

**Applus Norcontrol, S.L.U.**

C/ Presidente Adolfo Suárez  
González, nº 17, Locales B1 y B2,  
38320, San Cristóbal de La  
Laguna – Santa Cruz de Tenerife  
T. 922 24 16 34  
F. 922 24 59 06

**Título del informe****Informe de Balance Hídrico del COMPLEJO AMBIENTAL DE  
TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE LOS MORENOS.**

Fecha: 28.02.2019

Código: P-064208-872141 Ed 1

**Cliente****URBASER, S.A.**

Atte: Dionisio Estévez González  
Polígono Industrial San Isidro, C/ La Campana, nº 5  
Planta de Transferencia nº 4  
38009 -El Rosario-  
Santa Cruz de Tenerife

Fecha: 28.02.2019

Elaborado y aprobado por:

Applus Norcontrol S.L.U.  
Narciso Barroso Bermejo  
Dpto. Medio Ambiente Inspección

Este documento y los anexos en él referenciados tienen paginación independiente con indicación del número total de páginas en cada uno de ellos (tipo Página X de Y)

**Garantía de Calidad de Servicio**

**Applus+**, garantiza que este trabajo se ha realizado dentro de lo exigido por nuestro Sistema de Calidad y Sostenibilidad, habiéndose cumplido las condiciones contractuales y la normativa legal.

En el marco de nuestro programa de mejora les agradecemos nos transmitan cualquier comentario que consideren oportuno, dirigiéndose al responsable que firma este escrito, o bien, al Director de Calidad de Applus+, en la dirección: [satisfaccion.ciente@applus.com](mailto:satisfaccion.ciente@applus.com)

**Applus Norcontrol, S.L.U.:** Domicilio social: Carretera Nacional VI, Km 582, 15168 Sada (A Coruña), Tfno.: 981 014500, Fax: 981 014550, [www.applus.com](http://www.applus.com)

**Este documento no deberá reproducirse ni total ni parcialmente sin la aprobación, por escrito, de Applus Norcontrol y del cliente.**

## Índice

### Descripción de los trabajos

1. DATOS GENERALES DE APPLUS .....	3
2. DATOS DE IDENTIFICACIÓN.....	3
2.1. Datos del cliente.....	3
2.2. Datos de la instalación .....	3
3. ANTECEDENTES.....	4
4. OBJETO .....	4
5. INTRODUCCIÓN .....	4
5.1. Balance Hídrico en Vertederos .....	4
5.2. Modelo Conceptual del balance hídrico .....	9
6. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO .....	11
6.1. Entradas .....	12
6.2. Salidas.....	15
6.3. Variación Interior.....	18
7. EXPRESIÓN DEL BALANCE HÍDRICO.....	19
8. ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO.....	20
9. BIBLIOGRAFÍA.....	23

## 1. DATOS GENERALES DE APPLUS

<b>Nombre:</b>	Applus Norcontrol, S.L.U.
<b>Domicilio:</b>	C/ Jose Antonio nº 17. 38320 San Cristóbal de La Laguna
<b>Tfno.:</b>	922 24 16 34 <b>Fax:</b> 922 24 59 06
<b>Domicilio social:</b>	Carretera Nacional VI, Km. 582, 15168 Sada (A Coruña)
<b>Tfno.:</b>	981.014.500 <b>Fax:</b> 981.014.550
<b>Autorización:</b>	Resolución de 27 de febrero de 2006 (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la Xunta de Galicia).
<b>Resolución OCA</b>	Resolución de la Dirección General de Industria y Energía por la que se reconoce a la sociedad Applus Norcontrol, S.L.U., como titular de las autorizaciones como organismos de control que, por resoluciones de 6 de julio de 2004 y de 20 de diciembre de 2004, se otorgaron respectivamente a las entidades Norcontrol, S.A. y Novotec Consultores, S.A., para actuar en la Comunidad Autónoma de Canarias.
<b>Entidad Colaboradora de la Administración:</b>	Notificación de la inscripción en el Registro de Entidades Colaboradoras en materia de Calidad Ambiental, en la Consejería de la Comunidad Autónoma de Canarias (ECA-07).

## 2. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

### 2.1. Datos del cliente

<b>Nombre:</b>	URBASER S.A.
<b>Domicilio:</b>	Polígono Industrial San Isidro, C/ La Campana, nº 5 El Rosario, Santa Cruz de Tenerife.
<b>N.I.F.:</b>	A-79524054

### 2.2. Datos de la instalación

<b>Nombre:</b>	Complejo Ambiental de Tratamiento de Residuos Los Morenos.
<b>Domicilio:</b>	Polígono de Tiguerorte. Término municipal de Mazo, isla de La Palma, Santa Cruz de Tenerife.
<b>Actividad (CNAE 2009):</b>	38.21 Tratamiento y Eliminación de residuos no peligrosos. Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos.
<b>Persona de contacto:</b>	D. Asensio Ayala Bayoll.

**Teléfono de contacto:** 670 91 99 33

**Mail de contacto:** [aayala@urbaser.com](mailto:aayala@urbaser.com)

### 3. ANTECEDENTES

En el **apartado IV.4.3- Balance hídrico de la celda de vertido** de la Resolución de la Viceconsejería de Medio Ambiente nº. 39, de 9 de enero de 2014, por la que se actualiza la Autorización Ambiental Integrada al "PROYECTO BÁSICO PARA LA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA DE LA INSTALACIÓN DENOMINADA COMPLEJO AMBIENTAL DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE LOS MORENOS" (AAI-053-TF/001-2013), se especifica lo siguiente:

*"Anualmente se deberá realizar por una Entidad Colaboradora de la Administración u Organismo de Control un balance hídrico de cada una de las celdas de vertido, teniendo en cuenta, entre otras, la información relativa a los lixiviados, meteorología y topografía de las celdas.*

*Se elaborará un informe en el que se analicen los datos resultantes y se establezcan las conclusiones correspondientes y al que se adjunten, como mínimo, los resultados de los registros, las incidencias y cualquier otro dato relevante en el control hídrico."*

### 4. OBJETO

El objeto del presente informe es presentar los resultados del estudio de Balance Hídrico correspondiente al año 2018 de la celda de rechazo del **Complejo Ambiental Los Morenos**. El informe tiene en cuenta los requisitos establecidos en el apartado IV.3.3. "Balance Hídrico" de la Resolución de la Viceconsejería de Medio Ambiente nº. 39, de 9 de enero de 2014.

### 5. INTRODUCCIÓN

#### 5.1. Balance Hídrico en Vertederos

La gestión de un vertedero de cualquier tipo requiere técnica y legalmente el conocimiento preciso de los flujos de aguas que acceden a él y de los lixiviados que en él se producen. Este conocimiento es imprescindible para controlar y evidenciar el control y adecuada gestión de los lixiviados como líquidos susceptibles de causar contaminación al suelo, las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

El conocimiento de los flujos de aguas y lixiviados se obtiene a través de la realización de balances hídricos.

