



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

SIMULACIÓN DEL APORTE DE LIXIVIADO PRODUCTO DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS DEL CANTÓN RUMIÑAHUI AL RELLENO  
SANITARIO DEL DMQ MEDIANTE BALANCE HÍDRICO UTILIZANDO EL  
MODELO HELP

AUTOR

Paola Salomé Calvache Delgado

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

SIMULACIÓN DEL APORTE DE LIXIVIADO PRODUCTO DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS DEL CANTÓN RUMIÑAHUI AL RELLENO SANITARIO DEL DMQ  
MEDIANTE BALANCE HÍDRICO UTILIZANDO EL MODELO HELP.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación

Profesor Guía

MSc. Daniel Hidalgo

Autora

Paola Salomé Calvache Delgado

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Simulación del aporte de lixiviado producto de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui al relleno sanitario del DMQ mediante balance hídrico utilizando el modelo HELP, a través de reuniones periódicas con la estudiante Paola Salomé Calvache Delgado, en el semestre 2020-20, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Daniel Hernán Hidalgo Villalba

Magister en Ciencias Especialización Ingeniería Ambiental

C.I: 1801914449

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Simulación del aporte de lixiviado producto de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui al relleno sanitario del DMQ mediante balance hídrico utilizando el modelo HELP, de Paola Salomé Calvache Delgado, en el semestre 2020-20, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



---

Santiago Daniel Piedra Burgos

Máster en Hidrociencias e Ingeniería

C.I: 1715384150

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



---

Paola Salomé Calvache Delgado

C.I: 1724163900

## AGRADECIMIENTOS

Dios.

## DEDICATORIA

A mamá, papá y hermana.

## RESUMEN

El crecimiento poblacional hace que sea necesario la implementación de más actividades productivas para el desarrollo y satisfacción de los seres humanos, debido al modelo económico lineal en el cual se encuentra el país existe una sobre producción de desechos o residuos sólidos. Para mitigar los efectos que tienen dichos subproductos sobre aspectos sociales, ambientales, económicos, etc. se ha implementado la gestión integral de residuos sólidos. Uno de los impactos más importante es la generación de lixiviados, potenciales contaminadores del suelo y agua. El objetivo de este estudio fue simular el aporte de lixiviado producto de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui al relleno sanitario del DMQ utilizando el modelo *HELP* de balance hídrico y determinar cuáles parámetros inciden en la producción de estos. Se propusieron dos escenarios para el modelamiento, el primero incluye solo a los residuos del cantón Rumiñahui y el escenario dos incluye también a los residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito. Los resultados del modelamiento indicaron que el aporte de lixiviados de los residuos del Rumiñahui representa el 6.2%, siendo así el volumen pico diario de lixiviados en el escenario uno de 136.9183 m<sup>3</sup> y el volumen pico diario de lixiviados del escenario dos de 2196.62012 m<sup>3</sup>. Se determinó que de todas las lluvias aportadas el 28% se infiltra hacia las capas superficiales y profundas del suelo, un 4% de la precipitación se evapora a la atmosfera como consecuencia de la transpiración de la vegetación y finalmente un 68% del agua que llega al vertedero en forma de lluvia se escurre. El modelo también dio resultados del agua que se queda almacenada con potencial capacidad de transformarse en lixiviado y continuar saliendo durante los siguientes años, de todo este volumen de agua un 3% corresponde a lixiviado producto de residuos sólidos provenientes del cantón Rumiñahui.

**Palabras clave:** residuos sólidos, lixiviados, impactos, balance hídrico, relleno sanitario, Rumiñahui.



## ABSTRACT

Population growth makes it necessary to implement more productive activities for the development and satisfaction of human beings, due to the linear economic model in which the country is located, there is an overproduction of solid waste or residues. To mitigate the effects that these by-products have on social, environmental, economic, etc. aspects. Comprehensive solid waste management has been implemented. One of the most important impacts is the generation of leachates, potential soil and water pollutants. The objective of this study was to simulate the contribution of leachate from solid waste from the Rumiñahui canton to the DMQ sanitary landfill using the *HELP* model of water balance and to determine which parameters affect its production. Two scenarios were proposed for modeling, the first includes only waste from the Rumiñahui canton and scenario two also includes solid waste from the Quito Metropolitan District. The modeling results indicated that the contribution of leachate from Rumiñahui waste represents 6.2%, thus being the daily peak volume of leachate in scenario one of 136.9183 m<sup>3</sup> and the daily peak volume of leachate in scenario two of 2196.62012 m<sup>3</sup>. It was determined that of all the rains contributed, 28% infiltrate into the superficial and deep layers of the soil, 4% of the precipitation evaporates into the atmosphere as a consequence of the transpiration of the vegetation and finally 68% of the water that arrives to the landfill in the form of rain it runs off. The model also gave results of the water that remains stored with the potential capacity to transform into leachate and continue leaving during the following years, of all this volume of water, 3% corresponds to leachate product of solid waste from the Rumiñahui canton.

