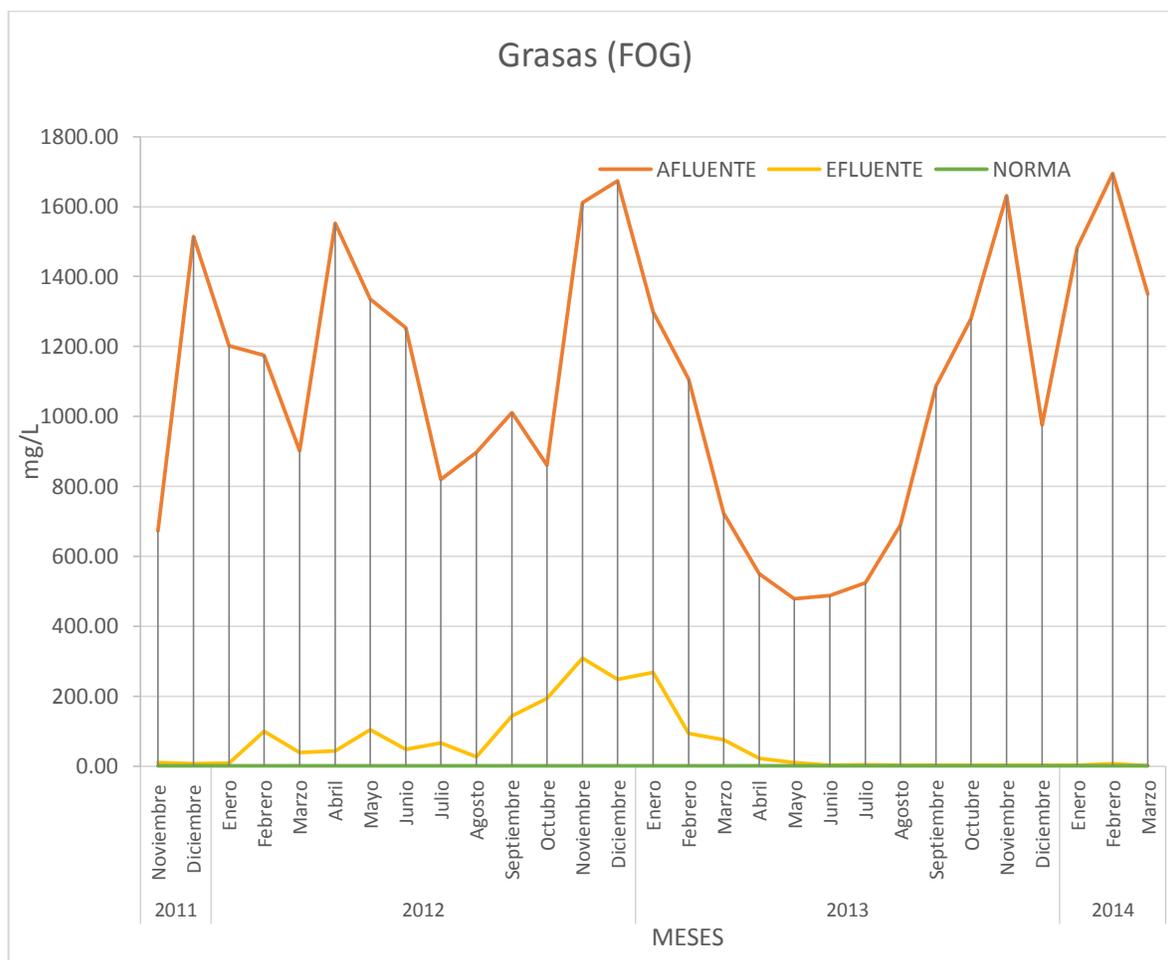
En la tabla 32 y en la gráfica 28 se presentan los valores obtenidos para Grasas y Aceites en el lixiviado del RSDJ. Se puede observar que en el periodo comprendido entre noviembre de 2011 y marzo de 2014 no se da cumplimiento con la norma de vertimientos para grasas y aceites.

Tabla 32 Valores de Grasas en el lixiviado (FOG)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Noviembre	12,5	673	11	2	727	11	98%	No Cumple
	Diciembre	14,9	1515	8	2	1948	10	99%	No Cumple
2012	Enero	10,1	1201	9	2	1048	8	99%	No Cumple
	Febrero	9,1	1175	100	2	920	78	92%	No Cumple
	Marzo	10,0	902	39	2	778	34	96%	No Cumple
	Abril	10,7	1552	43	2	1440	40	97%	No Cumple
	Mayo	9,2	1336	105	2	1056	83	92%	No Cumple
	Junio	8,2	1253	49	2	886	35	96%	No Cumple
	Julio	7,5	820	67	2	533	43	92%	No Cumple
	Agosto	7,2	897	28	2	554	17	97%	No Cumple
	Septiembre	6,9	1011	144	2	603	86	86%	No Cumple
	Octubre	8,9	861	194	2	662	149	78%	No Cumple
	Noviembre	8,9	1611	309	2	1243	238	81%	No Cumple
	Diciembre	8,9	1674	249	2	1287	191	85%	No Cumple
2013	Enero	9,5	1298	269	2	1067	221	79%	No Cumple
	Febrero	9,9	1106	94	2	946	80	92%	No Cumple
	Marzo	8,9	723	77	2	558	59	89%	No Cumple
	Abril	9,8	550	23	2	463	19	96%	No Cumple
	Mayo	9,1	478	11	2	377	9	98%	No Cumple
	Junio	13,0	488	3	2	547	3	99%	No Cumple
	Julio	14,2	525	4	2	645	5	99%	No Cumple
	Agosto	12,5	690	3	2	746	3	100%	No Cumple
	Septiembre	12,0	1087	3	2	1123	3	100%	No Cumple
	Octubre	15,1	1280	3	2	1674	3	100%	No Cumple
	Noviembre	19,6	1631	3	2	2764	5	100%	No Cumple
	Diciembre	15,4	977	3	2	1303	4	100%	No Cumple
2014	Enero	14,5	1482	3	2	1862	4	100%	No Cumple
	Febrero	15,4	1694	8	2	2256	10	100%	No Cumple
	Marzo	17,2	1351	2	2	2009	3	100%	No Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 28 Concentraciones de Grasas (FOG) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.9 ALCALINIDAD

Las aguas residuales industriales y municipales necesitan ser tratadas antes de que ingrese en las masas de agua, como los lagos, los canales y los ríos. Los niveles extremos de pH, los contaminantes tóxicos como el arsénico y los niveles elevados de alcalinidad son los problemas comunes de las aguas residuales. La alcalinidad en las aguas residuales se debe a la presencia de sales minerales disueltas, incluyendo sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. Los niveles elevados de alcalinidad pueden originar problemas, como las grandes cantidades de sarro y lodo, el sobrecalentamiento de los intercambiadores de calor y las obstrucciones de las tuberías. En la mayoría de estos casos, la alcalinidad elevada resulta un problema antes que la alcalinidad baja. (LENNTECH, 2012).

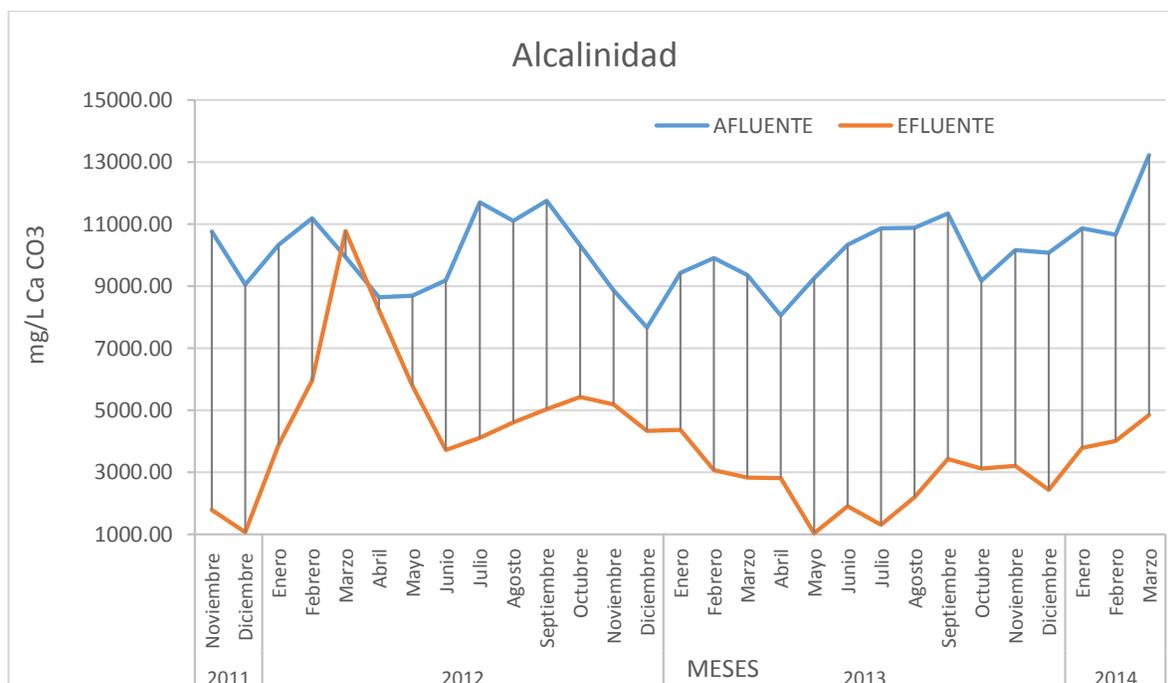
En la tabla 33, se presentan los valores obtenidos para Alcalinidad en el lixiviado del RSDJ. Se puede observar que el lixiviado crudo es fuertemente alcalino (7673 a 13223 mg/L), así como el efluente tratado (1030 a 10770 mg/L); en la ventana de tiempo analizada, la alcalinidad del lixiviado tratado es sensiblemente menor que la del lixiviado crudo.

Tabla 33 Valores de Alcalinidad en el lixiviado

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE
		L/s	mg/L	mg/L
2011	Noviembre	12,5	10761	1795
	Diciembre	14,9	9050	1063
2012	Enero	10,1	10333	3885
	Febrero	9,1	11182	5955
	Marzo	10,0	9938	10770
	Abril	10,7	8641	8225
	Mayo	9,2	8689	5780
	Junio	8,2	9183	3721
	Julio	7,5	11696	4111
	Agosto	7,2	11095	4602
	Septiembre	6,9	11746	5036
	Octubre	8,9	10318	5435
	Noviembre	8,9	8864	5182
	Diciembre	8,9	7673	4328
2013	Enero	9,5	9432	4368
	Febrero	9,9	9899	3071
	Marzo	8,9	9354	2835
	Abril	9,8	8058	2822
	Mayo	9,1	9246	1031
	Junio	13,0	10338	1914
	Julio	14,2	10854	1304
	Agosto	12,5	10875	2196
	Septiembre	12,0	11344	3422
	Octubre	15,1	9167	3125
	Noviembre	19,6	10161	3214
	Diciembre	15,4	10072	2434
2014	Enero	14,5	10852	3795
	Febrero	15,4	10655	4017
	Marzo	17,2	13223	4849

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 29 Concentraciones de Alcalinidad en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.10 CONDUCTIVIDAD

La conductividad evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que ese sustrato está compuesto por materiales que no se ionizan. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , u otros iones. (LENNTECH, 2012).

Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad. La unidad básica para medir la conductividad es el siemens por centímetro. El agua destilada tiene una conductividad en el rango de 0,5 a 3 μ Siemens /cm (un μ S es la millonésima parte de un Siemens). La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1.500 μ S/cm. En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden

indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. (LENNTECH, 2012).

Algunos efluentes industriales pueden llegar a tener más de 10.000 $\mu S/cm$. Es por esto que la conductividad es una medida generalmente útil como indicador de la calidad de aguas dulces. Cada cuerpo de agua tiene un rango relativamente constante de conductividad, que una vez conocido, puede ser utilizado como línea de base para comparaciones con otras determinaciones puntuales. Cambios significativos pueden ser indicadores eventos puntuales de contaminación. (LENNTECH, 2012).

