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: 16.03.2020
Código: P-064208-985563 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: 16.03.2020
Elaborado y aprobado por:

NARCISO MANUEL BARROSO BERMEJO
Firmado digitalmente por NARCISO MANUEL BARROSO BERMEJO
Fecha: 2020.03.27 16:34:36 Z

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.cliente@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

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

A CORUÑA – ALBACETE– ALICANTE - ASTURIAS – BARCELONA– BILBAO – CÁDIZ – CASTELLÓN – CIUDAD REAL – CORDOBA – GRANADA – HUELVA – JAÉN – LAS PALMAS – LEÓN – LOGROÑO – LUGO – MADRID – MÁLAGA – MÉRIDA – MURCIA – ORENSE – PALMA – PAMPLONA - SAN SEBASTIÁN – SANTANDER – SEVILLA – TENERIFE – TOLEDO – VALENCIA – VALLADOLID – VIGO - VITORIA – ZARAGOZA

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 10
6. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO 12
6.1. Entradas 12
6.2. Salidas 18
6.3. Variación Interior 22
7. EXPRESIÓN DEL BALANCE HÍDRICO 24
8. ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO 25
9. BIBLIOGRAFÍA 28

1. DATOS GENERALES DE APPLUS

Nombre: Applus Norcontrol, S.L.U.

Domicilio: C/ Presidente Adolfo Suárez González, nº 17. 38320 San Cristóbal de La Laguna

Tfno.: 922 24 16 34 **Fax:** 922 24 59 06

Domicilio social: Carretera Nacional VI, Km. 582, 15168 Sada (A Coruña)

Tfno.: 981.014.500 **Fax:** 981.014.550

Autorización: Resolución de 27 de febrero de 2006 (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la Xunta de Galicia).

Resolución OCA 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.

Entidad Colaboradora de la Administración: 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

Nombre: URBASER S.A.

Domicilio: Polígono Industrial San Isidro, C/ La Campana, nº 5 El Rosario, Santa Cruz de Tenerife.

N.I.F.: A-79524054

2.2. Datos de la instalación

Nombre: Complejo Ambiental de Tratamiento de Residuos Los Morenos.

Domicilio: Polígono de Tiguerorte. Término municipal de Mazo, isla de La Palma, Santa Cruz de Tenerife.

Actividad (CNAE 2009): 38.21 Tratamiento y Eliminación de residuos no peligrosos. Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos.

Persona de contacto: D. Asensio Ayala Bayoll.

Teléfono de contacto: 670 91 99 33

Mail de contacto: 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 2019 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.

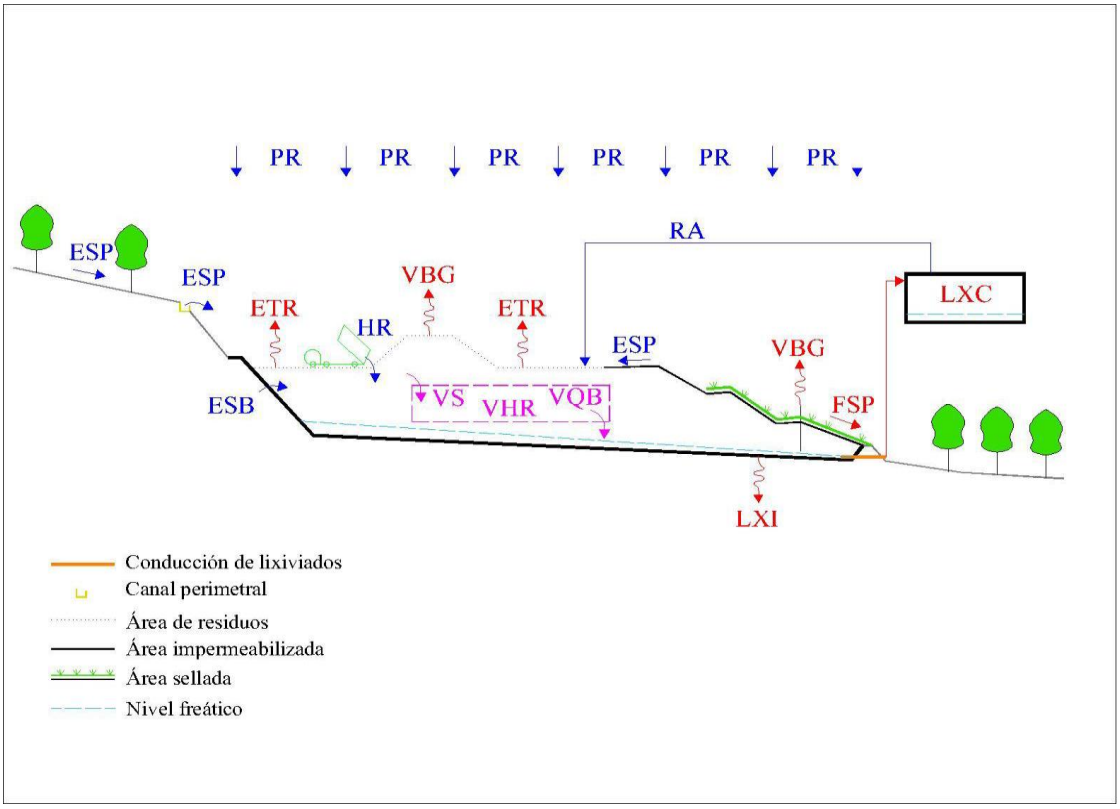
Por balance hídrico de un vertedero se entiende la descripción y cuantificación de las entradas y salidas de agua que se producen a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Dado que el proceso de entrada-salida no es instantáneo sino que la masa de residuos del vertedero confiere una cierta inercia 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.