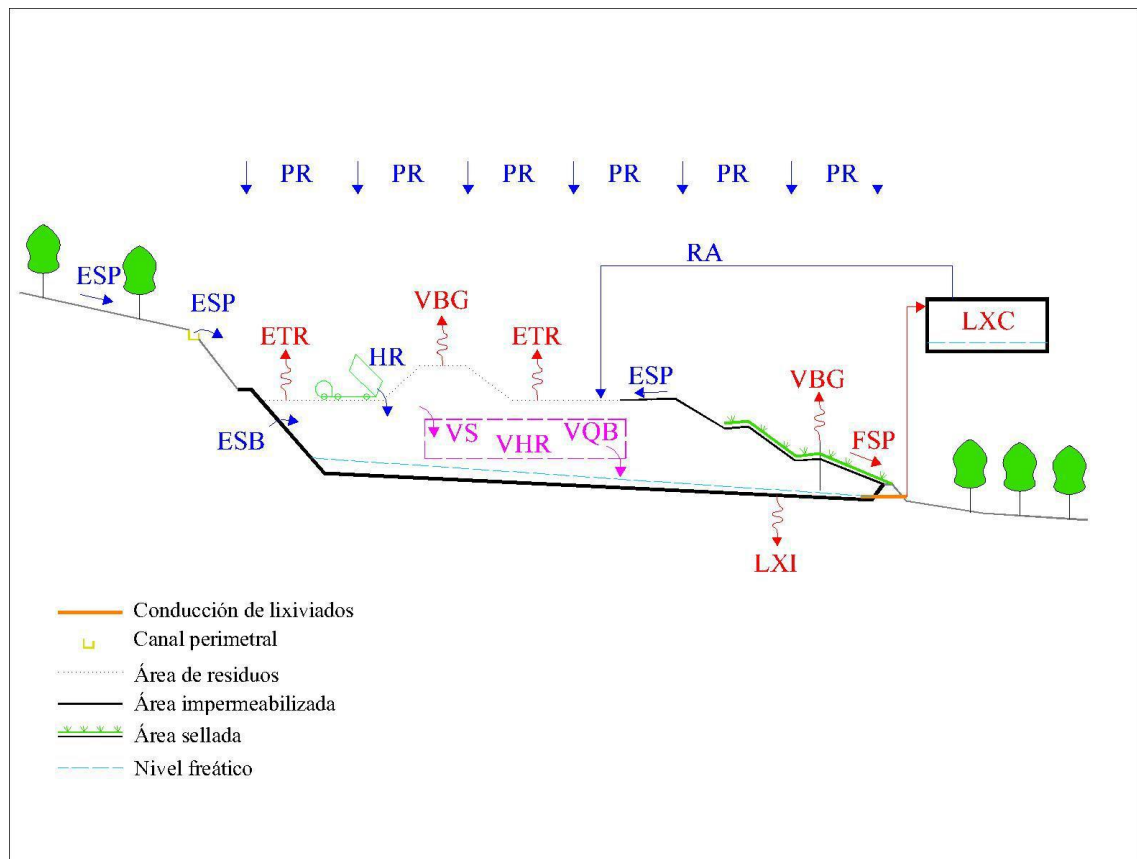
Por balance hídrico de un vertedero se entiende la descripción y cuantificación de las entradas y salidas de agua que se producen a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Dado que el proceso de entrada-salida no es instantáneo sino que la masa de residuos del vertedero confiere una cierta inercia al sistema, en el periodo de análisis se produce (o puede producirse) no solo la entrada y salida de agua sino una variación en el contenido de agua del propio vertedero.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Variación interior}$$

En el caso de un vertedero, las entradas y las salidas dependen de las características del mismo, número y tipo de capas que lo conforman, tipo de cobertura superficial y de impermeabilización del vaso, tipo de vegetación en la superficie, etc. Pero sobre todo dependen, de las condiciones climáticas del lugar donde se ubica el vertedero (precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa, etc.).

El flujo de agua de entrada principal lo constituye la pluviometría, una parte de la cual no penetrará dentro del vertedero sino que se evacuará como consecuencia de la captación y desvío de la escorrentía superficial, y otra parte volverá a la atmósfera, a causa de los fenómenos de evaporación y de transpiración.

En cuanto al balance final de agua, habrá que tener también en consideración las variaciones del contenido de humedad que se producen por absorción, tanto en el material de cobertura, como en la propia masa de residuos vertidos. Los componentes se pueden representar gráficamente de la siguiente forma:



*Esquema general de entradas y salidas de agua en un vertedero*

ENTRADAS = SALIDAS +/-VARIACIÓN INTERIOR		
ENTRADAS	SALIDAS	VARIACIÓN INTERIOR
Precipitación (PR) Escorrentía superficial (ESP) Escorrentía subterránea (ESB) Recarga artificial (RA) Humedad residuo y otros (HR)	Evotranspiración (ETR) Flujo superficial (FSP) Lixiviados (LX)	Agua libre almacenada (VS) Absorción de agua en residuos (AMR) Absorción de agua en materiales de cobertura (ARS) Reacciones (VQB)

## ENTRADAS

Las posibles entradas de agua a un vertedero son:

- **Precipitación (PR):** se trata de la principal entrada de agua al sistema. Algunos vertederos disponen de pluviómetros, aunque si no es el caso, se utilizarán los datos de precipitación de zonas próximas. La Agencia Estatal de Meteorología- AEMET será la fuente de información utilizada en estos casos.
- **Escorrentía Superficial (ESP):** es la componente de la lluvia útil que no se infiltra en el terreno o, en su caso, hacia el seno del vertedero. Los vertederos deben de disponer de sistemas de drenaje perimetral que impiden las entradas de escorrentía superficial, aunque potencialmente estas se pueden producir por:
  - Entrada de aguas de escorrentía superficial generada en laderas adyacentes.
  - Entrada de aguas de escorrentía superficial de la urbanización contigua (calles, explanadas).
  - Entrada de aguas por desbordamientos perimetrales.
- **Escorrentía subterránea (ESB):** se trata de aquella fracción de lluvia útil que no genera escorrentía superficial y que por tanto se infiltra en el seno del vertedero. Solo se encuentra en vertederos sin impermeabilización de fondo. En este caso pueden producirse entradas de aguas subterráneas a través de las paredes del vaso de forma:
  - Puntual
  - Difusa
- **Recarga artificial (RA):** por motivos diversos pueden producirse entradas artificiales de agua a los vertederos derivados del riego o adición de agua y/o lixiviados
  - Riegos con agua de red o aguas limpias para prevención o lucha contra incendios u otras causas (mantenimiento de viales internos por ejemplo), tanto mediante instalaciones fijas como móviles.
  - Riegos con circulación de lixiviados para favorecer su evaporación y la degradación de los residuos y formación de biogás.
  - Vertidos de aguas provenientes de sistemas e instalaciones conexas (servicios, lavar ruedas,..)
  - Vertidos de condensado del biogás.