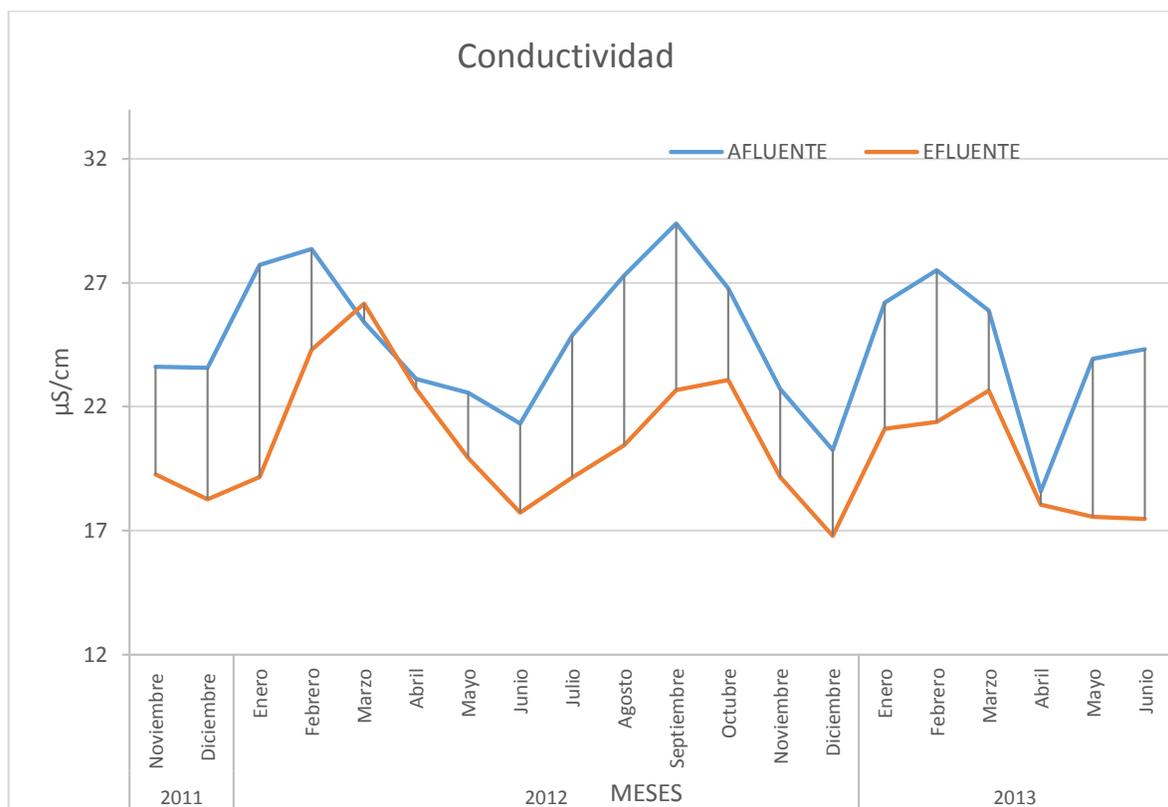
En la tabla 34 y en la gráfica 30 se presentan los valores obtenidos para Conductividad en el lixiviado del RSDJ. Se observa en general que la conductividad del lixiviado tratado es menos que la del lixiviado crudo.

Tabla 34 Valores de Conductividad en el lixiviado

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE
		L/s	$\mu S/cm$	$\mu S/cm$
2011	Noviembre	12,5	23,61	19,27
	Diciembre	14,9	23,57	18,27
2012	Enero	10,1	27,72	19,17
	Febrero	9,1	28,36	24,31
	Marzo	10,0	25,42	26,16
	Abril	10,7	23,12	22,73
	Mayo	9,2	22,58	19,94
	Junio	8,2	21,32	17,74
	Julio	7,5	24,88	19,14
	Agosto	7,2	27,30	20,45
	Septiembre	6,9	29,40	22,68
	Octubre	8,9	26,78	23,08
	Noviembre	8,9	22,72	19,16
	Diciembre	8,9	20,25	16,78
2013	Enero	9,5	26,21	21,12
	Febrero	9,9	27,50	21,39
	Marzo	8,9	25,89	22,66
	Abril	9,8	18,59	18,04
	Mayo	9,1	23,94	17,55
	Junio	13,0	24,32	17,48

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 30 Niveles de conductividad en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.11 PH

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno [H]⁺ presentes en aguas. Son ácidas las soluciones con pH menores que 7, y alcalinas las de pH superiores a 7. En lixiviados, el pH está dado por la mezcla de los compuestos derivados del proceso de descomposición de los materiales residuales que fueron dispuestos en la celda de confinamiento de residuos, es decir, el pH depende indirectamente de la naturaleza de los residuos sólidos y es característica del Relleno Sanitario en particular, así como del periodo de operación y vida útil en el cual se encuentre al momento del análisis.

En el tratamiento de lixiviados, el pH de cada etapa del proceso determina la favorabilidad en la remoción de los contaminantes para cada fase en planta:

- A pH entre 6,5 y 8,5 se favorecen los procesos de remoción de contaminantes por efecto de la actividad biológica.
- Los pH más favorables para la realización de procesos de desnitrificación - post-desnitrificación se encuentran entre 7,2 a 9,0 unidades.

- La remoción de la mayor parte de metales se realiza a pH comprendidos entre 9,5 a 10,5 unidades.

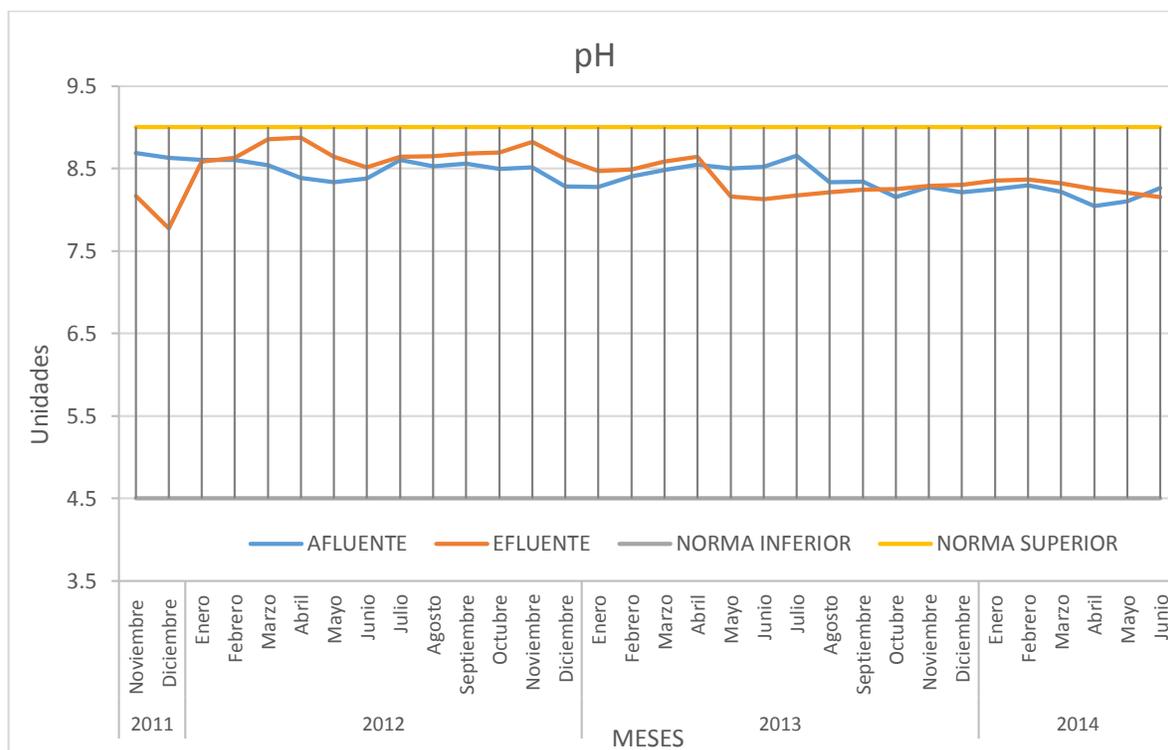
En la tabla 35 y en la gráfica 31, se presentan los valores obtenidos para pH en el lixiviado del RSDJ. Se observa que tanto el lixiviado crudo, como el tratado, cumplen la norma de vertimiento para pH. De la misma manera, se observa que el lixiviado del RSDJ es fuertemente alcalino con pH superior en todo el periodo analizado a 7,8 unidades.

Tabla 35 Valores de pH en el lixiviado

Año	Mes	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA INFERIOR	NORMA SUPERIOR
2011	Noviembre	8,7	8,2	4,5	9,0
	Diciembre	8,6	7,8	4,5	9,0
2012	Enero	8,6	8,6	4,5	9,0
	Febrero	8,6	8,6	4,5	9,0
	Marzo	8,5	8,9	4,5	9,0
	Abril	8,4	8,9	4,5	9,0
	Mayo	8,3	8,6	4,5	9,0
	Junio	8,4	8,5	4,5	9,0
	Julio	8,6	8,6	4,5	9,0
	Agosto	8,5	8,7	4,5	9,0
	Septiembre	8,6	8,7	4,5	9,0
	Octubre	8,5	8,7	4,5	9,0
	Noviembre	8,5	8,8	4,5	9,0
	Diciembre	8,3	8,6	4,5	9,0
2013	Enero	8,3	8,5	4,5	9,0
	Febrero	8,4	8,5	4,5	9,0
	Marzo	8,5	8,6	4,5	9,0
	Abril	8,6	8,6	4,5	9,0
	Mayo	8,5	8,2	4,5	9,0
	Junio	8,5	8,1	4,5	9,0
	Julio	8,7	8,2	4,5	9,0
	Agosto	8,3	8,2	4,5	9,0
	Septiembre	8,3	8,2	4,5	9,0
	Octubre	8,2	8,3	4,5	9,0
	Noviembre	8,3	8,3	4,5	9,0
	Diciembre	8,2	8,3	4,5	9,0
2014	Enero	8,3	8,4	4,5	9,0
	Febrero	8,3	8,4	4,5	9,0
	Marzo	8,2	8,3	4,5	9,0
	Abril	8,0	8,3	4,5	9,0
	Mayo	8,1	8,2	4,5	9,0
	Junio	8,3	8,2	4,5	9,0

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 31 Unidades de pH en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.12 OXÍGENO DISUELTO

Este parámetro hace relación a la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua. Es un indicador del grado de contaminación de aguas, o en caso contrario, de la capacidad de soporte de esta a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad y menor presencia de compuestos que lo demanden para su degradación y estabilización (capacidad de resiliencia). Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente. (LENNTECH, 2012).

Los niveles más altos de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 a 12 mg/l. En contra posición de lo anterior, los lixiviados y las aguas residuales (domésticas o industriales) suelen tener niveles de oxígeno cercanos a cero dada la cinética y requerimientos químicos de los componentes orgánicos e inorgánicos disueltos en ellas. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. (LENNTECH, 2012).

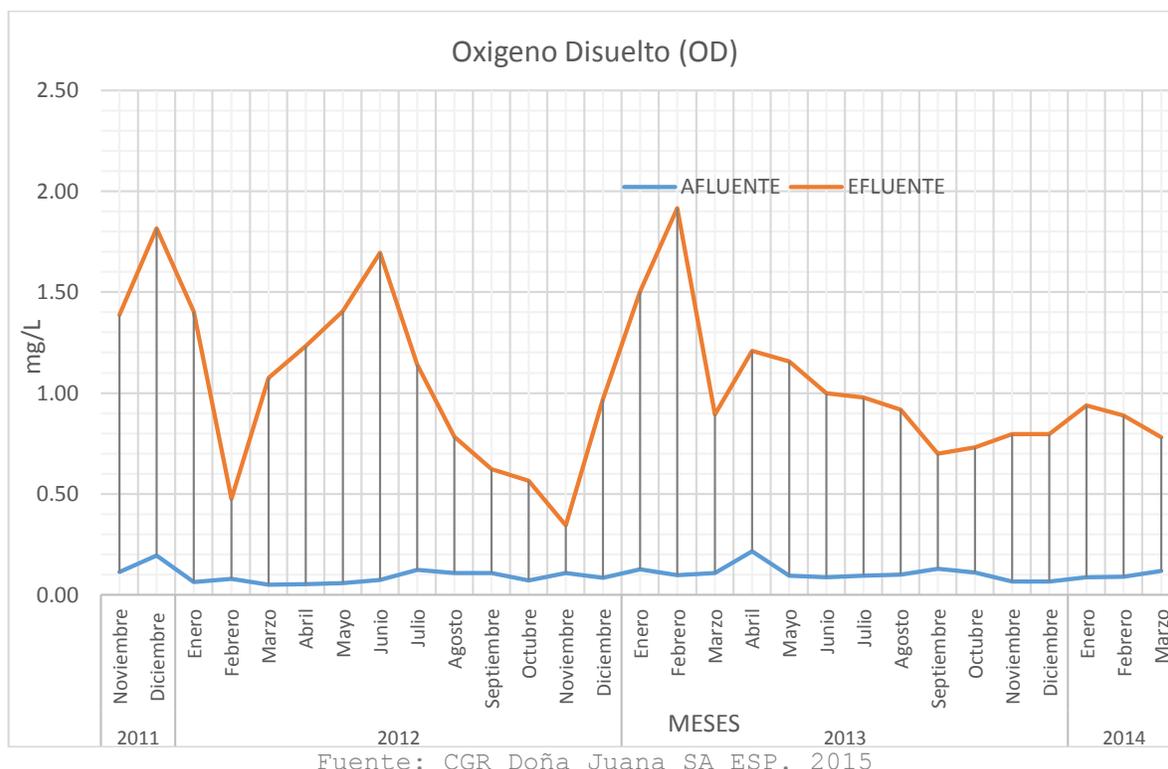
En la tabla 36 y en la gráfica 32 se presentan los valores obtenidos para Oxígeno Disuelto en el lixiviado del RSDJ. Se observa que el lixiviado crudo tiene OD típicamente en el rango de 0,05 a 0,19 mg/L, y en el lixiviado tratado se tiene OD entre 0,34 y 1,92 mg/L; los valores indican condiciones aerobias con tendencia a la anaerobicidad.