Entradas = Salidas +/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)

Esquema general y términos del balance hídrico en un vertedero

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 contraincendios u otras causas (mantenimiento de viales internos por ejemplo), tanto mediante instalaciones filas 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.

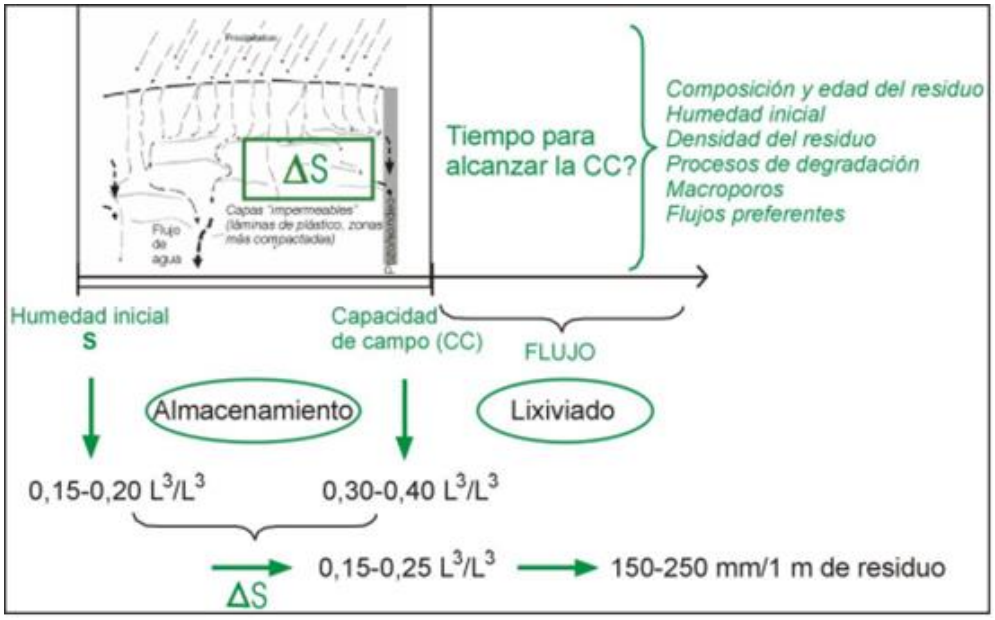
  El agua retenida entre los poros no fluirá hasta haber alcanzado una determinada saturación, por debajo de la cual el terreno es capaz de retenerla frente a la acción de la gravedad. Este umbral de humedad, característico de cada tipo de terreno, se denomina "capacidad de campo".

  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^3 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 2019.

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 Anual, 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 18.052,70 m² y con 30.385.160 kg de residuos depositados en 2019.

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.

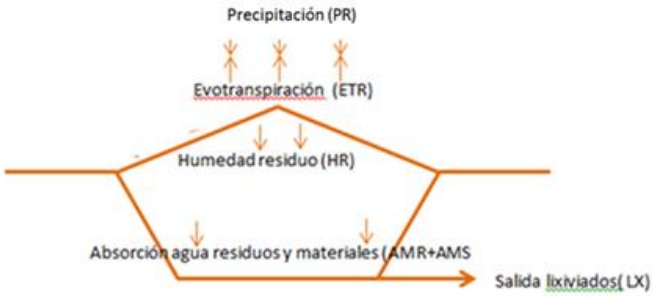
- El flujo superficial derivado de la precipitación **(FSP):** se considera despreciable por dos motivos, el primero es la escasez de lluvias que se han producido en la zona en el 2019 y el segundo es que al tratarse de una celda en explotación toda el agua de precipitación está contaminada y se recoge 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^3 de metano, su equivalencia correspondiente dentro del balance hídrico, no es significante.