**Key words:** solid waste, leachate, impacts, water balance, sanitary landfill, Rumiñahui.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Marco referencial.....	3
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	8
1.4. Alcance.....	8
1.5. Justificación.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Balance Hídrico.....	10
2.2. Disposición final de residuos sólidos.....	11
2.2.1. Tipología de los sitios de disposición final.....	11
2.3. Diseño de rellenos sanitarios.....	12
2.4. Reacciones ocasionadas en los rellenos sanitarios.....	14
2.5. Impactos de los rellenos sanitarios.....	15
2.5.1. Contaminación de suelo.....	15
2.5.2. Contaminación del agua.....	16
2.5.3. Impactos al medio biótico.....	17
2.5.4. Rechazo por la comunidad.....	17
2.6. Marco normativo sobre rellenos sanitarios y generación de lixiviados.....	18
2.6.1. Legislación nacional sobre la disposición de residuos sólidos.....	18
2.6.2. Legislación nacional sobre descargas de lixiviados.....	20
2.7. Generación y control de lixiviados en los rellenos sanitarios.....	21
2.8. Factores que influyen en la generación de lixiviados.....	22

2.9. Características geológicas del terreno de implantación de un relleno sanitario.....	24
2.10. Características climáticas e hidrológicas del terreno de implantación de un relleno sanitario.....	25
2.11. Breve descripción del modelo <i>HELP</i> .....	26
2.12. Datos de entrada.....	27
2.12.1. Datos climatológicos e hidrológicos ingresados al modelo.....	27
2.12.2. Datos generales del relleno ingresados al modelo.....	28
2.12.3. Datos de suelo ingresados al modelo.....	30
2.12.4. Datos de características de la geomembrana y su instalación.....	33
2.12.5. Datos sobre vegetación ingresados al modelo.....	35
2.13. Generación y disposición de los residuos urbanos del cantón Rumiñahui.....	36
2.13.1. Descripción del cantón.....	37
2.13.2. Composición de los residuos sólidos.....	37
2.13.3. Generación.....	38
2.13.4. Disposición final.....	38
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>39</b>
3.1. Área de estudio.....	39
3.2. Sobre el software, su instalación y familiarización.....	41
3.3. Obtención, análisis y procesamiento de datos crudos.....	43
3.4. Datos climatológicos e hidrológicos ingresados al modelo.....	45
3.5. Datos generales del relleno ingresados al modelo.....	47
3.6. Datos de suelo ingresados al modelo.....	48
3.7. Datos de características de la geomembrana y su instalación.....	58
3.8. Datos sobre vegetación ingresados al modelo.....	58
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>

4.1. Resultados de variables que influyen en la generación de lixiviado.....	59
4.2. Resultados de la valoración de lixiviados de los residuos sólidos de Rumiñahui.....	63
4.3. Resultados de almacenamiento de agua en el último año de modelamiento.....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1. Conclusiones.....	66
5.2. Recomendaciones.....	67
6. REFERENCIAS.....	69
7. ANEXOS.....	75

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

El Ecuador se enfrenta a una tasa de crecimiento demográfico del 1.5% de cambio anual y aunque es un país en vías de desarrollo concentra un 79% de personas en los centros de comercio e industria (The World Bank, 2017). En consecuencia, hay un incremento exponencial de la generación de residuos resultantes de las actividades humanas dentro de las urbes (BID, 2010). Estos subproductos molestos o desechos carecen de valor de uso y valor de cambio, y tienen un valor negativo debido a que se aporta un valor económico para deshacerse de ellos (André & Cerdá, 2009).

Se estima que tan solo 3645 toneladas son recogidas convenientemente mediante el servicio formal de camiones compactadores y el total de toneladas generadas en el Ecuador es de 74267 toneladas aproximadamente (INEC, 2010). Una parte de los residuos que no son gestionados de manera óptima son recogidos por volquetas y pequeños camiones que actúan sin financiamiento y de forma clandestina ya que hay lugares en el país que no cuentan todavía con sistemas de recolección de basura. La basura restante está localizada en calles, quebradas, lotes abandonados, etc. (MAE, MIDUVI, & MNP, 2002). Las viviendas sin acceso a este servicio representan el 54% de la población ecuatoriana (INEC, 2010).

Un análisis en la calidad de vida promedio de un ecuatoriano determinó que cada uno de ellos perteneciente al sector urbano produce aproximadamente 0.58 kg de desechos por día (INEC, 2010). Para mitigar los efectos sociales, económicos, de salud pública y ambiental que trae consigo la generación de residuos sólidos la humanidad ha tenido la necesidad de idear y adoptar métodos

de gestión que sean sostenibles y que tengan en consideración el tratamiento o la eliminación de la basura (Israde Alcántara, Buenrostro Delgado, Garduño Monroy, Hernández Madrigal, & López Granados, 2009).

Ancestralmente para la gestión de basura y desechos producidos en una zona en específico simplemente se utilizaba el sistema de botadero a cielo abierto, el cual hace mención de la actividad de echar toneladas de basura sobre un suelo, sin ningún tipo estudio para dar pre tratamiento y acondicionamiento para evitar la contaminación del suelo, contaminación de acuíferos subterráneos por la infiltración de lixiviados, liquido viscoso producido por la descomposición de residuos orgánicos. Sin un sistema de control de olores, control de plagas, control de explosiones e implosiones por la generación de gas metano dentro de las pilas, lo que ha provocado que estos sistemas resulten ineficientes y causen un conflicto no solo ambiental, sino social, ya que, al no realizar ningún estudio previo, estos lugares podían estar ubicados muy cerca de poblaciones cercanas, dando como resultado enfermedades, molestia por olores, etc. (Solíz, 2011).

Para mejorar el sistema de gestión de residuos sólidos en el país se implementó la iniciativa de la recolección y almacenamiento de estos en rellenos sanitarios en donde se los dispone estratégicamente en celdas, estos rellenos sanitarios no son más que excavaciones profundas en un lugar previamente estudiado y acondicionado en donde se apila la basura compactada. Este sitio es seleccionado tras estudios profundos de condiciones del suelo, altura del nivel freático, condiciones climáticas, etc.

Puerto Quito es un cantón localizado en la provincia de Pichincha-Ecuador, que tiene una población de 20.445 aproximadamente (INEC, 2010). Para aumentar y asegurar la calidad de vida de las personas que habitan en el cantón sus gobernadores en conjunto con otras entidades propusieron la implementación y

construcción de un relleno sanitario, en donde se planeó mejorar de forma integral la recolección de los residuos producidos dentro del cantón.