Tabla 36 Valores de Oxígeno Disuelto en el lixiviado (OD)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE
		L/s	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día
2011	Noviembre	12,5	0,11	1,39	0,12	1,50
	Diciembre	14,9	0,19	1,82	0,25	2,34
2012	Enero	10,1	0,06	1,40	0,06	1,22
	Febrero	9,1	0,08	0,48	0,06	0,37
	Marzo	10,0	0,05	1,08	0,04	0,93
	Abril	10,7	0,05	1,23	0,05	1,14
	Mayo	9,2	0,06	1,41	0,05	1,11
	Junio	8,2	0,07	1,70	0,05	1,20
	Julio	7,5	0,12	1,14	0,08	0,74
	Agosto	7,2	0,11	0,78	0,07	0,48
	Septiembre	6,9	0,11	0,62	0,06	0,37
	Octubre	8,9	0,07	0,56	0,06	0,43
	Noviembre	8,9	0,11	0,34	0,08	0,27
	Diciembre	8,9	0,08	0,97	0,06	0,75
2013	Enero	9,5	0,13	1,50	0,10	1,24
	Febrero	9,9	0,10	1,92	0,08	1,64
	Marzo	8,9	0,11	0,89	0,08	0,69
	Abril	9,8	0,22	1,21	0,18	1,02
	Mayo	9,1	0,10	1,16	0,07	0,91
	Junio	13,0	0,09	1,00	0,10	1,12
	Julio	14,2	0,09	0,98	0,12	1,20
	Agosto	12,5	0,10	0,92	0,11	0,99
	Septiembre	12,0	0,13	0,70	0,13	0,72
	Octubre	15,1	0,11	0,73	0,14	0,96
	Noviembre	19,6	0,07	0,80	0,11	1,35
	Diciembre	15,4	0,07	0,80	0,09	1,06
2014	Enero	14,5	0,09	0,94	0,11	1,18
	Febrero	15,4	0,09	0,89	0,12	1,18
	Marzo	17,2	0,12	0,78	0,18	1,16

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 32 Niveles de Oxígeno Disuelto (OD) en lixiviados RSDJ



7.13 NITRITOS Y NITRATOS

Los nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), en el tratamiento de lixiviados, aparecen como sub-productos estabilizados de las fases aerobias biológicas típicamente asociadas al funcionamiento de sistemas de lodos activados en plantas de tratamiento. La fuente principal de la formación de nitritos y nitratos está dada inicialmente por la oxidación de los compuestos reducidos del Nitrógeno, tales como el Amonio (NH_4) y el Amoniaco (NH_3), los cuales se forman en la celda de disposición de residuos en condiciones anóxicas con la participación de microorganismos anaerobios que mediante procesos de digestión, producen adicionalmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) en abundancia de materia orgánica.

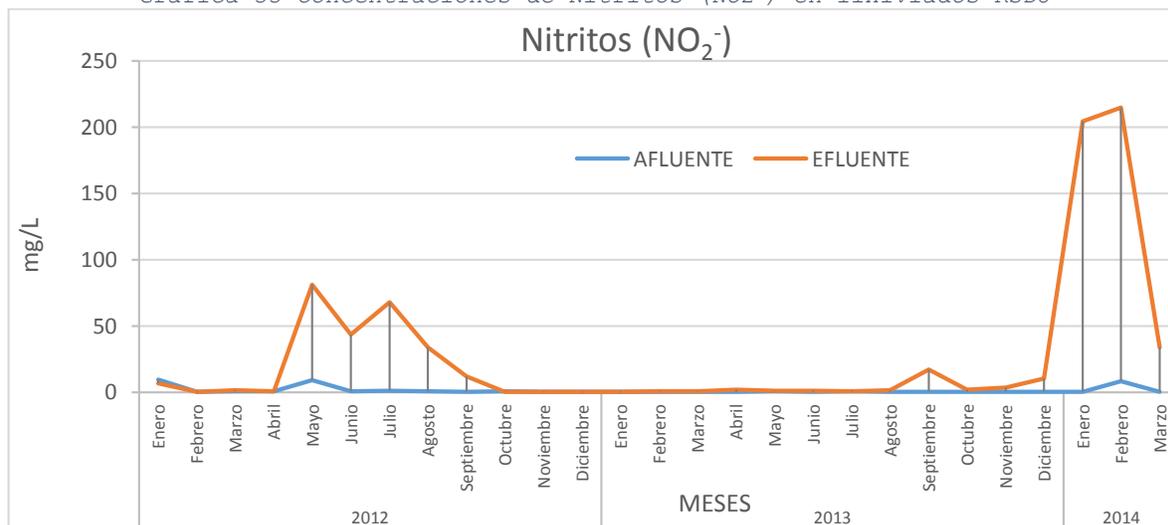
Cuando estos compuestos entran en la etapa biológica de la PTL, acompañados de materia orgánica biodegradable (DBO), así como de compuestos inorgánicos (DQO), se inicia el proceso de oxidación en abundancia de una agente oxidante (Oxígeno disuelto suministrado por los equipos electromecánicos). En las tablas 37 y 38, se presentan los valores obtenidos para Nitritos y Nitratos en el lixiviado del RSDJ. Se observaron concentraciones muy altas de nitratos en el efluente en casi todo el periodo comprendido entre enero de 2012 y marzo de 2014.

Tabla 37 Valores de Nitritos en el lixiviado (NO₂⁻)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE
		L/s	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día
2012	Enero	10,1	9,6	6,6	8,3	5,7
	Febrero	9,1	0,2	0,2	0,2	0,2
	Marzo	10,0	0,7	1,5	0,6	1,3
	Abril	10,7	0,7	0,8	0,7	0,7
	Mayo	9,2	9,2	81,2	7,3	64,2
	Junio	8,2	0,7	43,6	0,5	30,8
	Julio	7,5	1,0	67,9	0,7	44,2
	Agosto	7,2	0,5	33,9	0,3	20,9
	Septiembre	6,9	0,1	11,8	0,1	7,0
	Octubre	8,9	0,7	0,2	0,5	0,2
	Noviembre	8,9	0,3	0,1	0,2	0,1
	Diciembre	8,9	0,1	0,3	0,1	0,2
2013	Enero	9,5	0,3	0,1	0,2	0,1
	Febrero	9,9	0,1	0,8	0,1	0,7
	Marzo	8,9	0,2	0,5	0,1	0,4
	Abril	9,8	0,2	1,6	0,2	1,4
	Mayo	9,1	0,5	1,2	0,4	0,9
	Junio	13,0	0,3	1,2	0,3	1,4
	Julio	14,2	0,5	0,6	0,6	0,7
	Agosto	12,5	0,4	1,3	0,5	1,4
	Septiembre	12,0	0,1	17,2	0,1	17,8
	Octubre	15,1	0,3	1,7	0,4	2,2
	Noviembre	19,6	0,2	3,6	0,3	6,1
	Diciembre	15,4	0,4	10,4	0,5	13,8
2014	Enero	14,5	0,1	204,4	0,2	256,8
	Febrero	15,4	8,2	214,9	10,8	286,1
	Marzo	17,2	0,1	33,7	0,1	50,1

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 33 Concentraciones de Nitritos (NO₂⁻) en lixiviados RSDJ



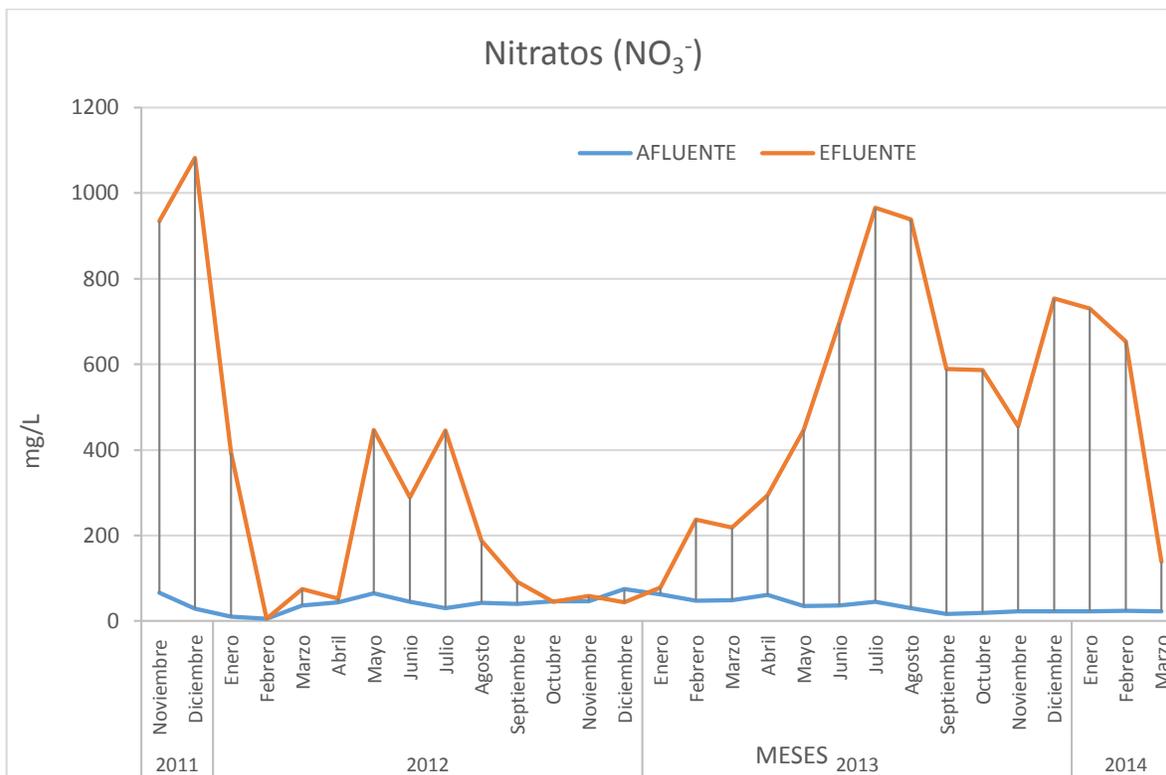
Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Tabla 38 Valores de Nitratos en el lixiviado (NO₃-)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE
		L/s	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día
2011	Noviembre	12,5	66,2	934,2	71,6	1009,7
	Diciembre	14,9	28,8	1081,7	37,1	1390,6
2012	Enero	10,1	10,3	392,8	9,0	342,7
	Febrero	9,1	5,5	5,9	4,3	4,6
	Marzo	10,0	36,8	75,2	31,7	64,9
	Abril	10,7	44,1	52,3	40,9	48,6
	Mayo	9,2	64,5	446,5	51,0	353,0
	Junio	8,2	45,5	289,0	32,1	204,3
	Julio	7,5	30,1	445,0	19,6	289,5
	Agosto	7,2	42,5	187,5	26,3	115,8
	Septiembre	6,9	39,6	92,4	23,6	55,1
	Octubre	8,9	46,9	44,7	36,0	34,3
	Noviembre	8,9	46,0	58,3	35,5	45,0
	Diciembre	8,9	74,5	43,4	57,3	33,3
2013	Enero	9,5	62,4	79,0	51,3	64,9
	Febrero	9,9	48,2	237,5	41,2	203,1
	Marzo	8,9	49,1	218,7	37,9	168,5
	Abril	9,8	61,4	294,5	51,7	248,1
	Mayo	9,1	35,8	446,5	28,2	351,8
	Junio	13,0	36,3	696,8	40,7	780,9
	Julio	14,2	44,8	966,0	55,0	1187,7
	Agosto	12,5	30,1	937,9	32,6	1013,8
	Septiembre	12,0	16,2	588,4	16,7	608,0
	Octubre	15,1	18,5	585,8	24,2	766,3
	Noviembre	19,6	23,0	454,6	39,0	770,6
	Diciembre	15,4	23,3	754,0	31,0	1005,8
2014	Enero	14,5	23,4	729,9	29,4	916,9
	Febrero	15,4	24,3	653,1	32,3	869,6
	Marzo	17,2	22,7	139,8	33,8	207,9

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 34 Concentraciones de Nitratos (NO₃⁻) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.14 NITRÓGENO AMONIAICAL

Los iones amonio son un producto de desecho del metabolismo en los animales. En los peces e invertebrados acuáticos, se excreta directamente en el agua. En mamíferos, tiburones, y anfibios, se convierte en el ciclo de la urea en urea, debido a que es menos tóxica y puede ser almacenada más eficientemente. En aves, reptiles y serpientes terrestres, el amonio metabólico es convertido en ácido úrico, que es sólido, y puede ser excretado con mínimas pérdidas de agua. El amonio es tóxico para los humanos en altas concentraciones, y puede causar daños en la mucosa que recubre los pulmones, o quemaduras alcalinas. (LENNTECH, 2012).