- 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)



Esquema y términos del balance hídrico para la celda de rechazo

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 2019, en función de las características del Complejo Ambiental vienen dados por la siguiente fórmula:

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

Para efectuar estos cálculos son necesarios datos cuantitativos de partida. Para algunos términos, estos datos numéricos de partida deben 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

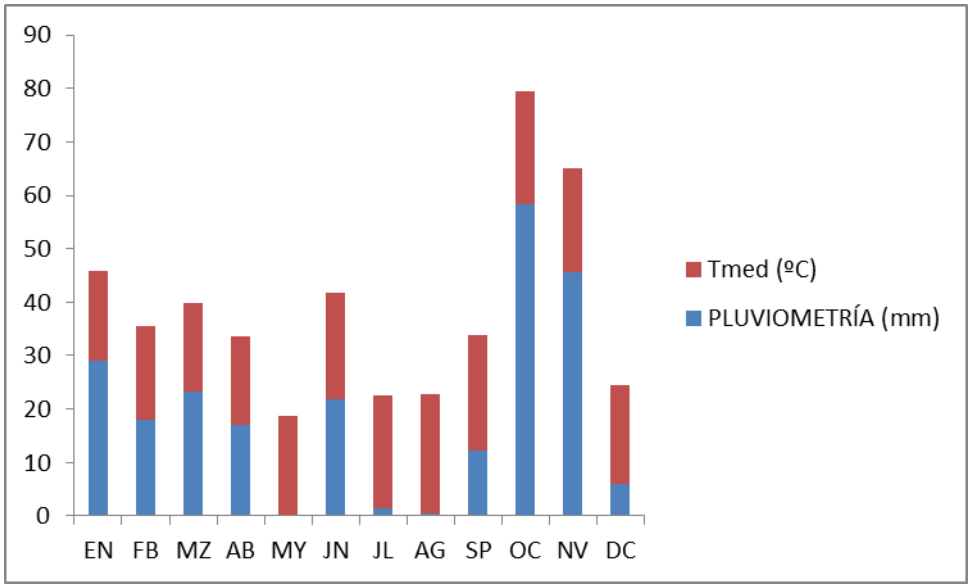
MES	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC	TOTAL
PR(mm)	28,9	17,9	23,3	16,9	0,3	21,8	1,5	0,4	12,3	58,3	45,6	5,9	**233,1**

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 infiltra 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.

Además, en nuestro caso, se observa que el periodo de estudio no ha habido eventos meteorológicos destacables, con escasas precipitaciones concentradas en el último trimestre del año como se observa en la figura siguiente:



Precipitaciones y temperaturas medias de 2019

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 (Kg) que han entrado en la celda de rechazo durante el periodo 2019 recepcionados por el propio Complejo Ambiental.

COD. LER	RESIDUO	TOTAL (kg)
190501	Fracción no compostada de residuos municipales y asimilados.	149.420
190599	Residuos no especificados en otra categoría. Residuos del tratamiento aeróbico de residuos sólidos.	8.558.700
191212	Otros residuos (incluidas mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico de residuos, distintos de los especificados en el código 19 12 11.	19.538.288
020103	Residuos de tejidos de vegetales.	1.280
020199	Residuos no especificados en otra categoría. Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca.	389.820
020104	Residuos de plásticos (excepto embalajes).	2.600
020202	Residuos de tejidos de animales.	186880
020203	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración.	86.140
170107	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las especificadas en el código 17 01 06.	927.720
020304	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración. Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas.	600
170202	Vidrio.	65.340
170203	Plástico.	9.780
180104	Residuos cuya recogida y eliminación no es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones (por ejemplo, vendajes, vaciados de yeso, ropa blanca, ropa desechable, pañales).	102.880
170802	Materiales de construcción a base de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01.	12.340
200303	Residuos de limpieza viaria.	43.680

COD. LER	RESIDUO	TOTAL (kg)
200201	Residuos biodegradables.	1.040
200203	Otros residuos no biodegradables.	18.160
170604	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03.	80
200306	Residuos de la limpieza de alcantarillas.	184.360
200399	Residuos municipales no especificados en otra categoría.	65040
TOTAL		**30.385.160**

En la bibliografía existen diferentes estimaciones genéricas de la humedad de residuos y otros materiales a aplicar con los que determinamos el contenido en agua de los residuos al no existir análisis de los mismos, en caso de que el tipo de residuo o material depositado no se encuentre, se tomará por comparación el valor de aquel que pueda resultar representativo.