Este proyecto beneficia a todos los habitantes a nivel cantonal desde el 2007 y tiene efectos positivos significativos para la zona y también para los cantones vecinos. Ya que este problema al abarcar grandes superficies de terreno también sus consecuencias llegan a los habitantes aledaños. Los cuales gracias a esta obra gozan de un ambiente libre de olores, plagas y otras problemáticas ya que la basura se desecha de forma responsable gestionándola y tratándola.

## **1.2. Marco referencial**

Las celdas de un relleno sanitario son previamente cubiertas con un material impermeabilizante como geomembrana para que no exista infiltración ni contacto con el suelo. Son construidos también sistemas de recolección tanto de lixiviados como de gas metano producido por la basura orgánica. Las tuberías de recolección de lixiviados son direccionadas a grandes piscinas en donde se recoge este líquido de todas las celdas. Se estima que después de un cierre técnico de una celda es necesario el pasar de 1 año para que la basura contenida en su interior deje de producir lixiviados. Este líquido posteriormente la mayoría de veces pasa por un tratamiento diseñado en función de sus características para que pueda ser descargada a la naturaleza sin representar amenazas al medio ambiente y cumpliendo normativas y leyes vigentes en el país.

Los lixiviados dependen de varios factores que están relacionados con condiciones ambientales y climáticas, la composición de los residuos sólidos y de cómo opera el relleno sanitario. Estos se generan por la deshidratación de la basura y la infiltración y percolación por las precipitaciones del lugar. Depende

también del grado de compactación con la que fue almacenado el residuo, el grado de humedad, entre otros (Borzacconi, López, & Anido, 2013).

Los lixiviados siempre deben ser caracterizados para conocer su grado de toxicidad, sus posibles vías de tratamiento y los impactos que estos en función a sus concentraciones pueden provocar en el medio ambiente en donde se encuentren (Raghab, Abd El Meguid, & Hegazi, 2013). Estos líquidos son de naturaleza principalmente contaminante por alto contenido de nitrógeno, fósforo, metales pesados y constituyentes orgánicos (Méndez et al., 2009). Deben ser manejados con todas las normas de seguridad y procedimientos necesarios porque contienen también abundantes patógenos.

Estos lixiviados al no ser recolectados de manera eficiente o por una incorrecta impermeabilización del suelo de la celda representa una problemática, ya que a pesar de que el suelo en donde se ha implantado el relleno sanitario debe ser un suelo que no permita infiltraciones en gran cantidades del contaminante, en este caso el lixiviado, encuentra rutas y puede que llegue hasta el nivel freático, esto altera las cualidades físico-químicas de estas, haciéndolas ricas en todos los compuestos tóxicos y dañinos de los que están compuestos los lixiviados. Se pierde así una fuente de agua dulce que pudo haber sido utilizada en el futuro.

En todo relleno sanitario es importante realizar un control y manejo para los sistemas de tratamiento de lixiviados, incluyendo así su recolección, tratamiento y disposición final, realizando estudios y caracterización de ellos. El flujo se da a través de las diferentes capas dentro del vertedero, como lo son la barrera del suelo, la capa de percolación vertical, la capa de drenaje lateral y también por la capa de la geomembrana o material de revestimiento. El movimiento y drenaje se produce debido al efecto de la gravedad y también influye en gran parte la evapotranspiración, la capacidad de campo y la humedad del suelo.



Actualmente en relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se depositan y se disponen los residuos sólidos provenientes de las estaciones de transferencia del norte y del sur de Quito, al relleno sanitario también llegan residuos sólidos desde el cantón Rumiñahui y también de gestores privados de funcionamiento particular pero que tienen autorización para enviar sus residuos sólidos al relleno. El relleno sanitario recibe diariamente 2000 toneladas de residuos sólidos provenientes de los lugares antes mencionados. Desde el cantón Rumiñahui viajan diariamente 100 toneladas de residuos sólidos hasta el relleno. Este estaba diseñado para una vida útil de 20 años, pero debido a que se ha optimizado el uso de los cubetos y se ha almacenado de una manera eficiente los desechos se planea alargar su uso. Se estima que el relleno sanitario pueda recibir aproximadamente 4 500. 000 toneladas extras (SecretariadeAmbiente, s.f).

El relleno sanitario del DMQ funciona desde Enero del 2003 y se encuentra bajo la dirección y cargo de la Empresa Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP). Esta entidad tiene la responsabilidad de supervisar procesos, operaciones y actividades dentro del relleno sanitario y también de las diferentes estaciones de transferencia (EMGIRS, s.f). Aunque existe parcialmente el sistema de reciclaje y separación de residuos sólidos, ni Quito ni Rumiñahui cuentan con una población que practique la separación de residuos por lo que gran parte de materiales que pueden ser aprovechados van al relleno sanitario y una vez allí estos pierden sus propiedades para ser reutilizados.

Hay que tener en cuenta que al no contar con una separación efectiva al relleno sanitario pueden llegar materiales peligrosos, infecciosos, tóxicos, etc. Estos materiales al estar en contacto con desechos orgánicos, lluvias, percolados reaccionan atribuyendo concentraciones altas y tóxicas de sustancias peligrosas al lixiviado. El municipio de Rumiñahui al no contar con un propio sistema de disposición de basura paga por el servicio en el Relleno Sanitario del DMQ.

El cantón Rumiñahui se encuentra localizado a sureste de la provincia de Pichincha a 20 minutos de la ciudad de Quito y cuenta con un población de 106 548 habitantes aproximadamente (GobiernoMunicipalRumiñahui, s.f).