Las formas reducidas de nitrógeno en los lixiviados provienen de la degradación anaerobia de la materia orgánica dispuesta en celdas de confinamiento de residuos sólidos. La digestión y el metabolismo microbiano en condiciones anóxicas genera formas de amonio (NH₄) y tóxicas de amoniaco (NH₃) las cuales usualmente le confieren al lixiviado carácter básico, con pH superiores a 10 por la formación de hidróxidos fuertes.

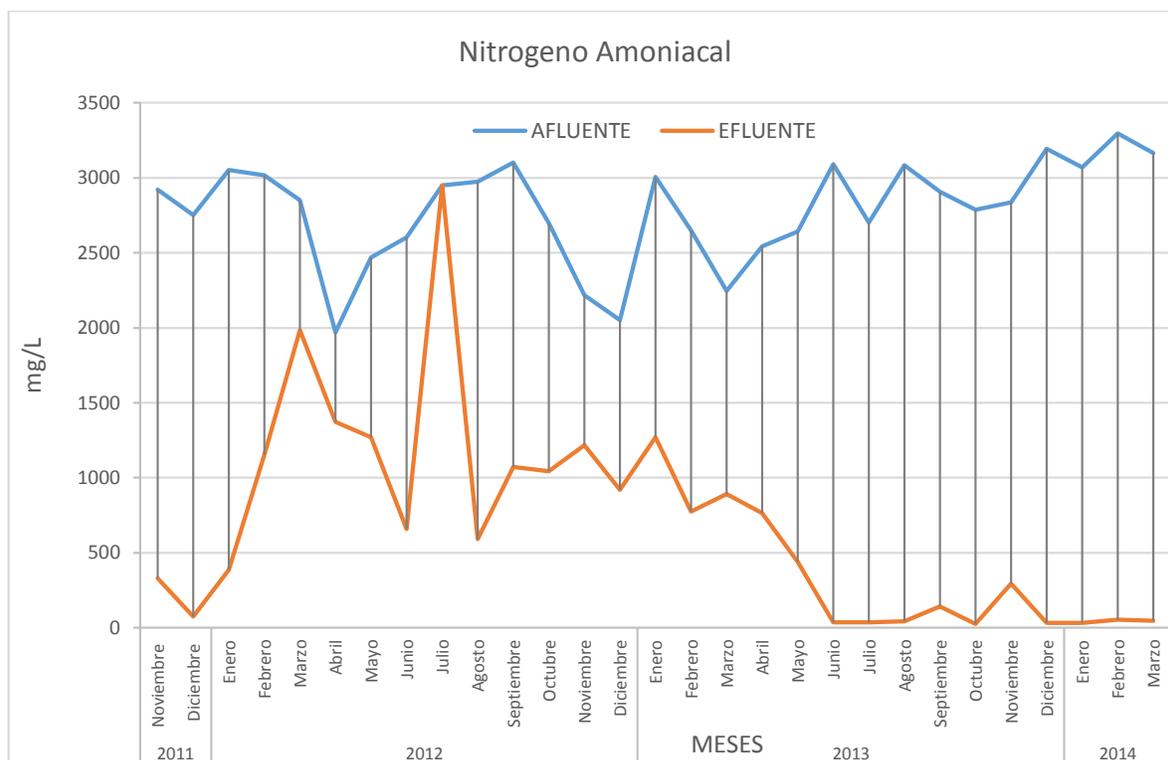
En la tabla 39, se presentan los valores obtenidos para Nitrógeno Amoniacal en el lixiviado del RSDJ. Se observan concentraciones altas de nitrógeno amoniacal en el efluente del sistema de tratamiento, encontrando valores entre 32 a 194 mg/L en el periodo comprendido entre Noviembre de 2011 y Marzo de 2014.

Tabla 39 Valores de Nitrógeno Amoniacal en el lixiviado (NH₃ y NH₄)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN
		L/s	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%
2011	Noviembre	12,5	2922,4	328,5	3158,7	355,1	89%
	Diciembre	14,9	2751,5	73,0	3537,4	93,8	97%
2012	Enero	10,1	3050,8	385,2	2662,3	336,1	87%
	Febrero	9,1	3017,6	1154,1	2362,1	903,4	62%
	Marzo	10,0	2849,8	1984,1	2459,7	1712,5	30%
	Abril	10,7	1969,3	1372,0	1827,4	1273,1	30%
	Mayo	9,2	2470,5	1268,4	1953,1	1002,7	49%
	Junio	8,2	2602,3	657,2	1839,2	464,5	75%
	Julio	7,5	2951,0	2951,0	1919,9	1919,9	0%
	Agosto	7,2	2974,9	590,0	1837,7	364,5	80%
	Septiembre	6,9	3103,3	1073,4	1852,7	640,8	65%
	Octubre	8,9	2700,2	1044,4	2074,0	802,2	61%
	Noviembre	8,9	2219,6	1218,4	1712,5	940,1	45%
	Diciembre	8,9	2050,2	918,6	1576,5	706,4	55%
2013	Enero	9,5	3004,9	1269,1	2469,0	1042,8	58%
	Febrero	9,9	2648,6	774,7	2265,5	662,6	71%
	Marzo	8,9	2246,5	893,3	1731,4	688,4	60%
	Abril	9,8	2543,8	765,4	2142,9	644,8	70%
	Mayo	9,1	2641,3	437,4	2081,3	344,6	83%
	Junio	13,0	3090,7	36,7	3463,4	41,1	99%
	Julio	14,2	2702,8	34,2	3323,0	42,1	99%
	Agosto	12,5	3085,6	42,4	3335,2	45,8	99%
	Septiembre	12,0	2907,3	140,5	3004,3	145,2	95%
	Octubre	15,1	2788,5	25,7	3647,6	33,7	99%
	Noviembre	19,6	2837,6	295,3	4810,1	500,6	90%
	Diciembre	15,4	3193,3	31,8	4259,9	42,5	99%
2014	Enero	14,5	3069,3	31,6	3855,8	39,7	99%
	Febrero	15,4	3297,6	52,1	4390,5	69,3	98%
	Marzo	17,2	3166,0	46,9	4707,7	69,7	99%

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 35 Concentraciones de Nitrógeno Amoniacal (NH₃) en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.15 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). (LENNTECH, 2012).

En lixiviados, la DBO es consecuencia directa de la materia orgánica que fue depositada como desecho en la celda de disposición controlada en el sitio de confinamiento final. Altas concentraciones de DBO evidencian una alta tasa de ingreso de desechos provenientes de alimentos, forraje y demás, que contenga formas de carbono degradable. La DBO en lixiviados se clasifica a groso modo en:

- Compuestos carbonáceos altamente biodegradables
- Compuestos de nitrógeno altamente solubles y persistentes en aguas de lixiviación, si se incluye nitrificación.

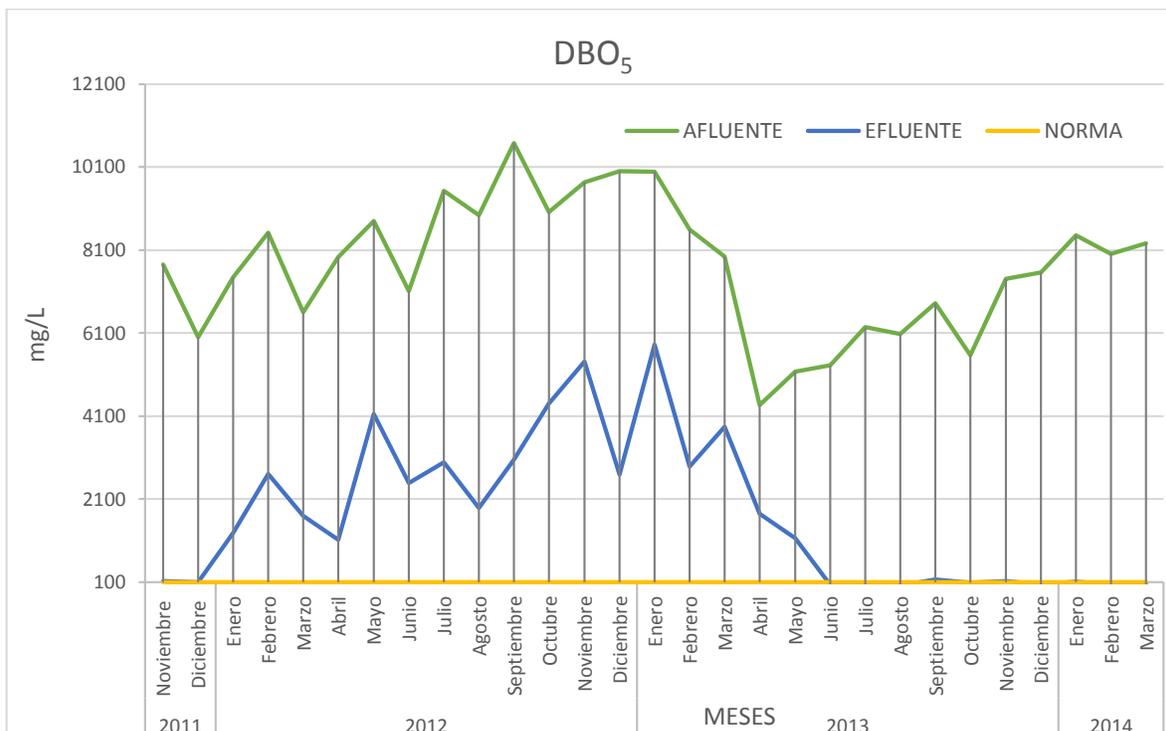
Los vertimientos que tienen alta DBO proporcionan a los cuerpos de agua receptores un ambiente ideal para el crecimiento excesivo de microorganismos, permitiendo que se reproduzcan con rapidez. Las cantidades cada vez mayores de bacterias consumen el oxígeno del agua como efecto secundario. Si la DBO del efluente es demasiado elevada, o el cuerpo receptor no es capaz de diluirlo hasta alcanzar un nivel seguro, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye de tal forma que los peces y otros organismos acuáticos mueren asfixiados (Eutroficación). En la tabla 40, se presentan los valores obtenidos para DBO en el lixiviado del RSDJ. Se observan concentraciones de DBO en el afluente entre 4.364 y 10.671 mg/l, y de 28 a 5.821 mg/l en el efluente tratado, con incumplimiento generalizado de la norma de vertimientos, la cual se encuentra en 100 mg/l.

Tabla 40 Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el lixiviado (DBO)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Noviembre	12,5	7752	126	100	8379	136	98%	No Cumple
	Diciembre	14,9	6008	101	100	7724	130	98%	No Cumple
2012	Enero	10,1	7448	1293	100	6500	1129	83%	No Cumple
	Febrero	9,1	8516	2709	100	6666	2121	68%	No Cumple
	Marzo	10,0	6604	1702	100	5700	1469	74%	No Cumple
	Abril	10,7	7937	1119	100	7365	1038	86%	No Cumple
	Mayo	9,2	8803	4148	100	6959	3279	53%	No Cumple
	Junio	8,2	7117	2496	100	5030	1764	65%	No Cumple
	Julio	7,5	9530	2984	100	6200	1941	69%	No Cumple
	Agosto	7,2	8946	1893	100	5527	1169	79%	No Cumple
	Septiembre	6,9	10671	3050	100	6371	1821	71%	No Cumple
	Octubre	8,9	9018	4399	100	6927	3379	51%	No Cumple
	Noviembre	8,9	9727	5420	100	7505	4182	44%	No Cumple
	Diciembre	8,9	10003	2699	100	7692	2075	73%	No Cumple
2013	Enero	9,5	9984	5822	100	8203	4783	42%	No Cumple
	Febrero	9,9	8595	2880	100	7352	2464	66%	No Cumple
	Marzo	8,9	7949	3848	100	6126	2966	52%	No Cumple
	Abril	9,8	4364	1755	100	3676	1478	60%	No Cumple
	Mayo	9,1	5172	1166	100	4075	919	77%	No Cumple
	Junio	13,0	5323	34	100	5965	38	99%	Cumple
	Julio	14,2	6247	43	100	7681	52	99%	Cumple
	Agosto	12,5	6075	29	100	6567	31	100%	Cumple
	Septiembre	12,0	6821	168	100	7048	174	98%	No Cumple
	Octubre	15,1	5572	84	100	7289	110	98%	Cumple
	Noviembre	19,6	7409	133	100	12559	225	98%	No Cumple
	Diciembre	15,4	7558	53	100	10083	71	99%	Cumple
2014	Enero	14,5	8461	118	100	10629	148	99%	No Cumple
	Febrero	15,4	8006	44	100	10659	58	99%	Cumple
	Marzo	17,2	8267	52	100	12292	78	99%	Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 36 Concentraciones de DBO en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.16 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). En lixiviados, la DQO es consecuencia directa de la materia inorgánica y orgánica que fue depositada como desecho en un celda de disposición controlada en el sitio de confinamiento final. Altas concentraciones de DQO evidencian una alta tasa de ingreso de desechos provenientes de industrias con alto empleo de sustancias químicas.