Cálculos

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

COD. LER	Tipo de residuo	Cantidad de residuo (kg)	Volumen (m^3)	Peso específico (kg/m^3)	Contenido en humedad (%)	Contenido en agua (m^3)
190501	Fracción no compostada de residuos municipales y asimilados.	149.420	331,31	451	25	82,83
190599	Residuos no especificados en otra categoría. Residuos del tratamiento aeróbico de residuos sólidos.	8.558.700	14.264,5	600	25	3.566,12
191212	Otros residuos (incluidas mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico	19.538.288	65.785,48	297	20	13.167,10

COD. LER	Tipo de residuo	Cantidad de residuo (kg)	Volumen (m^3)	Peso específico (kg/m^3)	Contenido en humedad (%)	Contenido en agua (m^3)
	de residuos, distintos de los especificados en el código 19 12 11.					
020103	Residuos de tejidos de vegetales.	1.280	3,56	359	75	2,67
020199	Residuos no especificados en otra categoría. Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca.	389.820	694,86	561	50	347,43
020104	Residuos de plásticos (excepto embalajes).	2.600	40	65	2	0,8
020202	Residuos de tejidos de animales.	186.880	520,55	359	75	390,41
020203	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración.	86.140	153,54	561	50	76,77
170107	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las especificadas en el código 17 01 06.	927.720	602,41	1.540	4	24,09
020304	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración. Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto	600	1,67	359	75	1,25

COD. LER	Tipo de residuo	Cantidad de residuo (kg)	Volumen (m^3)	Peso específico (kg/m^3)	Contenido en humedad (%)	Contenido en agua (m^3)
	de levadura, preparación y fermentación de melazas.					
170202	Vidrio.	65.340	333,36	196	2	6,66
170203	Plástico.	9.780	150,46	65	2	3,01
180104	Residuos cuya recogida y eliminación no es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones (por ejemplo, vendajes, vaciados de yeso, ropa blanca, ropa desechable, pañales).	102.880	205,76	500	5	10,28
170802	Materiales de construcción a base de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01.	12.340	5,13	261	8	1,41
200303	Residuos de limpieza viaria.	43.680	43,68	1000	80	34,94
200201	Residuos biodegradables.	1.040	1,04	1000	80	0,83
200203	Otros residuos no biodegradables.	18.160	18,16	1000	80	14,52
170604	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03.	80	1,6	50	5	0,08
200306	Residuos de la limpieza de alcantarillas.	184.360	184,36	1000	80	147,48
200399	Residuos municipales no especificados en otra	65.040	218,99	297	20	43,80

COD. LER	Tipo de residuo	Cantidad de residuo (kg)	Volumen (m^3)	Peso específico (kg/m^3)	Contenido en humedad (%)	Contenido en agua (m^3)
	categoría.					
TOTALES		**30.385.160**	**83.560,42**			**17.922,46**

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 l 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_0 Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

R_n Radiación neta en la superficie [$MJ/m^2 dia$]

G Flujo de calor del suelo [$MJ/m^2 dia$]

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

u_2 Velocidad del viento a 2 m de altura [m/s]

e_s Presión media de vapor de saturación [kPa]

e_a Presión real de vapor [kPa]

e_s-e_a Déficit de presión de vapor [kPa]

Δ Pendiente de la curva de presión de vapor [kPa/ºC]

γ Constante psicrométrica [kPa/ºC]

Dónde:

- Constante Psicrométrica:

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

donde

γ	constante psicrométrica [kPa °C^{-1}],
P	presión atmosférica [kPa],
λ	calor latente de vaporización, 2,45 [MJ kg^{-1}],
c_p	calor específico a presión constante, 1,013 x 10^{-3} [MJ kg^{-1} °C^{-1}],
ε	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:

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

donde

R_a	radiación extraterrestre [MJ m^{-2} día^{-1}]
G_{sc}	constante solar = 0,082 MJ m^{-2} min^{-1},
d_r	distancia relativa inversa Tierra-Sol (Ecuación 23)
ω_s	ángulo de radiación a la puesta del sol (Ecuaciones 25 o 26) [rad]
φ	latitud [rad] (Ecuación 22)
δ	declinación solar (Ecuación 24) [rad].

- Radiación neta solar:

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

donde

R_{ns}	radiación neta solar o de onda corta [MJ m^{-2} día^{-1}],
α	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^{-2} día^{-1}].