- **Humedad del residuo y otros materiales depositados (HR):** la última posible entrada de agua considerada es la propia humedad que tiene su origen en los materiales que entran y se depositan en el vertedero, como:
  - Residuos
  - Otros materiales como los utilizados para cubriciones (tierras)

## SALIDAS

Las posibles salidas de agua de un vertedero son:

- **Evotranspiración (ETR):** es la cantidad de agua evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal.
  - La evaporación es un proceso físico, y en un vertedero, la evaporación del agua a la atmósfera se produce desde superficies de agua libre y desde la parte más superficial del interior del acúmulo de residuos o de las capas de tierras y/o suelos.
  - La transpiración es el proceso por el que el agua líquida existente en el interior de una planta es transformada por el metabolismo en vapor de agua que es expulsado al aire que le rodea.

Dependiendo del tipo de superficie expuesta (residuos, zonas selladas y revegetadas) el proceso que se produce será diferente en el detalle en el sentido de que la transpiración solo se produce si hay crecimiento vegetativo.

- **Flujo superficial derivado de la precipitación (FSP):** son las salidas laterales de agua de precipitación antes de que el agua de precipitación contacte con los residuos y se generen lixiviados. Es el caso típico de la escorrentía que se produce sobre zonas selladas o con coberturas intermedias. En este sentido, caben distinguir dos tipos de cubiertas o sellados: aquellos que incluyen una capa de impermeabilización artificial (geomembrana), que impide la infiltración, y aquellos otros que no contienen dicha impermeabilización sino que están constituidos por tierras u otros materiales que propician que se produzca una cierta infiltración además de la escorrentía superficial.
- **Lixiviados (LX):** incluye los lixiviados que se generan en el vertedero y que son extraídos del mismo mediante uno de los dos principales sistemas de gestión en este sentido:
  - Colector, galería, etc. que evacúa los lixiviados por gravedad.
  - Bombeo de lixiviados desde el interior del vertedero.

## VARIACIÓN INTERIOR

Según se ha indicado anteriormente, la masa de residuos de un vertedero determina que las entradas y salidas no sean instantáneas y simultáneas, sino que en un determinado período de

tiempo existen variaciones en el contenido de agua en el interior del mismo que deben ser consideradas a la hora de establecer y cuantificar el balance hídrico.

- **Variación en agua libre almacenada (Vs):** el agua se localiza principalmente en forma libre, en los poros interconectados existentes entre las partículas sólidas de tal forma que es susceptible de movilizarse y circular en el interior del vertedero. Respecto a este tipo de agua (libre), pueden distinguirse típicamente dos zonas dentro de la masa de residuos:
  - Una zona inferior con los poros llenos de agua-lixiviado (zona saturada).
  - Una zona superior con parte de los poros con agua-lixiviado pero parte sin ella (zona no saturada), cuyo límite con la anterior está señalado por el nivel freático.
- **Agua de absorción de materiales (AMr + Ars):** el agua de absorción de la masa de residuos (Ars) guarda relación con el tamaño de los residuos, con su grado de compactación y con el contenido en humedad original, sin olvidar la proporción de sus diversos componentes. Por último, hay que destacar el agua absorbida por el propio material de cobertura, (AMr).

Parte del agua que se infiltra en el interior del vertedero, antes de formar parte del lixiviado debe pasar por diferentes estratos del mismo, los cuales condicionan el flujo de agua de acuerdo a sus características hidráulicas. Las condiciones de almacenamiento y retención de humedad por parte de las capas del relleno, también son determinantes en el flujo de agua a través del interior del mismo.

El agua retenida entre los poros no fluirá hasta haber alcanzado una determinada saturación, por debajo de la cual el terreno es capaz de retenerla frente a la acción de la gravedad. Este umbral de humedad, característico de cada tipo de terreno, se denomina "capacidad de campo".

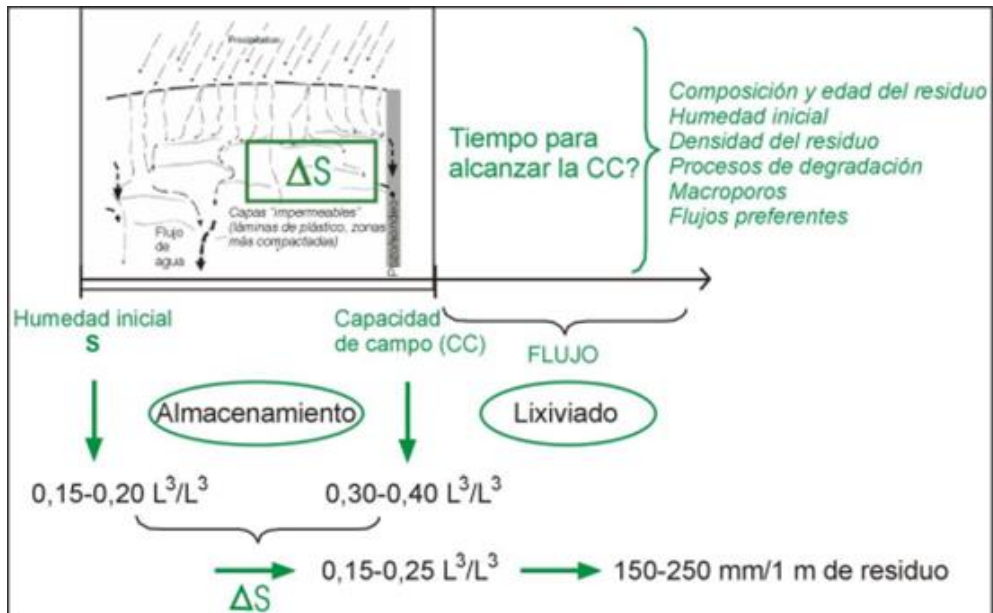
La absorción de agua por parte del material de cobertura es un factor que ya viene establecido, tanto por su disponibilidad en el emplazamiento como por la necesidad de impermeabilizar la superficie para evitar infiltraciones. El espesor de la capa de cobertura diaria, tienen una capacidad de absorción de agua antes de alcanzar el límite de saturación que oscila entre un 20% y un 25% en volumen, es decir que cada metro cúbico puede absorber (reteniéndola) de 200 a 250 litros de agua.

La absorción de agua por la masa de residuos (Ars) aparece como una capacidad de absorción y de otra de retención. Aunque esta última puede ser importante a la hora de tratar el flujo de lixiviados y, sobre todo, de influir en su regularidad con lluvias de gran intensidad, es la capacidad de absorción la que nos interesa a efectos de medir la generación de lixiviados.

Según Bengtsson, 1994, la capacidad de campo de los residuos sólidos urbanos puede alcanzar el 40 % (vol/vol); para residuos con una densidad en el vertido sobre 650 kg/m<sup>3</sup> y un contenido en humedad del 30 %, la capacidad de absorción es del 42 % en peso.