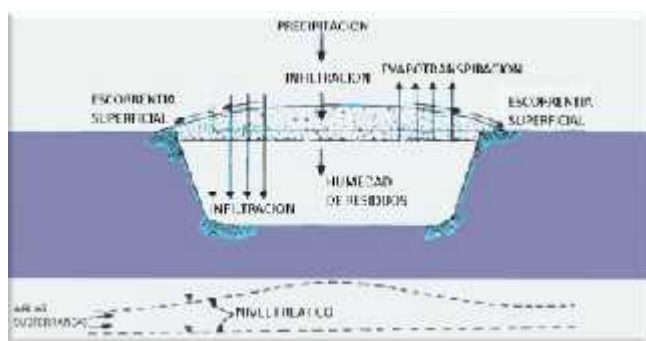
La Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos Rumiñahui (EPM) es la entidad que desde diciembre del 2010 se encarga de operar el sistema de aseo del cantón. Realizan actividades como la recolección, transporte, barrido y comercialización de los residuos sólidos. Con sus operaciones garantizan un servicio eficiente, oportuno y continuo de recolección responsable de residuos sólidos cumplimiento y teniendo en cuenta a las normas vigentes. El cantón Rumiñahui paga 15,70 dólares más IVA por cada tonelada de basura que se almacena en el relleno sanitario del DMQ (EMGIRS, s.f).

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el modelo HELP que permite realizar la evaluación hidrológica de rellenos sanitarios. Este se ha utilizado en más de doce países alrededor del mundo debido a los beneficios que este ofrece. También ha sido aplicado en estudios para el diseño y manejo de un relleno sanitario en cuanto a aspectos hídricos, es apto para vertederos abiertos, cerrados y parcialmente cerrados. Se lo ha utilizado para la apertura de vertederos y también para su cierre, este modelo ha ayudado en proceso de diseño, evaluación y permisos reglamentarios (Schroeder et al., 1994) .

El programa con el fin de calcular la cantidad de agua que se acumula sobre cada relleno sanitario incluye datos importantes y críticos de la situación actual y ubicación del vertedero como, por ejemplo: datos de características del suelo, material y condiciones de la geo membrana o materiales geo sintéticos utilizados para impermeabilizar el vertedero, datos de precipitaciones, evaporación, radiación solar, datos del tipo de vegetación, humedad. Se tomaron en cuenta también datos de diseño y operación del relleno sanitario. Por ejemplo, el tipo de

suelo de cobertura, operación y diseño de las celdas de almacenamiento de desechos. El modelo al ingresar los datos simuló la estimación de la escorrentía, drenaje y recolección de lixiviados, posibles fugas en la capa de impermeabilización. Este programa resultó útil para un correcto diseño y manejo de un relleno sanitario en cuanto a aspectos hídricos (Schroeder et al., 1994).

El modelo permitió simular el balance hídrico en el relleno sanitario del DMQ, este al ser aplicado de la forma correcta brindó la oportunidad de conocer cómo influye el aporte de residuos sólidos provenientes del cantón Rumiñahui en la producción de lixiviados, pudiendo conocer así también la cantidad de agua que se acumula sobre la capa del relleno sanitario del DMQ.



*Figura 1.* Balance Hídrico en un Relleno Sanitario.

Tomado de: Estado Plurinacional de Bolivia, 2010

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Simular el aporte de lixiviado producto de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui al relleno sanitario del DMQ utilizando el modelo *HELP* de balance hídrico.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar las diferentes variables que influyen en la generación de lixiviados en el relleno sanitario del DMQ.
- Valorar la generación de lixiviados de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui, de acuerdo con las condiciones del relleno sanitario del DMQ.

### 1.4. Alcance

Mediante el presente estudio se buscó calcular el aporte de lixiviados proveniente de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui recolectados y transportados al relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Esto se logró mediante el uso de un modelo hidrológico bidimensional, el cual permitió realizar el balance hídrico en el relleno sanitario del DMQ el modelo facilitó la estimación de evapotranspiración, drenaje, recolección de lixiviados y la cantidad de escorrentía (Schroeder et al., 1994). En esta simulación se tuvo que realizar la búsqueda, análisis y procesamiento de los datos que se necesitaran para modelar, esto fue de gran importancia porque al ingresar datos reales se obtuvieron de igual forma resultados reales y reflejaron la situación actual del relleno del DMQ. Esta investigación obtuvo datos relevantes que pueden en un futuro brindar beneficios a las entidades públicas y privadas que están a cargo del funcionamiento y operación del relleno, beneficios orientados a un conocimiento del comportamiento de lixiviados del relleno sanitario. Este estudio se basó y se realizó en base a información secundaria generada por diferentes instituciones competentes como el Municipio de Rumiñahui, EMGIRS, INEC, IGM, SUIA, NREL, etc.

## 1.5. Justificación

Al conocerse ya los tipos y niveles de impactos que pueda tener el contacto de los lixiviados con las diferentes matrices ambientales y que estos dependen claramente de las características de los residuos sólidos de los que provienen es muy fundamental conocer su comportamiento dentro de un relleno sanitario.

Teniendo en cuenta que los lixiviados son un potencial peligro para los diferentes ecosistemas, su descarga al ambiente y manipulación se encuentra normada en la legislación vigente ecuatoriana. En el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio Del Ambiente, en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua en el apartado 5.2.4.7 menciona que los lixiviados que se generen dentro de las celdas de los rellenos sanitarios y que sean recolectados y almacenados en sus piscinas deben cumplir con las normas fijadas, siguiendo criterios de calidad de acuerdo al uso y tipo de cuerpo receptor de estos efluentes que por lo general estos son descargados a ríos o fuentes de agua dulce aledaños al vertedero. Los límites máximos permisibles para el caso de la disposición final de los lixiviados tratados provenientes del relleno sanitario del DMQ son analizados y auditados con la "Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce" ya que el lugar de descarga de lixiviados del vertedero es el río Inga (Ministerio de Ambiente, 2015). Diariamente se descarga a este cuerpo hídrico un caudal de 298 m<sup>3</sup>. Este lixiviado al tener obligatoriamente que ser tratado por vías anaerobias, de aspersión, también mediante la aireación superficial, uso de lechos filtrantes y osmosis inversa representa un gran gasto para el vertedero. Tomando en cuenta que tratar 1 metro cúbico de lixiviado antes de la descarga es un gasto de 51 dólares (GobiernoMunicipalRumiñahui, s.f). Por lo cual se debe tener monitoreado cual es el aporte a esta generación de lixiviados por parte de los residuos sólidos que llegan al relleno desde Rumiñahui, tomando en cuenta que

la caracterización de estos tal vez no sea la misma que la de los residuos del DMQ.