R_{ns} en la Ecuación 38 está expresada en MJ m^{-2} día^{-1}.

- Radiación neta de onda larga:

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

donde

R_{nl}	Radiación neta de onda larga [MJ m^{-2} $día^{-1}$],
σ	constante de Stefan-Boltzmann [4,903 x 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} $día^{-1}$],
$T_{max,K}$	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^{-2} $día^{-1}$],
R_{so}	radiación en un día despejado (Ecuación 36 o 37) [MJ m^{-2} $día^{-1}$].

- 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-1 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:

$ET_R = ET_0 * K_C$ se convierte en **$ET_R = ET_0 * K_J$**

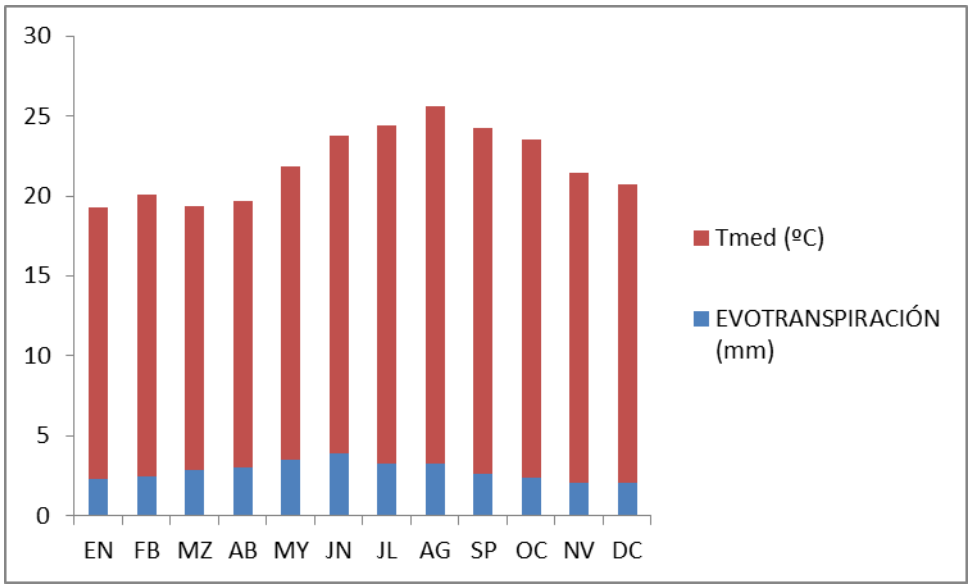
De este modo, el coeficiente de jardín se determina a partir de tres factores (especie, densidad y microclima), aplicados a su vez como tres coeficientes: Kj= ks* kd* kmc. Donde: ks = factor especie, kd = factor densidad y kmc = factor microclima.

Resultados

MES	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC
ETR(mm)	2,3	2,5	2,9	3,0	3,5	2,9	3,3	3,3	2,6	2,4	2,1	**2,1**

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.

Como se observa en la figura siguiente la evotranspiración es mayor a mayor temperatura.



Evapotranspiración real del año 2019

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^3 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

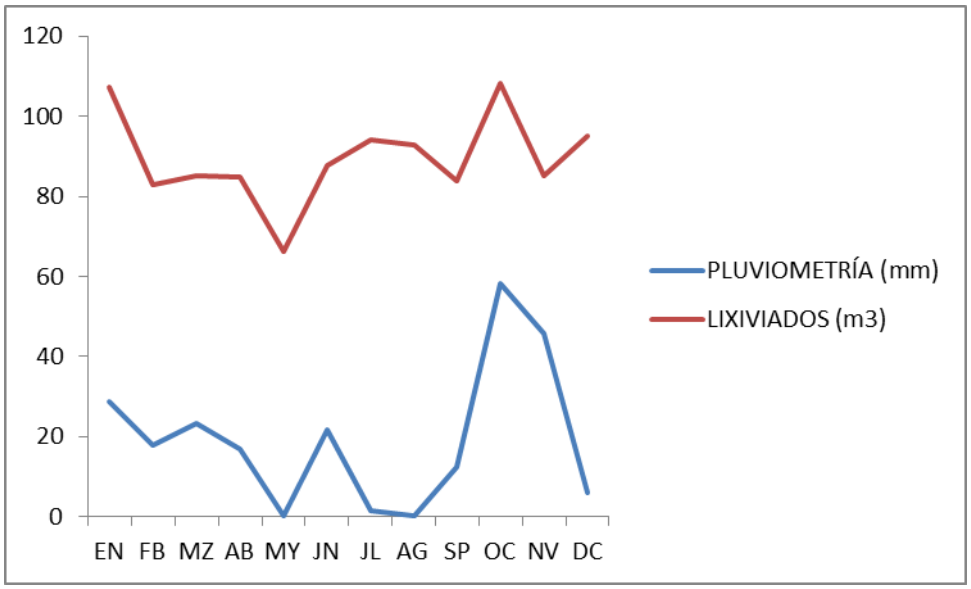
No aplica al ser datos directos facilitados por el Complejo Ambiental.