Teniendo en cuenta la naturaleza de los rechazos procedentes de planta de tratamiento, la absorción se puede considerar inferior.



*Representación de los datos citados en "Water balance for landfills of different age, Journal of Hydrology" 158, 1994, 203-217*

Sin embargo, en muchos vertederos los lixiviados aparecen antes de alcanzar este valor, con humedades globales del 25 – 30 %. Esta liberación "prematura" de líquido desde los residuos puede deberse a varios fenómenos:

1. La propia heterogeneidad del vertedero que hace que, mientras en algunas zonas todavía la humedad no ha alcanzado la capacidad de campo, en otras, ésta ya ha sido rebasada.
  2. La presencia de vacíos más o menos continuos ("macroporos") cuya conductividad hidráulica es mucho mayor que la de la matriz que los rodea.
  3. La existencia de movimiento del agua o flujo hacia las zonas inferiores, aun cuando no se ha alcanzado la capacidad de campo.
- **Variación por reacciones químicas y biológicas (VQB):** los residuos en un vertedero sufren procesos y transformaciones físicas, químicas y biológicas que determinan que se produzcan variaciones en el contenido en agua bien por liberación de agua como producto de determinadas reacciones, bien por fijación de la misma (fraguado), bien por consumo durante las propias reacciones químicas o por parte de microorganismos.

## 5.2. Modelo Conceptual del balance hídrico

El primer aspecto a establecer a la hora de desarrollar y calcular el balance hídrico del Complejo Ambiental de Los Morenos es el modelo conceptual del mismo mediante el que se definen y

justifican las posibles entradas y salidas de agua y su movimiento, según las características y los datos aportados para el periodo 2018.

Para establecer el modelo conceptual del vertedero consideramos los siguientes aspectos:

- Características del vertedero.
- Características de los residuos.
- Características del terreno.
- Gestión (estrategias de operación, gestión de lixiviados y gases).
- Elementos y sistemas de control.

Dichas características vienen definidas por datos aportados por el propio Complejo Ambiental, extraídos de la Memoria Topográfica, de la Autorización Ambiental Integrada y otros recogidos directamente por el Plan de Control y Vigilancia Ambiental del vertedero.

En base a los datos aportados por el Complejo Ambiental, éste cuenta con una única celda de vertido donde se depositan los rechazos procedentes de las plantas de clasificación y de material bioestabilizado, así como aquellos residuos no peligrosos sin posibilidades de aprovechamiento.

La celda de vertido se encuentra impermeabilizada, cuenta con sistema de recogida de lixiviados, pozos de desgasificación y una berma perimetral para evitar aguas de escorrentía superficial procedente de cotas superiores.

La superficie de la celda es de 15.747,24 m<sup>2</sup> y con 179.122,51 Tn de residuos depositados.

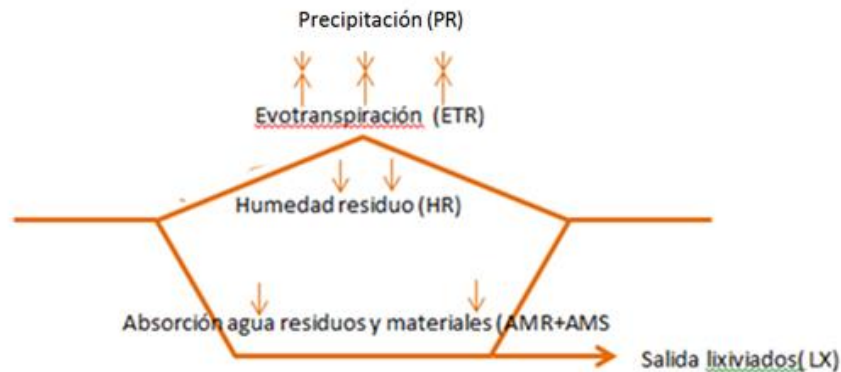
A efectos de cálculo, y en función de los datos aportados sobre el diseño del **Complejo Ambiental Los Morenos** no se considerarán:

- Las aguas de escorrentía superficial procedentes de cotas superiores (**ESP**): con el objeto de evitar que éstas entren dentro de la celda de vertido, existe un sistema de recogida de las mismas mediante una berma perimetral que conduce las aguas directamente al barranco de La Lava. Además al tratarse de una celda en explotación se considera que toda el agua de precipitación que entra en la misma está contaminada y es recogida como lixiviado mediante el sistema de recogida de lixiviados instalado en la celda de vertido.
- La escorrentía por aguas subterráneas procedentes de flujos locales (**ESB**): ya que la celda de vertido se encuentra impermeabilizada por una geomembrana de PEAD colocada directamente sobre el terreno debidamente acondicionado. Además se dispone de geotextiles para proteger la lámina de la geomembrana.
- El flujo superficial derivado de la precipitación (**FSP**): se considera despreciable por dos motivos, el primero es la escasez de lluvias que se han producido en la zona en el 2018 y el segundo es que al tratarse de una celda en explotación toda el agua de precipitación está contaminada y se recoge como lixiviado.

- Agua generada como consecuencia de los procesos biológicos (**VQB**): de todos los elementos que concurren en el vertedero, las entradas y salidas por factores inherentes al residuo, como la biodegradación o el vapor de agua eliminado a la atmósfera, son despreciables frente al resto de factores. Si se estima que es necesario 0,25 l de agua para la generación de 1 m<sup>3</sup> de metano, su equivalencia correspondiente dentro del balance hídrico, no es significativa.
- Recarga artificial, RA, dato no proporcionado por el Complejo Ambiental

De forma que nuestro balance quedaría de la siguiente forma:

ENTRADAS = SALIDAS +/-VARIACIÓN INTERIOR		
ENTRADAS	SALIDAS	VARIACIÓN INTERIOR
Precipitación (PR) Humedad residuo y otros (HR)	Evotranspiración (ETR) Lixiviados (LX)	Absorción de agua en residuos (AMR) Absorción de agua en materiales de cobertura (ARS)



## 6. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

Los cálculos tienen por objeto determinar el volumen de agua-lixiviado que entra, sale o varía en el interior del vertedero a lo largo de un periodo, en este caso todo el año 2018, en función de las características del Complejo Ambiental vienen dados por la siguiente fórmula:

$$LX = PR + HR - ETR - (AMR + ARS)$$

Par efectuar estos cálculos son necesarios datos cuantitativos de partida. Para algunos términos, estos datos numéricos de partida deben de ser medidos directamente (precipitación, lixiviados,

recargas artificiales). Respecto a otros términos, al no existir instrumentos de medición directo será necesario acudir a cálculos basados en datos de los parámetros que intervienen en ellos. Finalmente, respecto a otros términos, es posible al no existir ni siquiera datos de los parámetros que intervienen, el cálculo se basará en datos bibliográficos o experiencias previas en el mismo vertedero o vertederos comparables.