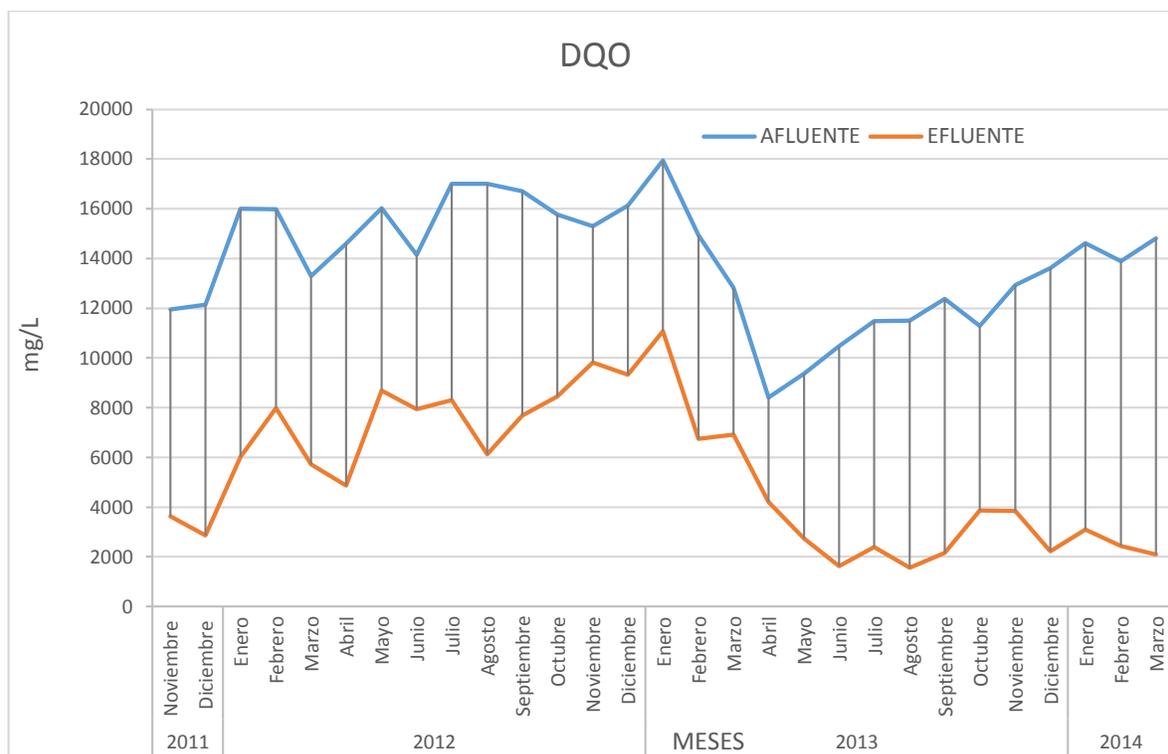
En relación con la DBO, se puede considerar a priori que la relación con la DQO es de alrededor de 0.6, evidenciando la importancia que tienen los desechos orgánicos en la masa bruta de desechos que ingresan al sitio de disposición. En la tabla 41 y en la gráfica 37 se presentan los valores obtenidos para DQO en el lixiviado del RSDJ. Se observa una variación de la DQO en el afluente entre 8.411 y 17.956 mg/l, y de 2.096 a 11.076 mg/l en el efluente tratado por la PTL. En general, en el periodo noviembre 2011 a enero de 2014, el efluente no satisface la norma de vertimientos de remoción mínima requerida del 80%.

Tabla 41 Valores de Demanda Química de Oxígeno en el lixiviado (DQO)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Noviembre	12,5	11941	3623	80%	12906	3916	70%	No Cumple
	Diciembre	14,9	12148	2860	80%	15618	3677	76%	No Cumple
2012	Enero	10,1	16001	6014	80%	13963	5248	62%	No Cumple
	Febrero	9,1	15989	7982	80%	12516	6248	50%	No Cumple
	Marzo	10,0	13289	5720	80%	11470	4937	57%	No Cumple
	Abril	10,7	14603	4860	80%	13551	4510	67%	No Cumple
	Mayo	9,2	16034	8678	80%	12676	6860	46%	No Cumple
	Junio	8,2	14152	7934	80%	10002	5607	44%	No Cumple
	Julio	7,5	17011	8308	80%	11067	5405	51%	No Cumple
	Agosto	7,2	17006	6119	80%	10505	3780	64%	No Cumple
	Septiembre	6,9	16716	7680	80%	9980	4585	54%	No Cumple
	Octubre	8,9	15767	8449	80%	12111	6489	46%	No Cumple
	Noviembre	8,9	15307	9808	80%	11810	7567	36%	No Cumple
	Diciembre	8,9	16140	9327	80%	12411	7172	42%	No Cumple
2013	Enero	9,5	17956	11076	80%	14753	9101	38%	No Cumple
	Febrero	9,9	14931	6748	80%	12771	5772	55%	No Cumple
	Marzo	8,9	12816	6923	80%	9877	5335	46%	No Cumple
	Abril	9,8	8411	4207	80%	7085	3544	50%	No Cumple
	Mayo	9,1	9360	2730	80%	7375	2151	71%	No Cumple
	Junio	13,0	10478	1634	80%	11742	1831	84%	Cumple
	Julio	14,2	11474	2400	80%	14107	2951	79%	No Cumple
	Agosto	12,5	11501	1566	80%	12431	1693	86%	Cumple
	Septiembre	12,0	12368	2154	80%	12780	2226	83%	Cumple
	Octubre	15,1	11279	3856	80%	14754	5044	66%	No Cumple
	Noviembre	19,6	12932	3849	80%	21922	6525	70%	No Cumple
	Diciembre	15,4	13606	2231	80%	18151	2977	84%	Cumple
2014	Enero	14,5	14612	3104	80%	18356	3899	79%	No Cumple
	Febrero	15,4	13900	2440	80%	18507	3249	82%	Cumple
	Marzo	17,2	14804	2096	80%	22013	3117	86%	Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 37 Concentraciones de DQO en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

7.17 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son un indicador de la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocian a la turbidez del agua.

En lixiviados tratados primariamente por sistemas de coagulación/floculación/sedimentación, los SST representan la fracción de compuestos que no son susceptibles de reaccionar y desestabilizarse para lograr la separación física de la fracción acuosa.

En lixiviados tratados secundariamente en sistemas biológicos aireados, los SST representan la fracción de lodo y colonias microbianas floculentas, inestables, de alta demanda energética y que se asocian usualmente a problemas de bajo peso y sedimentación en forma de lodo liviano de difícil retiro por métodos gravimétricos.

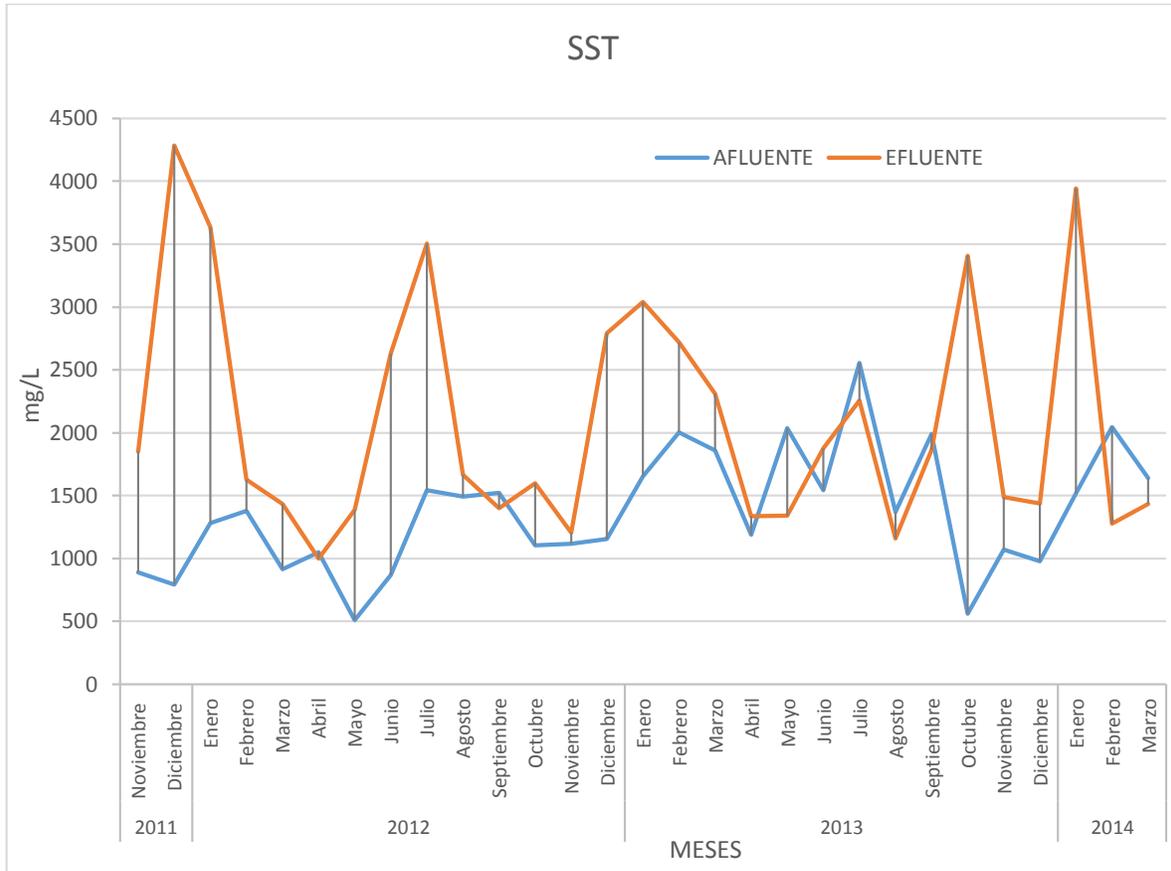
En la tabla 42 y en la gráfica 38 se presentan los valores obtenidos para Sólidos Suspendidos Totales en el lixiviado del RSDJ. Se observa que las concentraciones típicas de SST en el afluente de la PTL se encuentran entre 508 y 2046 mg/l; para el efluente, las concentraciones se ubican ente 998 y 4284 mg/l, con lo que se incumple permanentemente la norma de vertimientos en todo el periodo analizado comprendido entre noviembre de 2011 y marzo de 2014.

Tabla 42 Valores de Sólidos Suspendidos Totales en el lixiviado (DQO)

Año	Mes	CAUDAL	AFLUENTE	EFLUENTE	NORMA	CARGA AFLUENTE	CARGA EFLUENTE	REMOCIÓN	CUMPLIMIENTO
		L/s	mg/L	mg/L	mg/L	Kg/día	Kg/día	%	
2011	Noviembre	12,5	889	1851	80%	961	2001	-108%	No Cumple
	Diciembre	14,9	793	4284	80%	1019	5507	-440%	No Cumple
2012	Enero	10,1	1280	3635	80%	1117	3172	-184%	No Cumple
	Febrero	9,1	1379	1628	80%	1080	1275	-18%	No Cumple
	Marzo	10,0	914	1432	80%	789	1236	-57%	No Cumple
	Abril	10,7	1049	998	80%	974	926	5%	No Cumple
	Mayo	9,2	509	1389	80%	402	1098	-173%	No Cumple
	Junio	8,2	870	2632	80%	615	1860	-202%	No Cumple
	Julio	7,5	1542	3504	80%	1003	2280	-127%	No Cumple
	Agosto	7,2	1492	1664	80%	922	1028	-12%	No Cumple
	Septiembre	6,9	1524	1399	80%	910	835	8%	No Cumple
	Octubre	8,9	1107	1600	80%	850	1229	-45%	No Cumple
	Noviembre	8,9	1118	1205	80%	863	930	-8%	No Cumple
	Diciembre	8,9	1155	2790	80%	888	2146	-141%	No Cumple
2013	Enero	9,5	1652	3039	80%	1357	2497	-84%	No Cumple
	Febrero	9,9	2004	2721	80%	1714	2328	-36%	No Cumple
	Marzo	8,9	1860	2313	80%	1434	1783	-24%	No Cumple
	Abril	9,8	1188	1336	80%	1001	1125	-12%	No Cumple
	Mayo	9,1	2035	1342	80%	1604	1058	34%	No Cumple
	Junio	13,0	1542	1878	80%	1728	2105	-22%	No Cumple
	Julio	14,2	2557	2258	80%	3144	2776	12%	No Cumple
	Agosto	12,5	1369	1161	80%	1479	1255	15%	No Cumple
	Septiembre	12,0	1991	1861	80%	2057	1925	6%	No Cumple
	Octubre	15,1	559	3405	80%	732	4455	-509%	No Cumple
	Noviembre	19,6	1073	1487	80%	1819	2521	-39%	No Cumple
Diciembre	15,4	978	1436	80%	1305	1916	-47%	No Cumple	
2014	Enero	14,5	1517	3943	80%	1905	4953	-160%	No Cumple
	Febrero	15,4	2047	1277	80%	2725	1700	38%	No Cumple
	Marzo	17,2	1640	1433	80%	2439	2130	13%	No Cumple

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

Gráfica 38 Concentraciones de SST en lixiviados RSDJ



Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 43 se presenta el resumen de resultados de cada uno de los parámetros analizados para la PTL del RSDJ en el periodo comprendido entre noviembre de 2011 y marzo de 2014 para un caudal promedio de tratamiento en las PTL de 13,5 l/s y concentraciones promedio de cada uno de los contaminantes.