MES	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC	TOTAL
LX(m^3)	107,340	82,940	85,180	84,780	66,100	87,620	94,080	92,780	83,820	103,140	85,000	94,980	**1067,760**

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.

En la gráfica siguiente se observa la relación entre la precipitación y los lixiviados recogidos por el vertedero.



Lixiviados recogidos del año 2019

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^3 de agua por m^3.
- **Ars**: Absorción por masa de rechazos, de 0,12 m^3 de agua por m^3.

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

- **m^3 de residuos depositados:** 83.560,42
- **m^3 de tierra de cobertura:** 40.429,50

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

- **m^3 de residuos depositados:** 83.560,42 * 0,12 = 10.027,25
- **m^3 de tierra de cobertura:** 40.429,50 * 0,04 = 1.617,18

(Amr + Ars) = 11.644,43 m^3

7. EXPRESIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

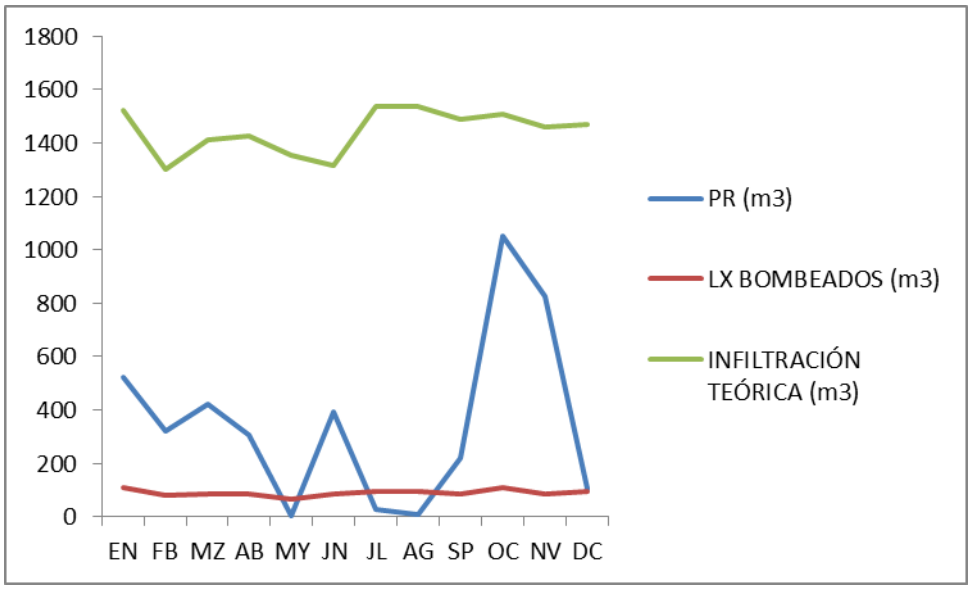
Término	Tipo	Vol (m3)
Entradas		
Precipitación (PR)	Precipitación	4.207,9
Humedad residuo y otros (HR)	Humedad del residuo	17.922,6
Suma de entradas		***22.130,5***
Salidas		
Evotranspiración (ETR)	Evapotranspiración	593,93
Lixiviados (LXC)	Lixiviados controlados por gravedad	1.067,76
Suma de salidas		***1.661,69***
Variación Interior		
Absorción de agua de los residuos y material de cobertura (AMr+Ars)	Absorción de agua	11.644,43
Suma de variación interior		***11.644,43***

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:



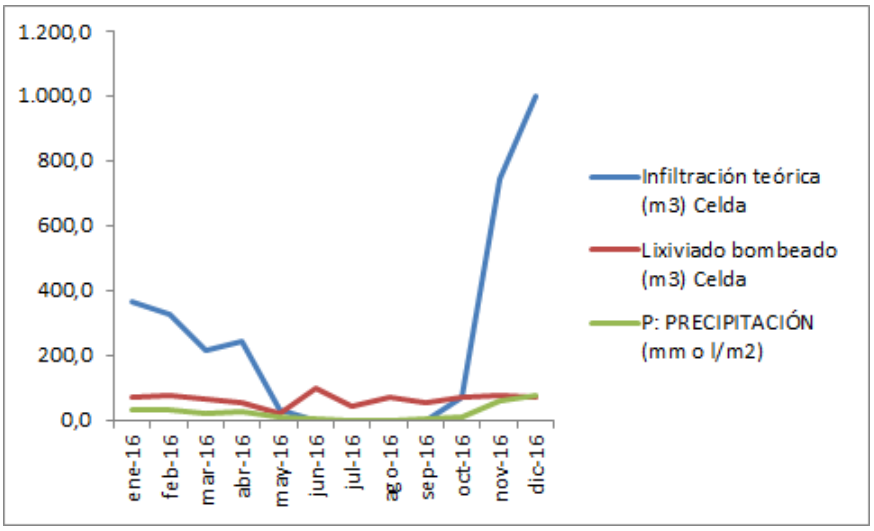
Hidrograma 2019

Tal y como se observa en la gráfica anterior el bombeo de lixiviados es muy pequeño debido principalmente a que no han existido elementos climatológicos adversos. Como se observa en los cálculos la cantidad de lixiviado bombeado es bastante menor que la de lixiviado teórico, con lo que se puede considerar que la celda de vertido todavía no se encuentra saturada, ya que gran parte del volumen de lixiviado es retenido en el residuo, el cual actúa como un acuífero en sí. De esta manera, el lixiviado que se ha almacenado será descargado de forma gradual en función de la capacidad de absorción de los residuos depositados.

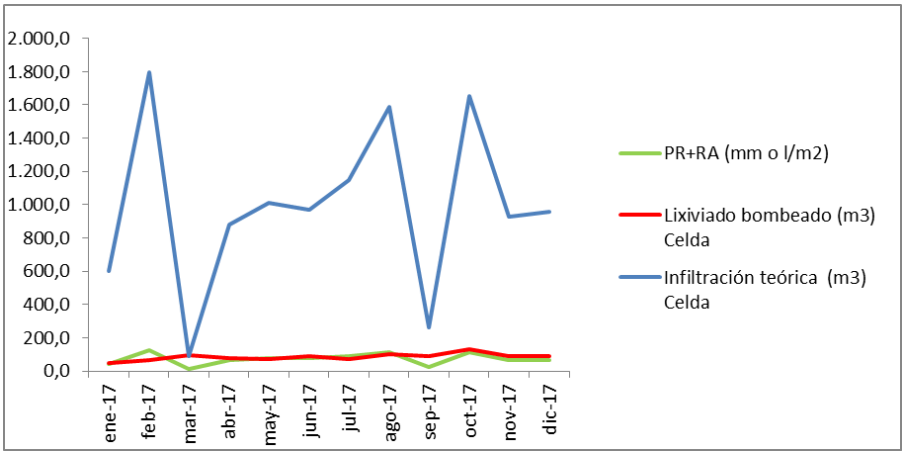
Del hidrograma anterior podemos deducir que existe una relación entre meses de máxima pluviometría (octubre y noviembre) con un aumento de los lixiviados controlados. Es importante destacar que este aumento no coincide con el mes de mayor recarga sino inmediatamente meses posteriores debido a la interacción con los residuos depositados.

Para poder reafirmar lo expuesto anteriormente, vamos a comparar los valores obtenidos en 2019 con valores obtenidos en años anteriores, de forma que podemos observar que a lo largo

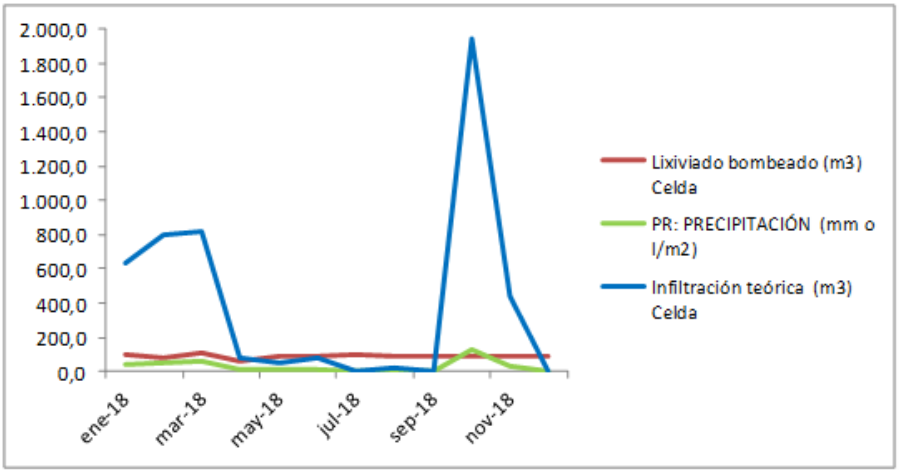
del tiempo el comportamiento del vertedero ha sido similar, sin eventos temporales relevantes, siendo la relación lixiviados bombeados con las precipitaciones homogénea.