En cualquier caso, todos los datos de los parámetros que intervienen en el cálculo del Balance Hídrico aparecerán a continuación expresados de la siguiente forma:

- Datos de partida
- Cálculos
- Resultados

## 6.1. Entradas

### 6.1.1. Precipitación (PR)

#### Datos de partida

Datos obtenidos por medición directa de la Estación Meteorológica del **Complejo Ambiental Los Morenos**. Dicha estación nos da información diaria de la dirección del viento, velocidad, temperatura, radiación, evaporación y pluviometría. Los datos recogidos de precipitación diaria se aportan en mm.

#### Cálculos

No aplica al ser datos directos facilitados por la estación meteorológica del Complejo Ambiental

MES	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC	TOTAL
PR(mm)	42,7	52,9	55,1	8	6,10	8,3	0	4,5	0	126,2	30,4	1,4	335,6

#### Resultados

En la celda de vertido el flujo de la precipitación al ser una celda en explotación, es el siguiente:

- Un porcentaje se evapora por evotranspiración.
- Parte, se filtra atravesando el residuo, siendo recogida como lixiviado en la capa inferior del drenaje.
- Según la intensidad de la precipitación se puede producir escorrentía superficial; en este caso la escorrentía discurre sobre las capas de cubrición diaria, deslizando por los taludes hasta que es recogida por la cuneta en el interior de la berma, de donde pasa a la capa de drenaje de lixiviados.
- En todos los casos el agua de precipitación se considera contaminada y es recogida como lixiviado.

### 6.1.2. Humedad del residuo y de otros materiales depositados (HR)

Los residuos y otros materiales depositados en el vertedero, por ejemplo tierras para cubriciones, presentan en el momento de su entrada una cierta humedad constituyendo así, una fuente de entrada de agua al vertedero. Dado que en los vertederos está prohibido el depósito de residuos líquidos, este término se refiere al agua adherida a las partículas sólidas que no está libre ni circula libremente. La legislación señala además, el límite máximo de humedad que puede contener un residuo para ser admitido en un vertedero (65 %), por lo que esta cifra representa teóricamente el límite máximo de la cantidad de agua que puede entrar con los residuos y otros materiales.

#### Datos de partida

Los datos de partida en este caso son las cantidades de residuos y otros materiales que han entrado en el Complejo Ambiental, aportados por éste.

Para el cálculo de agua contenida en los residuos, no se ha tomado la totalidad de los mismos, ya que la humedad en los residuos debe de ser muy pequeña. Esto es debido a que éstos antes de entrar en la celda de rechazo son sometidos a un proceso de clasificación por lo que el agua contenida en los residuos ha sido parcialmente consumida o desprendida tras los procesos de clasificación y fermentación de los residuos.

Tomaremos como indicador los residuos indicados en la tabla siguiente, al ser los de mayor cantidad depositados en la celda de rechazo.

CÓD LER	RESIDUO	Kg CELDA DE VERTIDO
190599	RESIDUOS NO ESPECIFICADOS EN OTRA CATEGORÍA (RESIDUOS DEL TRATAMIENTO AERÓBICO DE RESIDUOS SÓLIDOS: MATERIAL BIOESTABILIZADO)	8.592.240
191212	RECHAZO DE FIN DE CINTA	12.566.040

De dichos residuos no se dispone de datos objetivos de humedad, por lo que se utilizan los datos de la tabla IV.1 incluida en la página siguiente. Son datos estándar de donde obtenemos que los residuos urbanos bien compactados se le asigna un peso específico de 600 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla IV.1**  
**Datos típicos sobre peso específico y contenido en humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas**

Tipos de residuos	Peso específico, kg./m <sup>3</sup>		Contenido en humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
<b>Domésticos (no compactados)</b>				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4-8	5
Plásticos	42-131	65	1-4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Goma	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	131-1.151	320	2-4	3
Suciedad, cenizas, etc.	320-1.000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
<b>Residuos de jardín domésticos</b>				
Hojas (sueltas y secas)	80-148	59	20-40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208-297	237	40-80	60
Hierba verde (húmeda y compactada)	593-831	593	50-90	80
Residuos de jardín (triturados)	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín (compostados)	267-386	326	40-60	50
<b>Urbanos</b>				
En camión compactador	178-451	297	15-40	20
En vertedero				
Medianamente compactados	362-498	451	15-40	25
Bien compactados	590-742	600	15-40	25
<b>Comerciales</b>				
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540	50-80	70
Aparatos	148-202	181	0-2	1
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Podas de árboles	101-181	148	20-80	5
Basura (combustible)	50-181	119	10-30	15
Basura (no combustible)	181-362	300	5-15	10
Basura (mezclada)	139-181	160	10-25	15
<b>Construcción y demolición</b>				
Demolición mezclados (no combustible)	1.000-1.600	1.421	2-10	4
Demolición mezclados (combustible)	300-400	360	4-15	8
Construcción mezclados (combustible)	181-360	261	4-15	8
Hormigón roto	1.198-1.800	1.540	0-5	-
<b>Industriales</b>				
Fangos químicos (húmedos)	801-1.101	1.000	75-99	80
Cenizas volantes	700-900	800	2-10	4
Restos de cuero	100-250	160	6-15	10
Chatarra metálica (pesada)	1.501-2.000	1.780	0-5	-
Chatarra metálica (ligera)	498-900	740	0-5	-
Chatarra metálica (mezclada)	700-1.500	900	0-5	-
Aceites, alquitranes, asfaltos	801-1.000	950	0-5	2
Serrín	101-350	291	10-40	20
<b>Residuos textiles</b>				
Madera (mezclada)	400-676	498	30-60	25
<b>Agrícolas</b>				
Agrícolas (mezclados)	400-751	561	40-80	50
Animales muertos	202-498	359	-	-
Residuos de frutas (mezclados)	249-751	359	60-90	75
Estiércol (húmedo)	899-1.050	1.000	75-96	94
Residuos de vegetales (mezclados)	202-700	359	60-90	75

### Cálculos

Los cálculos consistirán en la determinación del volumen de entrada de agua multiplicando las cantidades de residuos que han sido depositados por su peso específico

En la siguiente tabla aparece el volumen de agua del residuo en m<sup>3</sup>

CÓD LER	RESIDUO	m <sup>3</sup>
190599	RESIDUOS NO ESPECIFICADOS EN OTRA CATEGORÍA (RESIDUOS DEL TRATAMIENTO AERÓBICO DE RESIDUOS SÓLIDOS: MATERIAL BIOESTABILIZADO)	14.320,4
191212	RECHAZO DE FIN DE CINTA	20.943,4

## Resultados

Toda el agua contenida en el residuo se considera contaminada

## 6.2. Salidas

### 6.2.1. Evotranspiración (ETR)

#### Datos de partida

Para el cálculo de la Evapotranspiración se ha escogido la ecuación de Penman- Monteith, que es la recomendada por la FAO como método estándar para determinar la ETR a partir de datos meteorológicos (Allen et al., 1998). Los datos utilizados han sido obtenidos de la estación meteorológica del Complejo Ambiental: temperatura, humedad, viento, presión atmosférica y radiación.