El estudio resultó importante para conocer a profundidad cual es el balance hídrico y el estado actual del vertedero del DMQ, cual es la cantidad o volumen producido de lixiviados en un determinado periodo. El software ofreció también datos para un posible cierre técnico pueden ser utilizadas en el futuro cuando se lo aplique. Se identificó que este tipo de estudios resultan de interés también para proyectos futuros de apertura de vertederos, teniendo en cuenta que se manejan datos críticos de la situación actual, poniendo en evidencia cual es el comportamiento de los lixiviados en rellenos sanitarios con un cierto tipo de clima, condiciones del suelo en donde se lo va a implantar, tipo de diseño, infraestructura, etc. Este proyecto resulta útil para posibles cierres de rellenos sanitarios en el Ecuador o también para la apertura y buen manejo de los próximos debido a que al modelar el balance hídrico se puede dimensionar de una forma adecuada las piscinas de almacenamiento y tratamiento de lixiviados. Cabe recalcar que puede ser orientado a la normativa vigente para que este sea un requisito obligatorio en la obtención de permisos para la operación de vertederos.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Balance Hídrico**

El balance hídrico hace referencia a la relación que existe entre el aporte de agua producto de las precipitaciones y las pérdidas de esta hacia la atmósfera por el efecto de la evapotranspiración de la vegetación local. Para la medición del balance hídrico es necesaria la medición de flujos de agua que intervienen en la ecuación en donde se incluyen las entradas y las salidas del agua al suelo

(Departamento de Medio Ambiente Gobierno Vasco, 2015). La ecuación sustenta al principio básico de conservación de la masa o la ecuación de continuidad, este principio establece que, para un volumen de agua en un determinado periodo de tiempo, la diferencia que existe entre el ingreso y la salida de agua resulta el agua que se encuentra en un volumen de suelo, cuenca hidrográfica, etc.

El balance hídrico toma en cuenta variables como: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial o directo, escurrimiento subterráneo o base, características locales de vegetación, densidad, etc. Los aspectos físicos y químicos del suelo determinaron un parámetro sumamente importante en el balance, la esorrentía, la misma que es la lámina de agua que se encuentra circulando en la superficie del volumen de suelo o en una cuenca hidrográfica de drenaje, esta altura de agua lluvia se extiende a través de la superficie debido a que por la dinámica del suelo no pudo ingresar por efecto de la infiltración, la capacidad e infiltración o de drenaje del suelo se encontrara limitada por la textura, porosidad, capacidad de campo, etc.(Schosinsky, 2006).

## **2.2. Disposición final de residuos sólidos**

### **2.1.1 Tipología de los sitios de disposición final**

**Botadero a cielo abierto:** Estos lugares de disposición final de los residuos sólidos urbanos no cuentan con ningún tipo de control, manejo, ingeniería ni procesos de saneamiento. Los desechos que a este lugar llegan no son procesados ni pasan por tratamiento o compactación, simplemente son apilados en el lugar, el que tampoco cuenta con un material de impermeabilización, por lo que los lixiviados llegan a representar una problemática grave para el nivel freático, para fuentes de agua superficiales e incluso contaminar el suelo alterando sus propiedades, no solo in situ, sino también de un área de influencia

mayor ya que el lixiviado puede viajar a través de las capas y poros del suelo (Girón et al., 2009).

En estos lugares además se producen olores desagradables, explosiones por la acumulación de gas metano y proliferación de plagas como roedores e insectos. Todas estas problemáticas que conlleva el uso de botadero a cielo abierto para la disposición de basura representan un riesgo tanto para el ambiente como para la salud humana, contaminando matriz suelo, agua, aire y biota. De aquí parten varias enfermedades que son proliferadas por las plagas antes mencionadas (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

**Relleno Sanitario:** Esta hace referencia a una técnica de disposición final de residuos urbanos destinada al almacenamiento de estos provenientes de cierta localidad o región. Su principio básico es la disposición de desechos previamente compactados y después colocados en capas. Estas capas se colocan en celdas, las mismas que son diseñadas y acondicionadas con la impermeabilización previa del suelo con el fin de no contaminar acuíferos y también ser localizados en suelos con propiedades que indiquen bajas condiciones de permeabilidad (Zapata Muñoz, Andrés Felipe; Zapata Sánchez, 2013).

### **2.3. Diseño de rellenos sanitarios**

El método de disposición en tierra constituye un diseño aplicado con el fin de que se minimicen los riesgos e impactos que se pueden ocasionar, por las reacciones dentro de las celdas dando como resultado gases y líquidos con altas concentraciones de contaminantes productos de la descomposición, etc. Para el diseño de un relleno sanitario es necesario tomar en cuenta criterios técnicos como por ejemplo el uso de tecnología adecuada, cálculo de capacidades máximas y necesarias, se tiene que realizar estudios geológicos,





## 2.4. Reacciones ocasionadas en los rellenos sanitarios

En el cuerpo de un relleno sanitario se pueden presentar diferentes tipos de reacciones tanto de tipo biológicas y también reacciones químicas. Estas reacciones se producen debido a la capacidad de degradación de los residuos almacenados y esta degradación depende del tiempo que lleven en las celdas.