Tabla 43 Resumen de resultados.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Afluente	Efluente	Resolución 631/2015	Unidades de carga	Carga Afluente	Carga Efluente	Eficiencia
Cadmio	Cd	mg/l Cd	No detecta	No detecta	0,05	kg/d Cd	NA	NA	NA
Níquel	Ni	mg/l Ni	0,42	0,43	0,5	kg/d Ni	0,49	0,50	-2%
Cromo	Cr	mg/l Cr	0,83	0,74	0,5	kg/d Cr	0,97	0,86	11%
Fenoles	R-C ₆ H ₆ OH	mg/l Fenol	1,70	0,46	0,2	kg/d Fenol	1,98	0,54	73%
Boro	B	mg/l B	9,33	7,29	Análisis y Reporte	kg/d B	10,88	8,50	22%
Manganeso	Mn	mg/l Mn	0,12	0,11	Análisis y Reporte	kg/d Mn	0,15	0,13	12%
Mercurio	Hg	mg/l Hg	0,01	0,01	Análisis y Reporte	kg/d Hg	0,01	0,01	14%
Grasas	FOG	mg/l	1073	58	50	kg/d FOG	1251	68	95%
Alcalinidad	ALK	mg/l CaCO ₃	10188	3899	Análisis y Reporte	kg/d CaCO ₃	11876	4545	62%
Conductividad	C	µS/cm	24,8	20,3	Análisis y Reporte	µS/cm	NA	NA	18%
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l O ₂	0,11	1.02	Análisis y Reporte	kg/d O ₂	NA	NA	89%
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l NO ₂ ⁻	1,23	31,71	Análisis y Reporte	kg/d NO ₂ ⁻	1,4	36.9	NA
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l NO ₃ ⁻	37,5	438,7	Análisis y Reporte	kg/d NO ₃ ⁻	44	511	NA
Nitrógeno Amoniacal	NH ₃ -NH ₄	mg/l N	2788	686	Análisis y Reporte	kg/d N	3250	800	75%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/l O ₂	7719	1654	800	kg/d DBO	8998	1927	79%
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l O ₂	13685	5077	2000	kg/d DQO	15952	5918	63%
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	1308	2082	400	kg/d	1525	2427	-59%
pH	pH	Unidades	8.4	8.4	6-9	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica

Fuente: CGR Doña Juana SA ESP. 2015

8.1 AFLUENTE

- Las concentraciones de Cadmio se encuentran por debajo de los niveles de sensibilidad de los equipos y métodos analíticos empleados para su identificación y cuantificación (Cd<0,05mg/L), razón por la cual se puede inferir que su importancia en el proceso de tratamiento es baja, y no representa influencia mayor para el desempeño del sistema de tratamiento. No se incumple la norma de vertimiento. (Ver tabla 25).

- El lixiviado crudo a la entrada del sistema de tratamiento presenta altas concentraciones de Níquel ($Ni=0,27$ a $0,60$ mg/L); La norma de vertimientos aplicable es de $0,20$ mg/L, razón por la cual el sistema primario de la PTL debe estar en capacidad de remover este metal pesado. La tendencia del comportamiento del Níquel en el efluente es de continuo crecimiento (Ver gráfica 22).
- El Cromo hexavalente en el afluente de lixiviado del RSDJ presenta valores máximos de $1,34$ mg/L para el mes de mayo de 2013, y valores mínimos registrados de $0,64$ mg/L en el mes de enero de 2012, manteniendo una tendencia de ligero crecimiento asociada al ingreso cada vez mayor de residuos sólidos al sitio (Ver gráfica 23) superando la norma de vertimiento para este parámetro de $0,1$ mg/L.
- Los Fenoles presentes en el afluente de lixiviado se sitúan en promedio en $1,70$ mg/L, teniendo valores máximos de $5,07$ mg/L en el mes de Enero de 2013, y valores mínimos de $0,66$ en el mes de Julio de 2012 (Ver tabla 28). La norma de vertimientos sitúa el valor máximo permisible en $0,2$ mg/L, razón por la cual el afluente se encuentra el 100% del tiempo superando esta concentración, con lo cual se hace necesario que la PTL esté en capacidad de remover este compuesto orgánico en las unidades de tratamiento primario y secundario. De acuerdo con la tendencia general observada (Ver gráfica 24), las concentraciones de fenoles en el afluente son estables a excepción de un pico anormal registrado en el mes de enero de 2013.
- El Boro en el afluente de lixiviado se encuentra en promedio en $9,3$ mg/L, presentando valores máximos registrados de $13,0$ mg/L en el mes de Enero de 2013, y valores mínimos de $6,20$ mg/L en el mes de junio de 2013. La norma de vertimientos aplicable para este parámetro es de $4,00$ mg/L, razón por la cual se puede afirmar que el afluente se encuentra el 100% del tiempo por encima de este valor, con lo cual se hace necesario que el sistema de tratamiento remueva en su etapa primaria este metal (Ver tabla 29). El comportamiento del Boro en el afluente de lixiviados es completamente inestable en el tiempo, no pudiéndose identificar una tendencia general que caracterice y facilite la correlación este parámetro a lo largo del tiempo (Ver gráfica 25).

- El Manganeseo en el afluente de lixiviado se encuentra en promedio en 0,12 mg/L, presentando picos máximos cercanos a 0,39 mg/L en el mes de septiembre de 2012, y picos mínimos cercanos a 0,05 mg/L en los meses de junio y julio de 2012 (Ver tabla 30). La norma de vertimientos para el Manganeseo se ubica en 0,2 mg/L, razón por la cual se puede afirmar que el 15,7% del tiempo analizado, el afluente presenta características de Manganeseo que deben ser tenidas en cuenta para la aplicación de los tratamientos que efectivamente lleven a la remoción de estas concentraciones para dar cumplimiento con lo establecido por la autoridad ambiental. La tendencia general del comportamiento del Manganeseo en el afluente es estable por debajo de la norma presentando algunos picos aislados (Ver gráfica 26).
- El Mercurio en el afluente de lixiviados se encuentra en promedio en 0,01 mg/L, presentando dos picos que sobrepasan la norma de vertimientos con valores de 0,025 mg/L y 0,026 mg/L en los meses de noviembre de 2012 y febrero de 2013 respectivamente. La norma de vertimientos se sitúa en 0,01 mg/L, razón por la cual se puede afirmar que en la ventana de tiempo analizada, el 11% del tiempo el afluente presenta concentraciones de mercurio que deben ser removidas para dar cumplimiento con lo establecido por la autoridad ambiental (Ver tabla 31). La tendencia global del comportamiento del Mercurio en la ventana de tiempo para el afluente es estable, con excepción de dos picos anormales aislados (Ver gráfica 27).
- Las Grasas y Aceites en el afluente de lixiviado se encuentran en promedio en 1073 mg/L, presentando picos máximos que superan los 1600 mg/L en los meses de noviembre y diciembre de 2012, noviembre de 2013 y febrero de 2014. En contraposición a lo anterior, durante la ventana de tiempo analizada se presentan valores relativamente bajos cercanos a los 500 mg/L en los meses de mayo y junio de 2013. En razón a que la norma de vertimientos aplicable se sitúa en 2,00 mg/L, se puede afirmar que el 100% del tiempo, la calidad del afluente sobrepase este valor, y se deba tener en cuenta este parámetro permanentemente para la aplicación de métodos y operaciones unitarias efectivas para el tratamiento y remoción del mismo (Ver tabla 32). El comportamiento general de las grasas en el afluente es de inestabilidad permanente, lo cual hace de su análisis algo completamente impredecible a periodos futuros (Ver gráfica 28).

- La Alcalinidad en el afluente de lixiviado se encuentra en promedio en 10188,49 mg/L, con valores máximos que superan los 11.000 mg/L en los meses de febrero, julio, agosto y septiembre de 2012, septiembre de 2013 y marzo de 2014. En contraposición, los valores mínimos registrados se encuentran en diciembre de 2012, por debajo de los 8000 mg/L (Ver Tabla 33). La tendencia general de la alcalinidad en el afluente es estable, lo cual demuestra la disponibilidad de iones carbonato para la aplicación efectiva de operaciones de coagulación en etapas primarias del proceso de tratamiento (Ver gráfica 29).
- La conductividad en el afluente de lixiviados se encuentra en promedio en 24,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$; el valor máximo registrado se presenta en el mes de septiembre de 2012 con 29,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$; el valor mínimo de conductividad se presenta en el mes de Abril de 2013 con 18,59 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ver tabla 34). El comportamiento de la conductividad para el afluente de lixiviados en la ventana de tiempo analizada es estable con mínimas variaciones significativas, lo cual denota una presencia permanente de iones a la entrada el sistema de tratamiento (Ver gráfica 30).
- El pH del afluente de lixiviados presenta un valor promedio de 8,41 unidades. Durante el periodo analizado, el 100% del tiempo el pH a la entrada del sistema de tratamiento se encuentra en completo cumplimiento de la normatividad de vertimientos aplicable ($4,5 < \text{pH} < 9,0$), lo anterior. El comportamiento evidenciado en la gráfica 31 evidencia una tendencia estable con características marcadas de basicidad.
- Los niveles de Oxígeno Disuelto en el afluente de lixiviados son muy bajos en razón a la existencia de múltiples sustancias demandantes de oxígeno asociadas a contaminantes orgánicos e inorgánicos provenientes de la descomposición de los residuos. El valor promedio es de 0,11 mg/L y su comportamiento, tal y como se evidencia en la tabla 36 y en la gráfica 32 es completamente estable rodeando los niveles más bajos posibles en solución.
- Los Nitratos y Nitritos en el afluente de lixiviados se caracterizan por presentar valores constantes bajos los cuales se asocian a la poca presencia de estos compuestos y a la abundancia de formas de Nitrógeno Amoniacal

(reducidas), típicamente encontradas como subproductos del metabolismo de materia orgánica en condiciones anóxicas (Celda de disposición). El promedio de nitritos a la entrada del sistema de tratamiento se encuentra en 1,23 mg/L y el promedio de nitratos se encuentra en 37,54 mg/L (Ver tablas 37, 38 y 43). El comportamiento para estos parámetros es estable sobre niveles muy bajos de entrada al sistema de tratamiento (Ver gráficas 33 y 34).

- El Nitrógeno Amoniacal en el afluente del sistema de tratamiento presenta valores promedio de 2719 mg/L; La abundancia de este tipo de compuestos, se debe a la formación de Amonio (NH_4) y de Amoniaco (NH_3), los cuales son productos directos del metabolismo de materia orgánica abundante en condiciones anaerobias típicamente encontradas en la celda de disposición de residuos sólidos (Ver tablas 39 y 43). El comportamiento del Nitrógeno Amoniacal es estable con una leve tendencia de crecimiento en los últimos periodos analizados, en razón al aumento de la disposición de residuos sólidos con altos contenidos de materia orgánica en el relleno sanitario.
- La DBO en el afluente del sistema de tratamiento se sitúa en promedio en 7719 mg/L. El valor máximo encontrado para el periodo de tiempo analizado es de 10671 mg/L para septiembre de 2012. El valor mínimo registrado se encuentra en abril de 2013 y corresponde a un valor de 4364 mg/L. la norma de vertimientos para la DBO es de 100 mg/L, razón por la cual se puede afirmar que el 100% del tiempo analizado, la concentración de este parámetro en el afluente supera la norma. En concordancia con lo anterior, se hace necesario que la PTL esté en capacidad de remover este compuesto orgánico en las unidades de tratamiento primario y secundario (Ver tabla 40). El comportamiento de la DBO se puede agrupar en dos periodos principales, uno de alta afluencia marcado por la ventana de tiempo comprendida entre noviembre de 2011 y marzo de 2013; el segundo periodo corresponde a una época de menor concentración comprendida entre abril de 2013 y marzo de 2014 (Ver gráfica 36).
- La DQO en el afluente de lixiviados del sistema de tratamiento presenta valores promedio de 13685 mg/L. El valor máximo encontrado es de 17956 mg/L para el mes de enero de 2013; el valor mínimo registrado corresponde a 8411 mg/L para el mes de abril de 2013 (Ver tabla 41). El comportamiento de la DQO se puede agrupar en dos periodos

principales, uno de alta afluencia marcado por la ventana de tiempo comprendida entre noviembre de 2011 y marzo de 2013; el segundo periodo corresponde a una época de menor concentración comprendida entre abril de 2013 y marzo de 2014 (Ver gráfica 37). Tal y como se puede analizar, existe una correlación directa entre el comportamiento de la DQO y la DBO analizada, esto en razón que ambos grupos de parámetros tienen similares orígenes y demandas sobre la disponibilidad de oxígeno disuelto en lixiviados.