#### Cálculos

Los cálculos de la evotranspiración (diaria) se realizan en pasos consecutivos, comenzando por la evotranspiración del cultivo de referencia.

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

ET<sub>0</sub> Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

R<sub>n</sub> Radiación neta en la superficie [MJ/m<sup>2</sup>/día]

G Flujo de calor del suelo [MJ/m<sup>2</sup>/día]

T Temperatura media del aire a 2 m de altura [°C]

u<sub>2</sub> Velocidad del viento a 2 m de altura [m/s]

e<sub>s</sub> Presión media de vapor de saturación [kPa]

e<sub>a</sub> Presión real de vapor [kPa]

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> Déficit de presión de vapor [kPa]

Δ Pendiente de la curva de presión de vapor [kPa/°C]

γ Constante psicrométrica [kPa/°C]

Dónde:

- Constante Psicrométrica:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0,665 \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

donde

$\gamma$	constante psicrométrica [ kPa °C <sup>-1</sup> ],
$P$	presión atmosférica [ kPa],
$\lambda$	calor latente de vaporización, 2,45 [ MJ kg <sup>-1</sup> ],
$c_p$	calor específico a presión constante, 1,013 x 10 <sup>-3</sup> [ MJ kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ],
$\varepsilon$	cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0,622.

- Pendiente de la curva de presión de vapor:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[ 0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

- Presión real de vapor:

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{\min}) \frac{HR_{\max}}{100} + e^\circ(T_{\max}) \frac{HR_{\min}}{100}}{2}$$

donde

$e_a$	presión real de vapor [kPa]
$e^\circ(T_{\min})$	presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria [kPa]
$e^\circ(T_{\max})$	presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria [kPa]
$HR_{\max}$	humedad relativa máxima [%]
$HR_{\min}$	humedad relativa mínima [%].

- Radiación extraterreste:

$$R_s = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (21)$$

donde

$R_s$	radiación extraterreste [MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ]
$G_{sc}$	constante solar = 0,082 MJ m <sup>2</sup> min <sup>-1</sup> ,
$d_r$	distancia relativa inversa Tierra-Sol (Ecuación 23)
$\omega_s$	ángulo de radiación a la puesta del sol (Ecuaciones 25 o 26) [rad]
$\varphi$	latitud [rad] (Ecuación 22)
$\delta$	declinación solar (Ecuación 24) [rad].

- Radiación neta solar:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (38)$$

donde

$R_{ns}$	radiación neta solar o de onda corta [MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ],
$\alpha$	albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia [adimensional],
$R_s$	radiación solar entrante [ MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ].
$R_{ns}$	en la Ecuación 38 está expresada en MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> .

- Radiación neta de onda larga:



$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \left( 0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (39)$$

donde

$R_{nl}$	Radiación neta de onda larga [MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ],
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann [ 4,903 x 10 <sup>-8</sup> MJ K <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ],
$T_{max,K}$	temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas [K = °C + 273,16],
$T_{min,K}$	temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas [K = °C + 273,16],
$e_a$	presión de vapor real [kPa],
$R_s/R_{so}$	radiación relativa de onda corta (valores ≤ 1,0),
$R_s$	radiación solar medida o calculada (Ecuación 35) [MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ],
$R_{so}$	radiación en un día despejado (Ecuación 36 o 37) [MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> ].

### ○ Radiación neta

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

La ecuación FAO Penman-Monteith se deriva a partir de la ecuación original de Penman-Monteith y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica y del cultivo. La ecuación determina la evotranspiración de la superficie hipotética de referencia y proporciona un valor estándar con el cual se puede comparar la evotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones así como también puede relacionarse con la evotranspiración de otros cultivos.

La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

Dado que con la Evotranspiración potencial se establece una situación de referencia que no es aplicable a nuestro caso, este dato se corrige con un factor de cultivo (Kc). En nuestro caso, ya que los proyectos de revegetación difieren de los cultivos agrícolas, se ha utilizado el coeficiente de Jardín (Kj).

Para el cálculo de Kj, se ha utilizado el "Método del Coeficiente de Jardín" (Costello et al., 2000). El método utilizado para estimar las necesidades hídricas de los jardines es básicamente el mismo que el que se utiliza para los cultivos. La diferencia en este caso es la sustitución del coeficiente de cultivo (Kc) por el llamado coeficiente de jardín (Kj), de modo que la fórmula

$$ET_R = ET_0 * K_C \text{ se convierte en } \mathbf{ET_R = ET_0 * K_J}$$

De este modo, el coeficiente de jardín se determina a partir de tres factores (especie, densidad y microclima), aplicados a su vez como tres coeficientes: Kj= ks\* kd\* kmc. Donde: ks = factor especie, kd = factor densidad y kmc = factor microclima.

### Resultados

MES	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC
<b>ETR(mm)</b>	2,4	2,4	3,0	3,3	3,2	3,3	3,7	3,5	3,0	2,6	2,3	2,3

Al tratarse de una celda en explotación, se ha observado la presencia de vegetación espontánea de forma que también se ha aplicado la evotranspiración corregida pero ajustando el factor de densidad al nivel más bajo.

### 6.2.2. Lixiviados (LX)

#### Datos de partida

Los datos de partida son aportados por el Complejo Ambiental, que cuenta con un sistema de recogida de lixiviados por gravedad hasta el pozo de captación y la evacuación de los lixiviados hasta el depósito de 90 m<sup>3</sup> es forzada mediante bomba ubicada en pozo vertical de captación. De donde se extraen y mediante cisternas se transportan a la EDAR de Santa Cruz de La Palma.

#### Cálculos

No aplica al ser datos directos facilitados por el Complejo Ambiental.

MES	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC	TOTAL
LX(m <sup>3</sup> )	94,08	82,82	104,36	59,26	88,68	86,74	96,86	92,98	83,64	84,44	87,76	84,82	<b>1046,44</b>

#### Resultados

La relación de los lixiviados controlados por el vertedero y los obtenidos de forma teórica será motivo de estudio en el apartado Análisis del Balance Hídrico de este informe.

## 6.3. Variación Interior

### 6.3.1. Absorción de agua de los residuos y material de cobertura (AMr+Ars)

#### Datos de partida

Determinar la humedad aportada por los residuos es complejo. La razón principal es la variación de humedad relacionada con la estacionalidad así como la heterogeneidad de los mismos.

Para simular el comportamiento de estos componentes en la dinámica de la celda utilizamos los siguientes factores (recogidos en el Proyecto básico de referencia):

- **Amr:** Absorción por material de cobertura de 0,04 m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup>.
- **Ars:** Absorción por masa de rechazos, de 0,12 m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup>.