La biodegradación es un proceso que ocurre en cuatro fases:

**Fase 1. Oxidación:** En esta etapa se consume el oxígeno que se encuentra disponible en los desechos y se inicia la putrefacción, este proceso se da debido a la acumulación de desechos sobre otros desechos y también con la capa de relleno que se adiciona. Aquí ocurren reacciones de separación de los compuestos orgánicos contenidos en los residuos, se desprenden grasas, proteínas y celulosa, convirtiéndose en azúcares, aminoácidos y lípidos. Esta etapa ocurre desde la semana 0 hasta la semana 2 liberando nitrógeno  $N_2$  y oxígeno  $O_2$  (Röben, 2002).

**Fase 2. Fermentación agria anaerobia:** En esta etapa los azúcares, aminoácidos y lípidos sufren una transformación, se transforman en dihidrógeno  $H_2$ , dióxido de carbono  $CO_2$ , acetatos y lípidos. Recibe el nombre de fermentación agria o acida debido al aumento considerable de la concentración de lípidos. En esta etapa, si los desechos entran en contacto con el aire puede dar como producto elevadas emisiones de olores al ambiente. Esta es la etapa en donde se producen las cargas de concentración de contaminantes que caracterizan a los lixiviados. Esta fase ocurre desde las dos semanas hasta los 2 meses y se produce también nitrógeno  $N_2$  (Röben, 2002).

**Fase 3. Fermentación anaeróbica desequilibrada con producción de gas metano:** El dihidrogeno H<sub>2</sub>, el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, los acetatos y los lípidos producidos en la fermentación agraria anaerobia sufren una transformación en metano CH<sub>4</sub>, dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y agua H<sub>2</sub>O (Röben, 2002).

**Fase 4. Fermentación anaeróbica equilibrada con producción de gas metano:** Esta es la etapa más larga de la descomposición de los residuos, ocurren a lo largo de un periodo de tiempo de veinticinco a cuarenta años. Estos productos antes mencionados son los productos definitivos de la descomposición de la materia orgánica con la liberación de gases como metano CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> durante toda la fase (Röben, 2002). Se debe tener en cuenta que la velocidad de degradación y transformación depende bastante del tipo de residuos que produzca la localidad o la región.

## **2.5. Impactos de los rellenos sanitarios**

Las actividades más impactantes de un relleno sanitario incluyen tanto la etapa de construcción, operación y clausura, estas pueden contemplar actividades de mantenimiento y construcción, la misma disposición de los residuos sólidos, excavaciones, construcción y operación del sistema de drenaje, construcción de chimeneas para los gases, manejo y tratamiento de lixiviados, cierre técnico del relleno, programas de monitoreo y manejo de gases y lixiviados. Estas actividades tienen efectos en momentos específicos o pueden presentarse simultáneamente dependiendo de la operación, mantenimiento y monitoreo (Bernache, 2012).

### **2.5.1. Contaminación del suelo.**

Estos procesos de contaminación se producen como producto del mal manejo e instalación correcta de materiales aislantes que impermeabilizan la celda con el suelo en el que se encuentra y causan alteraciones en la calidad y propiedades de este al ponerse en contacto con lixiviados provenientes de los residuos , el suelo puede incluso ser afectado por la presencia de agentes patógenos, ya que al no contar con una separación y clasificación de residuos, pueden existir restos provenientes de usos clínicos o de laboratorios. Contando con que estos patógenos al no ser tratados para su posterior almacenamiento en las celdas pueden estar activos y listos para reproducirse aprovechando el medio con alta cantidad de materia orgánica. La contaminación del suelo provoca pérdidas de capas en conjunto con la desvalorización de las tierras, activación de procesos de erosión, deterioro de las condiciones geotécnicas, puede provocar modificaciones en los planes de ordenamiento territorial, etc. (Zapata Muñoz, Andrés Felipe; Zapata Sánchez, 2013).

### **2.5.2. Contaminación del agua**

Este impacto puede ser producto de dos actividades, la primera consiste en la actividad dentro del relleno, en su ineficiente impermeabilización dentro de las celdas, por lo que ocurren derrames de líquido lixiviado y estos viajan a través de los poros de suelos posiblemente llegando a acuíferos. La segunda actividad que podría causar impacto a la matriz agua es por la producción de lixiviados, el relleno sanitario en teoría debería manejar una línea de tratamiento eficiente y eficaz para que el líquido sea descargado al cuerpo de agua cumpliendo con normativa vigente en la región o localidad. De no tener un correcto tratamiento de estos líquidos esto podría causar cambios de las propiedades del agua, disminuyendo su calidad y como consecuencia la pérdida de este recurso, etc. (Zapata Muñoz, Andrés Felipe; Zapata Sánchez, 2013).

### **2.5.3. Impactos al medio biótico**

Por la operación del relleno se ve afectada la flora, fauna que incluyen a macro invertebrados acuáticos, debido a que estos necesitan de específicos niveles de oxígeno disuelto, estos macro invertebrados se ven afectados tanto en los cuerpos de agua de descargas de lixiviados y también en capas inferiores del suelo en el relleno, ya que los contaminantes viajan y se transportan vertical y horizontalmente a través de estas eliminando el oxígeno, y cambiando las características propias de este, eliminando vida subterránea. También hay que mencionar que especies de aves, se ven desplazadas por lo que habría disminución de población de fauna, y también habría perturbaciones en la flora terrestre causando así modificaciones en los aspectos paisajísticos, por modificaciones en la dinámica biológica (Jose Ulloa, 2006).