Hidrograma 2016



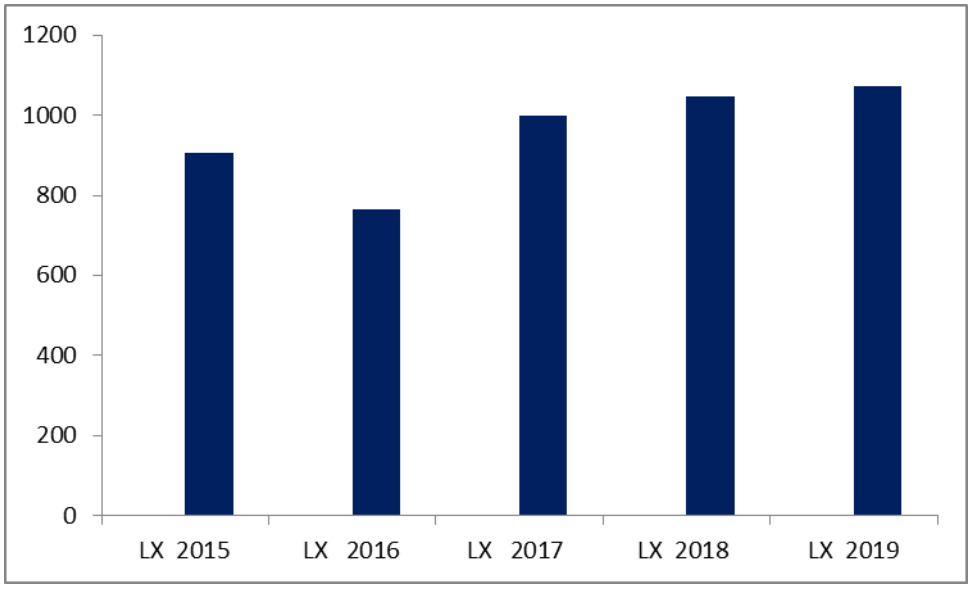
Hidrograma 2017



Hidrograma 2018

Como conclusión, se sigue observando una mayor infiltración teórica respecto 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.



Histórico de lixiviados bombeados en m^3

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:

Lixiviado teórico m^3 = 5.684,3

CELDA DE RECHAZO														
LX=PR+HR-ETR-(AMr+Ars)			ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	TOTAL 2019
PR: PRECIPITACIÓN (mm o l/m^2)			28,9	17,9	23,3	16,9	0,3	21,8	1,5	0,4	12,3	58,3	45,6	5,9	**233,1**
PR: PRECIPITACIÓN (m^3)			521,7	323,1	420,6	305,1	5,4	393,5	27,1	7,2	222,0	1052,4	823,2	106,5	**4.207,9**
HR			1563,5	1347,8	1463,4	1481,0	1416,4	1366,0	1594,5	1597,3	1536,3	1548,6	1499,7	1508,2	**17.922,6**
PR+HR			2.085,2	1670,9	1884,0	1786,1	1421,8	1759,5	1621,6	1604,5	1758,3	2.601,0	2.322,8	1614,7	**22.130,5**
Etr (mm)			2,3	2,5	2,9	3,0	3,5	2,9	3,3	3,3	2,6	2,4	2,1	2,1	**32,9**
Etr (m3)			41,5	45,1	52,4	54,2	63,2	52,4	59,6	59,6	46,9	43,3	37,9	37,9	**593,9**
Infiltración teórica: PR+HR - EtR (m^3)			1521,9	1302,6	1411,1	1426,9	1353,2	1313,6	1535,0	1537,7	1489,4	1505,3	1461,8	1470,3	
Lixiviado bombeado (m^3) Celda			107,3	82,9	85,2	84,8	66,1	87,6	94,1	92,8	83,8	103,1	85,0	95,0	**1.067,8**
Superficie ocupada por el vaso de la celda (m	18.052,0														

Debido a las características de explotación y a los materiales de cubrición que incrementan la propia capacidad de absorción de los residuos, la celda de vertido tiene una elevada capacidad de retención de lixiviados, que posteriormente se evaporan en los meses más secos.

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 Antiguedad. 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.