Los datos de residuos y tierra de cobertura se obtienen directamente del Complejo Ambiental

- **Toneladas de residuos depositadas:** 179.122,51
- **Toneladas de tierra de cobertura:** 34.995,76

## Cálculos

Para realizar los cálculos se multiplican las toneladas depositadas de residuos y las de tierra de cobertura por los factores descritos en el punto anterior.

## Resultados

Metros cúbicos depositados 2018

Tierras (m <sup>3</sup> )	32.209,0	Capacidad teórica de absorción por el material de cobertura (AMR 0,04 m <sup>3</sup> /1 m <sup>3</sup> )	1.288,4
Residuo (m <sup>3</sup> )	165.854,2	Capacidad teórica de Absorción por residuo (AMS 0,12m <sup>3</sup> / 1 m <sup>3</sup> )	19.902,5
Sumatorio (AMr + Ars) m <sup>3</sup>			21.190,9

## 7. EXPRESIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

Término	Tipo	Vol (m3)
---------	------	----------

### Entradas

Precipitación (PR)	Precipitación	5.284,77
Humedad residuo y otros (HR)	Humedad del residuo	35.263,8

### **Suma de entradas**

**40.548,57**

### Salidas

Evotranspiración (ETR)	Evapotranspiración	551,15
Lixiviados (LXC)	Lixiviados controlados por gravedad	1.046,44

### **Suma de salidas**

**1.597,59**

### Variación Interior

Absorción de agua de los residuos y material de cobertura (AMr+Ars)	Absorción de agua	21.190,9
---	-------------------	----------

### **Suma de variación interior**

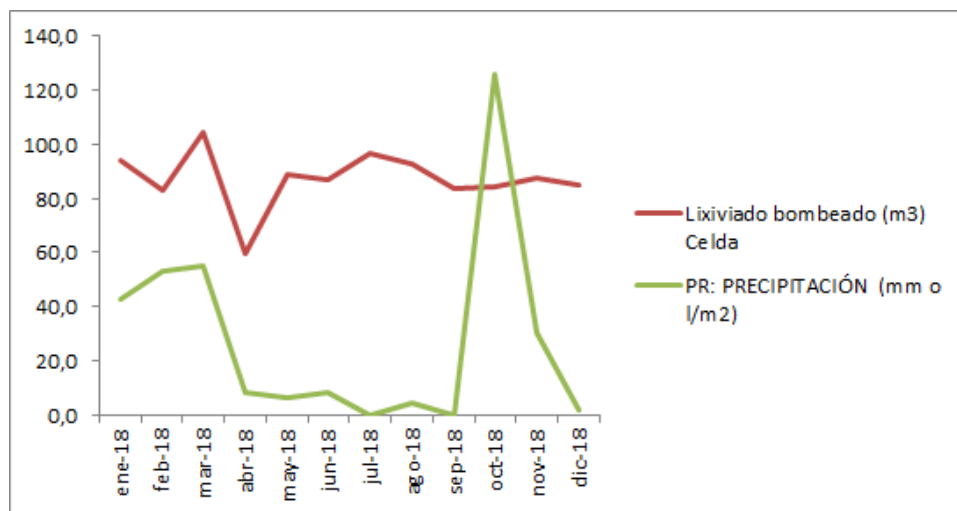
**21.190,9**

Las salidas son menores que las entradas lo que significa que ha habido un aumento en el contenido de agua en el interior del vertedero.

## 8. ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO

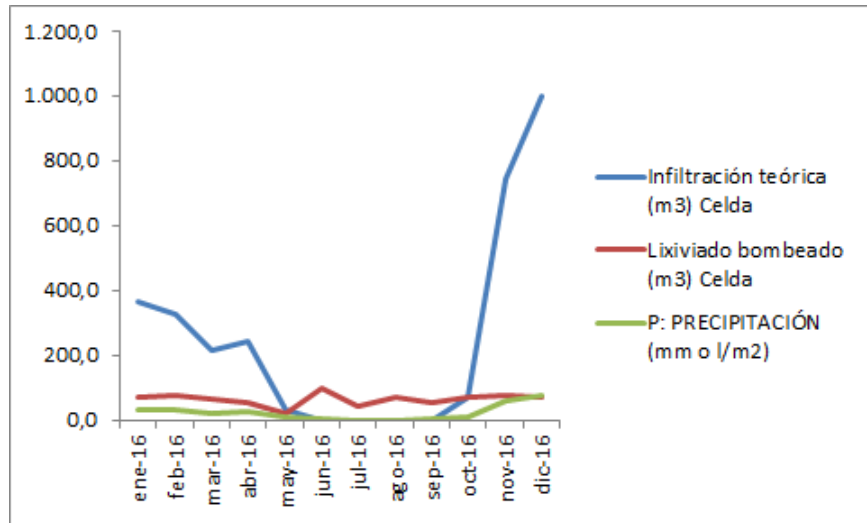
A la hora de interpretar el balance hídrico de forma más específica es importante analizar los valores de precipitación y volumen de lixiviados y su relación en el periodo considerado utilizando para ello los valores cuantitativos obtenidos en el cálculo como su representación gráfica (hidrograma de lixiviados junto a precipitaciones).

A continuación se muestra la gráfica para poder comparar la relación existente entre precipitación-lixiviado:

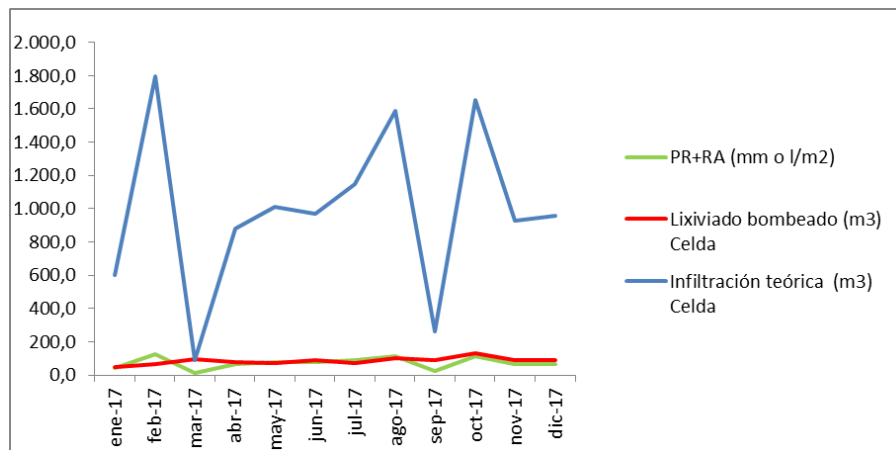


Del hidrograma anterior podemos deducir que existe una relación entre meses de máxima pluviometría (febrero-marzo y octubre) con un aumento de los lixiviados controlados. Es importante destacar que este aumento no coincide con el mes de mayor recarga sino inmediatamente meses posteriores debido a la interacción con los residuos depositados. Debemos considerar para el próximo estudio la cantidad de lixiviados obtenida a principios del año 2019, y comprobar su correlación con las lluvias del mes de octubre de 2018, que han sido un evento especial con 126,2 l.