### **2.5.4. Rechazo por la comunidad**

Debido a que los rellenos sanitarios producen olores desagradables, ruidos, aumenta vectores de enfermedades como moscas, cucarachas, zancudos, roedores, etc. Las zonas aledañas a este presentan inconformidades y rechazo, en su justo derecho de proteger su calidad de vida, su seguridad y salud. Para esto se han diseñado campañas informativas para las comunidades y también medidas compensadoras, en las que se puede ayudar y colaborar a las comunidades aledañas en la solución de sus problemas con campañas de salud, monitoreo y control de plagas, etc. (Jose Ulloa, 2006)

## **2.6. Marco normativo sobre rellenos sanitarios y generación de lixiviados**

### **2.6.1. Legislación nacional sobre la disposición de residuos sólidos**

**Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente:** En el Artículo 49. Hace mención a las políticas generales en cuanto a la gestión integral de los residuos sólidos, clasificándolos en peligrosos, no peligrosos y especiales. Estas políticas son de cumplimiento obligatorio para instituciones del Estado, para personas jurídicas, naturales ya sean públicas o probadas. Se establecen actividades obligatorias de manejo integral, de responsabilidad del productor, de minimización de generación de residuos, minimización de riesgos sanitarios y ambientales, fomento de educación, investigación y participación de la ciudadanía. Se establece también el fomento al aprovechamiento y valorización de los residuos, etc.

En el Artículo 51. Se menciona que la autoridad Ambiental Nacional establecerá las normas y los parámetros técnicos para la gestión integral de los residuos sólidos con el fin de mantener y preservar el ambiente y se efectuaran sanciones de ser el caso (Ministerio de Ambiente, 2015).

El Artículo 54 menciona a las prohibiciones que se estipulan en la normativa ambiental vigente con respecto a la disposición y manejo de los residuos sólidos (Ministerio de Ambiente, 2015).

En el Artículo 57, se delega la responsabilidad a los Gobiernos autónomos descentralizados de garantizar el manejo integral de sus residuos y/o desechos sólidos que se generen dentro de su área de competencia, incluyendo todos los planes y actividades que tienen que asegurar para el cumplimiento de estas

responsabilidades. En el Parágrafo VIII de la disposición final, en sus artículos 75, 76 y 76 se hace mención a los lugares y planes de gestión ambiental para la disposición final de los residuos sólidos, detallando las actividades y procedimientos que se debe seguir para la responsable disposición de los desechos (Ministerio de Ambiente, 2015).

**Código orgánico del ambiente:** En el Artículo 27 se hace mención a las responsabilidades que tienen los gobiernos autónomos descentralizados tanto metropolitanos como municipales con respecto a los planes, normas, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. En el Título VII, Capítulo I, se planean disposiciones generales sobre la gestión integral de residuos y desechos, en donde se incluyen a los gobiernos autónomos descentralizados como responsables y sujetos al cumplimiento y la aplicación d las disposiciones que se mencionan en el capítulo (Ministerio de Ambiente, 2017).

**Reglamento al código orgánico del ambiente:** En el Artículo 596 se determinan a las últimas fases de la gestión integral de desechos, en donde se expone que estos residuos son dispuestos de una forma específica en espacios estudiados y que cumplan requerimientos para que se evite la contaminación, impactos, daños y afectaciones a la salud humana y al ecosistema (Ministerio de Ambiente, 2019).

**Gestión Ambiental en el Cantón Rumiñahui:** En el Titulo II se otorga la responsabilidad a la Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos Rumiñahui-Aseo, EPM en conjunto con otras entidades calificadas de la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final de los desechos producidos en el cantón de origen doméstico, asimilables a doméstico, industriales y hospitalarios. En el Artículo 11 sobre la disposición final de los residuos sólidos hace referencia a que los residuos sólidos urbanos se almacenan en el relleno sanitario, en

donde se realicen estudios de impacto ambiental, se tenga una licencia y se realice un control a través de auditorías periódicas. En el capítulo XV se define al relleno sanitario como un espacio de confinamiento controlado o una obra de ingeniería en donde se disponen los desechos peligrosos, en donde se garantiza su aislamiento definitivo y seguro (Ministerio de Salud Pública, 2006)

**Reglamento para el manejo de los desechos sólidos:** El Ministerio de salud Pública afirma que los desechos sólidos son fuentes potenciales de contaminación de matrices suelo, agua y aire por lo que su control es obligatorio e ineludible. El ministerio tiene también facultades para la planificación, regulación, normalización, limitación t supervisión de la recolección transporte y la disposición final de los residuos sólidos a nivel rural y urbano en coordinación con los municipios y los entes reguladores. En su Capítulo II define a los rellenos sanitarios como métodos de disposición de los residuos sólidos en el suelo, indica los procedimientos y actividades previas y post operación en el vertedero (Ministerio de Salud Pública, 2006).

**Código Municipal para el distrito Metropolitano de Quito:** En sus capítulos y artículos se norman las actividades de disposición final necesarias y obligatorias para los diferentes tipos de residuos sólidos, tanto urbanos, especiales, no especiales, peligrosos, etc. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2019).

### **2.6.2. Legislación nacional sobre descargas de lixiviados**

**Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente:** En el anexo 1 del libro VI se norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua se determinan y establecen principios básicos de la contaminación del agua, definiciones y términos importantes establecidas en la Ley, criterios de calidad de agua para sus distintos usos, límites permisibles, disposiciones,



prohibiciones, permisos de descargas, etc. Incluye principalmente parámetros de monitoreo para las descargas a cuerpos de agua. Lo cual resulta una actividad obligatoria para los operadores y encargados de los vertederos debido a que los lixiviados recolectados en son descargados a cuerpos de agua dulce. Normados por la “Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”. En su ítem 3.30 del Anexo II determina a los lixiviados como líquidos producto de precipitaciones junto con la descomposición de desechos. Siendo estos importantes debido al contenido e estos, a sus reacciones, contaminantes, etc. (Ministerio de Ambiente, 2015).