- Los Sólidos Suspendedos Totales en el afluente del sistema de tratamiento presentan valores promedio de 1308 mg/L; los valores máximos registrados en la ventana de tiempo analizada corresponden a 2557 mg/L para el mes de julio de 2013; los valores mínimos analizados se encuentran en 509 mg/L y 559 mg/L en mayo de 2012 y octubre de 2013 (ver tablas 42 y 43). El comportamiento de los SST en el afluente es ligeramente estable dentro de un rango comprendido entre 900 mg/L y 1500mg/L; no se evidencia un crecimiento significativo conforme se da el aumento en la disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario (Ver gráfica 38).

8.2 EFLUENTE

Con base en los resultados presentados en el capítulo 7 relacionados con el comportamiento de los parámetros analizados por el presente estudio, y específicamente al respecto de la calidad y cumplimiento del efluente tratado por el sistema de tratamiento previa descarga al río Tunjuelo, se puede afirmar que:

- El Cadmio en el lixiviado del RSDJ en ningún caso sobrepasa la norma de vertimientos, y por ende el proyecto no genera impactos ambientales ni sobre la salud de tipo negativo asociados a este metal pesado. El cumplimiento de la norma de vertimientos al respecto de este parámetro es del 100% en la ventana de tiempo analizada (norma=0,01 mg/L). Es necesaria la implementación de nuevas técnicas analíticas de laboratorio para la determinación de las mínimas concentraciones exactas de este metal en el lixiviado.
- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de Níquel en el lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio se excedió el 100% de las veces la norma de vertimientos (norma=0,2mg/L), incluso sobrepasándose las

concentraciones afluentes posterior al tratamiento dado por la PTL; La anterior situación se puede dar en razón a que en el lixiviado crudo, el Níquel se encuentra en formas estables asociadas a complejos con el amoniaco o el cianuro, y es difícilmente detectable al inicio del sistema de tratamiento; conforme se avanza en las etapas fisicoquímicas y microbiológicas, este se libera de compuestos quelados, permitiendo su detección por métodos analíticos. En razón a que en la actualidad la curva de pH del lixiviado no es alterada significativamente, no es posible su precipitación a 9.5 unidades (valores que nunca son alcanzados en la línea de tratamiento). Los valores máximos alcanzados en el vertimiento superan los 1,3 mg/L.

- El Cromo en el vertimiento del RSDJ presenta un incumplimiento de la norma del 100% del tiempo, sobrepasándose las concentraciones admisibles en la descarga de la PTL la totalidad de periodos analizados por el presente estudio (norma = 0,1 mg/L). Las mayores concentraciones descargadas al río Tunjuelo superan valores de 1,0 mg/L para los meses de octubre y noviembre de 2012, así como en enero de 2013.
- Los Fenoles en el vertimiento del RSDJ presentan un cumplimiento de la norma ligeramente superior al 15% del tiempo analizado por el presente estudio (norma=0.2 mg/L); a pesar que se presenta una remoción significativa de las concentraciones de este compuesto aromático, el 84% del tiempo no es suficiente la aplicación de los procesos actuales de tratamiento para dar cumplimiento con lo establecido en la normatividad ambiental. La remoción de los Fenoles alcanzada en la actualidad se asocia principalmente al consumo y eficiencia en el retiro de compuestos que demandan químicamente oxígeno, particularmente en las etapas biológicas del proceso, en donde existe abundancia de agentes oxidantes disueltos en el licor mixto; por otra parte se puede afirmar que el lodo activado (como fracción de micro organismos) no ejerce una influencia significativa en la remoción de este contaminante, por constituirse como una sustancia de baja biodegradabilidad. Las mayores concentraciones alcanzadas por este parámetro en el vertimiento al Rio Tunjuelo superan valores de 1,0 mg/L en los meses de octubre de 2012 y enero de 2013.

- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de Boro en el lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio se excedió el 100% de las veces la norma de vertimientos (norma=4,0 mg/L), en razón a que la curva de pH del lixiviado no es alterada significativamente, lo que conlleva a que no se evidencie precipitación química ni física a unidades cercanas a 9,5 und. El método, operación y unidades de tratamiento aplicadas al lixiviado en la actualidad no son suficientes para lograr la remoción necesaria de este parámetro.
- Partiendo de los resultados obtenidos para las concentraciones de Manganeseo en el efluente de la PTL, se puede afirmar que el 95% del tiempo se da entero cumplimiento de la norma de, lográndose alcanzar concentraciones muy bajas en la descarga de lixiviado tratado al río Tunjuelo (norma=0,2mg/L). Sin embargo, en el mes de diciembre de 2011 se sobrepasó ligeramente el nivel máximo permitido con un valor de 0,22 mg/L. El tratamiento aplicado al lixiviado es eficiente para lograr la calidad requerida por la autoridad ambiental.
- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de Mercurio en el lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio se excedió en dos periodos la norma de vertimientos, lo cual representa un índice de cumplimiento superior al 75% del tiempo, estos periodos corresponden a los meses de octubre y noviembre de 2012, así como a los meses de febrero y marzo de 2013. En cuanto a la remoción del Mercurio se puede afirmar que no se da de forma estable dado que el tratamiento fisicoquímico (Coagulación) no se encuentra operando adecuadamente, incluyendo alteración de la curva de pH, impidiéndose el intercambio iónico ideal para la precipitación de este compuesto. Los valores que exceden la norma se encuentran ligeramente por encima del objetivo de calidad, lo que favorece la optimización y mejoramiento del proceso con resultados factibles con bajo nivel de intervención del sistema.
- Los datos arrojados para el análisis de Grasas en el efluente de lixiviado tratado del RSDJ, permiten concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio, existe una remoción significativamente alta de este grupo de sustancias debido a que el proceso de

separación por flotación se encuentra bien definido al comienzo del tratamiento, sin embargo se incumple el 100% del tiempo el objetivo de calidad y la norma de vertimientos (norma=2,0 mg/L). Con base en los datos analizados, se puede afirmar que en los últimos meses de la ventana de tiempo, se han logrado avances significativos en la remoción de grasas y aceites, incluso llegándose a lograr resultados muy cercanos al cumplimiento de la norma de vertimientos, lo que indica que las acciones, intervenciones y forma de operar el sistema de tratamiento a partir de junio de 2013 se están aplicando de manera acertada en el sistema.

- En la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio para el comportamiento y concentraciones de la Alcalinidad en el lixiviado del RSDJ, específicamente en el efluente se aprecia una reducción significativa de la alcalinidad, dada la importancia de este parámetro en el funcionamiento de los diversos procesos de tratamiento, tales como neutralización de ácidos del lixiviados y formación de floc en la etapa fisicoquímica primaria. La remoción promedio se sitúa en 61,73%. No existe norma de vertimientos aplicable a este parámetro en la descarga de lixiviados al Río Tunjuelo (Efluente).
- La Conductividad en el efluente de lixiviado tratado del RSDJ, muestra una reducción promedio cercana al 18% por efecto del retiro de los agentes iónicos solubilizados que hacen parte del lixiviado, así como por el consumo y rompimiento de agentes complejos que liberan y posteriormente sedimentan compuestos iónicos. No existe norma de vertimientos aplicable a este parámetro en la descarga de lixiviados al Río Tunjuelo (Efluente).
- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis del pH en diferentes etapas del tratamiento de lixiviados en el RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio no se exceden los límites de pH dados por la norma de vertimientos, es decir, existe un cumplimiento del 100% en la calidad del efluente previa su descarga al Río Tunjuelo (Norma $4,5 < \text{pH} < 9,0$). Sin embargo de lo anterior, la no variación del pH en los procesos primarios de tratamiento, incide en la reducción de la eficiencia de remoción de metales pesados. Los pH registrados posibilitan la estabilidad de los procesos microbiológicos llevados a cabo en el tratamiento de lodos activados, confiriéndole al licor mixto un carácter neutro ligeramente alcalino.

- Para el Oxígeno Disuelto en el lixiviado del RSDJ se presenta un incremento de las concentraciones en el efluente del sistema de tratamiento, respecto del afluente por efecto de la inyección de aire al lixiviado en la etapa de proceso aerobio (Lodos Activados), así como por la remoción de sustancias y contaminantes presentes en el afluente de la PTL. No existe norma de vertimientos aplicable a este parámetro en la descarga de lixiviados al Río Tunjuelo (Efluente). La concentración promedio de Oxígeno Disuelto en la descarga de la PTL al Río Tunjuelo es de 1,02 mg/L. Las concentraciones típicas oscilan entre 0,5 mg/L y 1,65 mg/L como rangos extremos. Si bien los niveles de OD mejoran a su paso por el sistema de tratamiento, dadas las altas concentraciones de DQO y DBO persistentes en el efluente y posterior mezcla con el Río Tunjuelo, se puede afirmar que este oxígeno disponible será rápidamente consumido en el medio natural, superando la capacidad de resiliencia del río, y dificultando a su vez el crecimiento y mantenimiento de comunidades y sistemas ecológicos en el cuerpo de agua receptor.
- Los Nitritos y Nitratos en el efluente de la PTL tienen dos destinos posibles para su integración con el medio circundante:
 - o Mediante el proceso de Post-desnitrificación pasar a la atmósfera en forma de gas Nitrógeno libre (N_2).
 - o Mineralizarse en suelos para formar sustancias húmicas complejas presentes en las células vegetales.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de los Nitritos y de los Nitratos en el lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio existe un incremento irregular en la formación de estos dos compuestos, lo que evidencia variaciones significativas en las condiciones de operación de la PTL, lo cual repercute directamente en la estabilidad, eficiencia y calidad del proceso de tratamiento, variaciones en la eficiencia de remoción de compuestos tóxicos nitrogenados reducidos, así como inestabilidad en la calidad del lodo y su disposición para la aplicación en el reactor aireado. No existe norma de vertimientos aplicable a estos parámetros en la descarga de lixiviados al Río Tunjuelo (Efluente).

- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis del Nitrógeno Amoniacal en el efluente de lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio existe una degradación permanente de las formas de Nitrógeno Amoniacal reducidas, tales como el Amonio (NH_4) y el amoniaco (NH_3) cercana al 73,4%, por efecto de la oxidación de estos compuestos y de la materia orgánica en los reactores de lodos activados que componen el sistema de tratamiento de lixiviados (Ver tabla 43); como consecuencia de lo anterior, la toxicidad del efluente de la PTL hacia el río Tunjuelo se reduce, mitigando el impacto ambiental del proyecto sobre el medio ambiente circundante. No existe norma de vertimientos aplicable a estos parámetros en la descarga de lixiviados al Río Tunjuelo (Efluente).
- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de DBO en el efluente de lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio se excedió el 100% de las veces la norma de vertimientos, encontrando permanentemente concentraciones en la descarga al Río Tunjuelo superiores a 100 mg/L, esta situación se debe principalmente a:
 - o Las concentraciones de DBO altamente soluble a la entrada del sistema son muy elevadas, dando como resultado que la PTL no sea capaz de lograr la remoción ideal para el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable.
 - o Las concentraciones de biomasa en el sistema de lodos activados expresadas como mg/l Sólidos Suspendidos Volátiles del Licor Mixto (SSVLM) son relativamente bajas para el choque de cargas conferido por la mezcla entre el lixiviado crudo del tratamiento secundario, con los caudales de recirculación aplicados en el sistema (5.000mg/L)
 - o El sistema de sedimentación por gravedad y recirculación de lodos existente es ineficiente para alcanzar concentraciones de SSVLM más elevadas que permitan hacer frente a caudales con altas concentraciones de DBO
- La carga de DQO en el efluente del lixiviado del RSDJ se excedió el 100% de las veces sobre el objetivo de calidad y remoción del sistema (norma >80%), la anterior situación se debe principalmente a:

- o Las concentraciones de DQO altamente soluble a la entrada del sistema de tratamiento son muy elevadas, dando como resultado que la PTL no sea capaz de lograr la remoción ideal para el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable.
- o El agente oxidante empleado (O_2), y que se suministra a partir de equipos electromecánicos tales como sopladores, no alcanza la transferencia ideal para saturar el lixiviado y lograr una mayor oxidación química de los compuestos.
- o No existen en la actualidad unidades de tratamiento que aporten agentes con mayor poder oxidante tales como inyección de ozono, precipitación electrostática, o intercambio iónico, que lleguen a mejorar la eficiencia en la remoción de la DQO.
- o En la actualidad las unidades de tratamiento físico que deberían mejorar el proceso de remoción de la DQO (filtro de anillas) no son suficientes en razón al tamaño de la partícula a filtrar en el efluente del proceso biológico, la alta carga de sólidos aplicada y el alto grado de solubilidad de los compuestos.
- De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis de los Sólidos Suspendidos Totales en el efluente lixiviado del RSDJ, se puede concluir que en la ventana de tiempo evaluada por el presente estudio se excedió el 100% de las veces la carga sobre el objetivo de calidad y remoción del sistema (norma > 80%), la anterior situación se debe en gran medida a:
 - o La producción de lodos flocculentos de bajo peso del tratamiento secundario no es retenida por los sistemas de sedimentación existentes, y esta biomasa se fuga en mezcla con el lixiviado tratado hacia el punto de vertido final.
 - o La edad del lodo producido por el sistema secundario, y la rata de recirculación es muy baja para alcanzar lodos de mejor sedimentabilidad que permanezcan dentro del sistema, llegando a mejorar las eficiencias de remoción de contaminantes y control de sólidos en el efluente tratado.