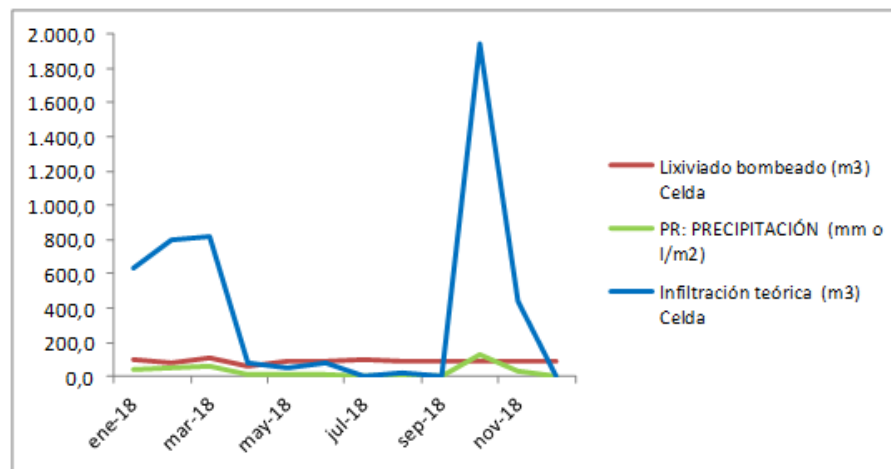
Para poder reafirmar lo expuesto anteriormente, vamos a comparar los valores obtenidos en 2018 con valores obtenidos anteriormente, de forma que podemos observar que a lo largo del tiempo el comportamiento del vertedero ha sido similar, sin eventos temporales relevantes, siendo la relación lixiviados bombeados con las precipitaciones homogénea.



Hidrograma 2016



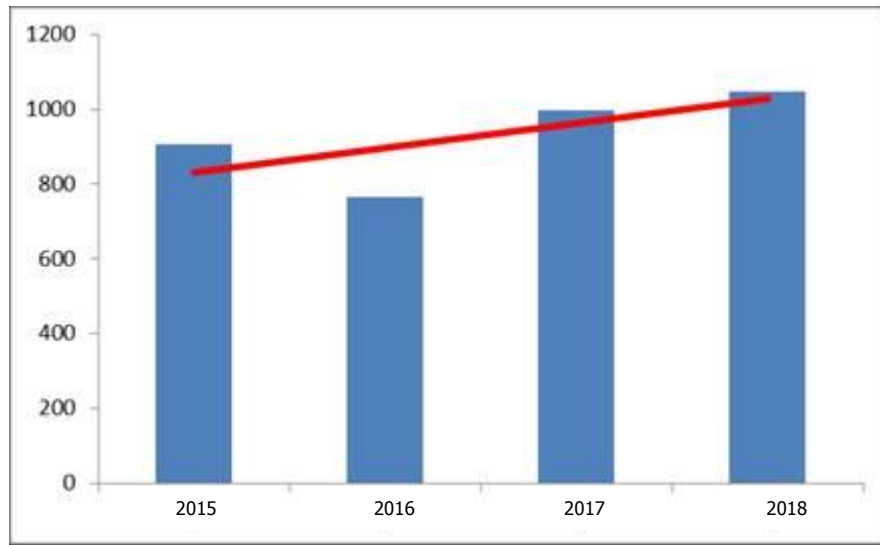
Hidrograma 2017



Hidrograma 2018

Sin embargo observando las gráficas anteriores vemos que la infiltración teórica es bastante superior al lixiviado bombeado, lo cual es debido a la presunción de un aumento de contenido en agua en el vertedero debido a la capacidad de absorción de los residuos depositados.

Si comparamos la información acumulada en los últimos años, y la representamos gráficamente, obtenemos, que la tendencia en la producción de lixiviados aumenta cuanto más años tiene el vertedero en explotación hasta que llegue a la saturación del mismo.



Tomando en cuenta los datos obtenidos en el balance hídrico en base al modelo conceptual del Complejo Ambiental tenemos:

$$LX = PR + HR - ETR - (AMR + ARS)$$

De donde:

CELDA DE RECHAZO		ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	TOTAL 2018
<b>LX=PR+HR-ETR-(AMr+Ars)</b>														
PR: PRECIPITACIÓN (mm l/m²)		42,7	52,9	55,1	8,0	6,1	8,3	0,0	4,5	0,0	126,2	30,4	14	335,6
Etr (mm)		2,4	2,4	3,0	3,3	3,2	3,3	3,7	3,5	3,0	2,6	2,3	2,3	35,0
PR - Etr (mm l/m²)		40,3	50,5	52,1	4,7	2,9	5,0	0,0	1,0	0,0	123,6	28,1	0,0	
HR														35.263,8
Infiltración teórica (m³ Celda)		634,6	795,2	820,4	74,0	45,7	78,7	0,0	15,7	0,0	1946,4	442,5	0,0	35.263,8
Lixiviado bombeado (m³ Celda)		94,1	82,8	104,4	59,3	88,7	86,7	96,9	93,0	83,6	84,4	87,8	84,8	1046,4
Superficie ocupada por el vaso de la celda (m²)	15.747,2													

$$\text{Lixiviado teórico m}^3 = PR+HR-ETR-(AMr+Ars) \quad \boxed{14.072,9}$$

Como se observa en los cálculos la cantidad de lixiviado bombeado es menor que la de lixiviado teórico, con lo que se puede considerar que la celda de vertido todavía no se encuentra saturada.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Resolución de la Viceconsejería de Medio Ambiente nº. 39, de 9 de enero de 2014, por la que se actualiza la Autorización Ambiental Integrada al "PROYECTO BÁSICO PARA LA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA DE LA INSTALACIÓN DENOMINADA COMPLEJO AMBIENTAL DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE LOS MORENOS" (AAI-053-TF/001-2013)
- Documento guía para la realización de balances hídricos en vertederos (Gobierno Vasco-2015).
- Problemática en el cálculo del Balance Hídrico en vertederos. Revisión bibliográfica por Inma Mugerza. Hydrolur y Iñaki Antigüedad. UPV-EHU.
- Water balance for landfills of different age, Journal of Hydrology.
- Memoria Topográfica a 30 de junio de 2018.
- Capítulo IV de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.
- Orden de 14 de mayo de 1990, por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2-IC, en su punto 2, 2.5 "Escorrentía.
- Método del Coeficiente de Jardín" (Costello et al., 2000).
- ADEBOYE, O.B., OSUNBITAN, J.A., ADEKALU, K.O. y OKUNADE, D.A. (2009): Evaluation of FAO-56 Penman-Monteith and temperature based models in estimating reference evapotranspiration using complete and limited data. Application to Nigeria. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript number 1291. Volume XI.
- FAO (2006): Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Estudio Riego y Drenaje nº 56.