8.3 REMOCIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos para el estudio de concentraciones y cargas removidas por el sistema de tratamiento existente en el RSDJ, se puede analizar que:

- Cadmio: Las concentraciones a la entrada y salida del sistema de tratamiento se encuentran por debajo del umbral de detección de los equipos y métodos analíticos de laboratorio, razón por la cual se puede concluir que los niveles de contaminación e impacto sobre el medio ambiente y la salud pública, así como desempeño del sistema de tratamiento asociados a este parámetro no tienen repercusiones significativas.
- Níquel: El sistema de tratamiento no logra la reducción de los niveles de níquel debido a la complejidad y quelación de los compuestos que deben ser tratados en cada una de las etapas del proceso. El incremento de las concentraciones del efluente se debe posiblemente a la liberación de formas menos encapsuladas y compuestos de menor tamaño que facilitan la cuantificación de los reales niveles de Níquel persistentes en el lixiviado; a lo anterior se le suma el hecho que el sistema de tratamiento en la actualidad no altera la curva del pH desfavoreciendo la separación de este metal pesado mediante sedimentación en la fase fisicoquímica primaria.
- Cromo: De acuerdo con los resultados obtenidos, se alcanzan eficiencias de remoción promedio del 10.84%, cifra considerablemente baja en relación a la infraestructura y número de operaciones unitarias existentes; esta situación se presenta en razón a que en la actualidad no se altera la curva del pH adecuadamente desfavoreciendo la separación de este metal pesado mediante sedimentación en la fase fisicoquímica primaria.
- Fenoles: las eficiencias alcanzadas para la remoción de fenoles se encuentran promedio 72.94%, en razón a que en la etapa biológica (lodos activados) se logra la destrucción del anillo aromático permitiendo obtener cadenas de carbono e hidrogeno disponibles para su metabolización e incorporación como cadenas alifáticas constituyentes de la membrana celular del pool microbiológico que conforman el floc.

- Boro: El sistema de tratamiento alcanza eficiencias de remoción del 21.86%, cifra considerablemente baja en relación a la infraestructura y número de operaciones unitarias existentes; esta situación se presenta en razón a que en la actualidad no se altera la curva del pH adecuadamente desfavoreciendo la separación de este metal mediante sedimentación en la fase fisicoquímica primaria.
- Manganeso: De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema de tratamiento alcanza eficiencias de remoción del 12.06%, cifra considerablemente baja en relación a la infraestructura y número de operaciones unitarias existentes; esta situación se presenta en razón a que en la actualidad no se altera la curva del pH adecuadamente desfavoreciendo la separación de este metal mediante sedimentación en la fase fisicoquímica primaria
- Mercurio: El sistema de tratamiento alcanza eficiencias de remoción del 13.75%, cifra considerablemente baja en relación a la infraestructura y número de operaciones unitarias existentes; esta situación se presenta en razón a que en la actualidad no se altera la curva del pH adecuadamente desfavoreciendo la separación de este metal pesado mediante sedimentación en la fase fisicoquímica.
- Grasas: Este parámetro tiene la mayor eficiencia que registra la planta para remoción (94.55%), lo anterior se debe a la característica de operación de tratamiento a bajas velocidades en la etapa preliminar (Pondajes de entrada), funcionamiento de los barredores de la fase fisicoquímica, así como por el consumo de las mismas en las unidades de lodos activados (etapa biológica), en donde las concentraciones a la entrada, se encuentran por debajo de los 100 mg/l evitando la inhibición de la actividad microbiana en esta unidad.

Sin embargo, tal y como se evidencia en las tablas 32 y 43, el límite permisible por la resolución 166 de 2008 (permiso de vertimientos) es muy restrictivo (2,0 mg/l), incluso situándose muy por debajo de lo establecido en la resolución nacional 631 de 2015 (50 mg/l), lo cual hace que para el operador del sistema de tratamiento sea muy difícil lograr el completo cumplimiento de la norma local haciendo uso de la infraestructura actualmente existente.

- Alcalinidad: El descenso y eficiencia en la remoción de las concentraciones de alcalinidad (61.73%) se da principalmente por efecto del consumo de la misma en la etapa fisicoquímica, en donde esta reacciona con los agentes coagulantes para la formación de floc; en adición a lo anterior, en las etapas biológicas, la inyección de aire por parte de los equipos electromecánicos permite la separación de carbonatos en iones (Stripping), liberando grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera.
- Conductividad: El descenso de niveles bajos de conductividad en el sistema de tratamiento evidencia la baja cantidad de iones libres disponibles en el lixiviado crudo, la alta cantidad de compuestos orgánicos estables de baja transmisividad eléctrica, así como la baja persistencia de compuestos iónicos que en nada alteran las características eléctricas del vertimiento.
- Oxígeno Disuelto: El incremento de las concentraciones de este parámetro en el agua, visto desde la comparación entre el lixiviado crudo y el vertimiento tratado, evidencia la efectividad de dos procesos fundamentales llevados a cabo en la etapa biológica de la PTL, a saber:
 - o Funcionamiento y capacidad de transferencia y solubilidad de oxígeno en el lixiviado tratado por efecto del funcionamiento de los equipos electromecánicos de aireación, tamaño de burbuja y perforación de membrada de difusores.
 - o La continua reducción de la DBO y la DQO en el proceso de tratamiento secundario, siendo los anteriores compuestos los principales demandantes de agentes oxidantes en el lixiviado.
- Nitrógeno Amoniacal: Para este parámetro, se presentan eficiencias promedio de remoción cercanas a 75.39%, en razón a que el proceso biológico de lodos activados, nitrificación y desnitrificación implementado convierte estas formas tóxicas de nitrógeno reducidas mediante la digestión aerobia de la biomasa, en formas estables altamente oxidadas, incluso llegándose a formar nitrógeno libre que es liberado a la atmósfera como parte de la intervención de bacterias tipo Nitrobacter.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno: El porcentaje promedio de remoción para la DBO se sitúa en 78.58%, lo cual indica una buena eficiencia del sistema respecto de las altas concentraciones y cargas registradas a la entrada del sistema de tratamiento. Este valor adicionalmente representa un buen desempeño de las comunidades biológicas que se han consolidado en forma de lodo activado en los reactores secundarios; sin embargo de lo anterior, es necesario hacer saber que este porcentaje de eficiencia podría incrementarse en la medida que la concentración de SSVLM (biomasa) se lleve a su máximo punto en los reactores, mejorando los controles de la carga de sólidos suspendidos en las unidades de sedimentación secundaria, previo al vertimiento al río Tunjuelo, y mejorando los caudales de recirculación de lodo concentrado al reactor biológico y tanque pre-desnitrificador.

- Demanda Química de Oxígeno: El porcentaje promedio de remoción para la DQO se sitúa en 62.90%, lo cual indica una buena eficiencia del sistema respecto de las altas concentraciones y cargas registradas a la entrada del sistema de tratamiento. Este valor adicionalmente representa un buen desempeño de los procesos de oxidación química de compuestos orgánicos e inorgánicos en los sistemas primarios y de lodos activados, por la inyección de agentes oxidantes tales como coagulantes y oxígeno en disolución.

- Sólidos Suspendidos Totales: En el caso de los SST, el estudio de eficiencias de remoción arroja resultados significativos cercanos a -59.17%, situación bastante particular en la operación de un sistema de tratamiento; para el análisis de esta condición se pueden abordar las siguientes hipótesis a la luz de los resultados obtenidos y de las características de la infraestructura y sistema de operación implementado en la PTL del RSDJ:
 - o Los sistemas de tratamiento existentes son capaces de remover tan solo una parte de los SST compuestos por partículas inertes, representadas por minerales provenientes del arrastre de residuos sólidos en degradación en la celda de disposición, así como arrastre de algunos constituyentes de las coberturas empleadas en la operación por el empleo de arcillas

y rechos (feldespatos y silicatos); es decir, parte de la carga de SST para a través de la totalidad del sistema de tratamiento sin lograr su retención, reduciendo los índices de calidad en el vertimiento final.

- o La biomasa producida en las etapas biológicas de tratamiento (Lodos activados), no es retenida adecuadamente por las unidades de clarificación secundaria, por tratarse de lodo altamente floculento de difícil sedimentación y fácil re suspensión. Este lodo es característico de edades pobres de formación que se podrían mejorar mediante el incremento de la tasa de recirculación al sistema secundario, previo su retiro como exceso del sistema.
- o Si bien la dinámica de tratamiento de la PTL está estabilizada dentro de parámetros aceptables de operación, se debería considerar la inclusión de un sistema de filtros de mayor eficiencia que permitan fortalecer la captura de los lodos secundarios, facilitando su recirculación y mejorando las eficiencias alcanzadas en la actualidad.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana, de la ciudad de Bogotá, es un fluido con alta concentración de compuestos orgánicos y metales pesados provenientes de la descomposición de residuos sólidos urbanos de la capital y de siete municipios de su área de servicio, con caudal promedio de 13,5 l/s, en una ventana de tiempo evaluada entre el año 2012 a 2014.
- Los principales factores que inciden en la formación y calidad del lixiviado se encuentran representados por la meteorología del sitio donde se encuentra el relleno sanitario, así como por la naturaleza de los residuos sólidos que son finalmente dispuestos.
- La aceptación de residuos sólidos de tipo industrial, trae consigo el incremento considerable de las concentraciones de metales pesados: Boro, Mercurio, Manganeso, Cromo y Níquel.
- La programación de las obras y tipo de operación incide directamente en la dinámica de caudales producidos por el Relleno Sanitario, encontrándose una relación directamente proporcional entre las áreas descubiertas en patios de descargue de residuos, con el incremento de caudales que ingresan al sistema de tratamiento de lixiviados.
- La PTL del RSDJ actualmente afronta problemas en la remoción de cargas contaminantes asociadas a metales pesados por efecto de la no operación adecuada de los sistemas fisicoquímicos y de neutralización ubicados al inicio de la planta. Esta situación hace que se incumpla la norma de vertimientos expedida para el sitio por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.
- Las concentraciones observadas en el periodo 2012 a 2014 de Níquel, Cromo, Fenoles, Boro no cumplen la mayor parte del tiempo la norma de vertimiento expedida por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

- Las concentraciones observadas en el periodo 2012 a 2014 de Grasas y aceites, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) no cumplen la mayor parte del tiempo la norma de vertimiento expedida por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- Para lograr la remoción efectiva de las concentraciones y cargas contaminantes asociadas a metales pesados que incumplen la norma de vertimiento, la PTL deberá optimizar los procesos unitarios y tratamientos fisicoquímicos primarios con los que se cuenta en la actualidad.
- Para lograr la remoción efectiva de las concentraciones y cargas contaminantes asociadas a materia orgánica y sólidos suspendidos que incumplen la norma de vertimiento, la PTL deberá optimizar los procesos unitarios y tratamientos fisicoquímicos secundarios en los zanjones de oxidación, clarificadores secundarios y unidades de desnitrificación con los que se cuenta en la actualidad.
- Los responsables del RSDJ deberán considerar la construcción de nuevas unidades de tratamiento capaces de realizar la remoción efectiva de cargas contaminantes y pulimiento del vertimiento, así como incrementar la capacidad de ingreso de caudales dado el crecimiento demográfico de la ciudad de Bogotá, lo cual trae consigo, el incremento de los residuos sólidos que tendrán como destino la disposición final en las celdas del Relleno Sanitario.
- Se recomienda al RSDJ implementar prácticas y proyectos de aprovechamiento de residuos orgánicos y separación de materiales reciclables entre otras, con el ánimo de reducir los volúmenes de residuos que finalmente son dispuestos en la celda de confinamiento, logrando así la reducción de caudales de lixiviados que se generaran como sub-producto de la actividad adelantada allí.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Estudio de Impacto Ambiental Complementario (EIA) para la fase 2 de optimización de las zonas VII y VIII del Relleno Sanitario Doña Juana de la ciudad de Bogotá. GENIVAR, CGR DOÑA JUANA SA ESP Y UAESP 2014.
- Metabase de datos de la red Hidroclimatológica de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Actualización a Mayo de 2015.
- MONSALVE, Germán. Hidrología en la ingeniería 2 Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999.
- ROJO HERNÁNDEZ, Julián D. Algunas metodologías para cuantificar la evapotranspiración media multi anual en Colombia", Jaramillo, A. Relación entre la evapotranspiración y los elementos climáticos. Nota Técnica, CENICAFE. Vol. 40 N3. Bogotá D.C. 1989.
- LENNTECH, Water Treatment.
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#ixzz3n56o4IS5>.
- ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de diseño. Tercera edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Año 2004.
- Ruiz y Escobar, Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante la variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá. IDEAM Año 2012.
- Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo. IDEAM y FOPAE 2005.
- Resolución 166 de 2008, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) por la cual se otorga el permiso de vertimientos al Relleno Sanitario Doña Juana de la ciudad de Bogotá.
- Resolución 631 de 2015, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.