## **2.7. Generación y control de lixiviados en los rellenos sanitarios**

Los lixiviados se originan producto de la descomposición de la materia orgánica y la acción de percolación del agua producto de las precipitaciones. Las características y su vía de tratamiento dependen de la composición de los residuos. Generalmente los lixivios presentan una alta carga de contaminantes de carácter orgánico en suspensión, también con una fracción disuelta que hace que represente un potencial peligro como contaminante que debe tratarse obligatoriamente antes de ser descargado a cuerpos hídricos. Los lixiviados producidos en los cubetos caen lentamente por fuerza de la gravedad hasta el fondo en donde se supondría esta la capa de impermeabilización que impide el contacto del suelo con los residuos, lixiviados, etc. Estos líquidos viscosos son recolectados en piscinas de almacenamiento y tratamiento, estos son conducidos por la gravedad a través de las tuberías conectadas en el fondo de los cubetos hasta llegar a las piscinas.

Los tratamientos que se les dan a los lixiviados en las piscinas en la actualidad se centran en la depuración para la reducción de contaminantes y su concentración, estos como se ha venido mencionando tienen que cumplir con la norma vigente local. Las técnicas de depuración disponibles y que se utilizan con

frecuencia por su efectividad son: Recirculación, evaporación forzada, tratamientos con membranas, tratamientos biológicos, tratamientos fisicoquímicos, etc. (Romero Batallán, 2010)

## 2.8. Factores que influyen en la generación de lixiviados

Los factores que se deben tomar en cuenta en la generación de lixiviados son los siguientes:

**Población:** La población de la cual sus residuos se disponen finalmente en el vertedero de estudio, el número de pobladores influye directamente en la cantidad de residuos según su generación per cápita, según el estilo de vida de la población de influencia es importante debido a que se puede estimar las características de los desechos producidos (Altabella et al., 2015).

**Tasa de generación:** Esta tasa es muestra directamente las necesidades de producción, actividades y patrones de consumo de una determinada población en un tiempo y lugar específico. Este valor indicaría el comportamiento en cuanto a generación de residuos de los pobladores del lugar de estudio. Se mide en la cantidad de desechos por cada habitante en un tiempo determinado (Altabella et al., 2015).

**Tratamiento de los residuos:** El proceso de tratamiento que reciben los residuos depende del tipo de este, El fin del tratamiento es modificar las características químicas, físicas y biológicas y así lograr reducir los niveles de contaminación. Las diferentes alternativas o métodos por los que se opten deben basarse en condiciones socioeconómicas locales, riesgos ambientales, etc.

Entre los diferentes tratamientos se encuentran: la incineración, compostaje, recuperación, pirolisis, gasificación, compactado, etc. (Altabella et al., 2015).

**Datos generales de los residuos que se vayan a depositar:** Esto contribuye en el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los residuos en la producción de lixiviados. Es necesario conocer las propiedades de los residuos para poder organizar los sistemas de recolección, posibles tratamientos, disposición final o eliminación. Una de estas hace referencia a la humedad, la cual está presente en los residuos urbanos alrededor en un 40% en peso aproximadamente, considerando también rangos de entre 25 y 60%, la humedad es aportada principalmente por fracciones orgánicas. La humedad, cuando de residuos urbanos se trata, tiende a unificarse ya que unos productos ceden humedad a otros (Estado Plurinacional de Bolivia, 2010).

Por otro lado, el peso específico y la densidad de los residuos urbanos es un valor fundamental en la etapa de dimensionamiento del sistema de recolección y disposición final. Estos dependen del grado de compactación al cual fueron sometidos en la recogida y en la disposición final, este valor es usado para optimizar el funcionamiento y operación de los vertederos.

**Datos climáticos de la zona:** Estos influyen directa y activamente en la generación de lixiviados debido a que, en base a las condiciones climáticas existentes, los lixiviados tienen características diferentes, incluso un comportamiento diferente. La evapotranspiración, la radiación solar, las precipitaciones, la velocidad del viento, temperatura, etc. Dan lugar al comportamiento y variación específicos de los lixiviados de un determinado vertedero, no es comparable un vertedero que se encuentra localizado en una zona con poca lluvia de clima árido o seco, en donde los efectos de la percolación pueden ser mucho menores y por lo tanto menor cantidad de lixiviado, que un vertedero que se encuentra en una zona humedad, con altas precipitaciones,

que dará lugar a un aumento en el volumen de producción de lixiviados, tomando en cuenta también a que los efectos e impactos que estos tienen son totalmente distintos en función de las condiciones climáticas locales (Novelo et al., 2004).

**Estructura del depósito o vertedero:** La configuración del perfil de capas, espesores, superficies disponibles, textura de los materiales en las capas, esto determinara el flujo, la velocidad y dirección de los lixiviados. En la apertura de un vertedero se debe realizar un profundo estudio de las características del suelo en donde se planea instalarlo, procurando sea uno con características específicas que eviten y mitiguen los impactos y riesgos de escorrentías, percolación, e infiltración al ambiente.

Es fundamental también una correcta configuración y construcción de los cubetos en donde se almacenan los residuos, contemplando la implementación de geomembrana o material impermeabilizante y los canales de recolección de lixiviados y de gases producidos (Teófilo, 2001).

## **2.9. Características geológicas del terreno de implantación de un relleno sanitario**

Para la implantación de un vertedero es necesario realizar un estudio geológico ambiental para determinar la factibilidad y viabilidad del terreno. Este tiene que cumplir condiciones técnicas y no representar elevados costos de construcción y ejecución del proyecto.

Se tiene que realizar una evaluación en donde se fijan los aspectos como por ejemplo: locación, accesibilidad, topografía condiciones climáticas, aspectos hidrológicos tanto superficiales como subterráneos, condiciones geológicas, etc.

También se consideran las limitantes y condicionantes como la seguridad, procesos para mantener la integridad de los recursos naturales, conservación de bienes culturales, la posible infraestructura existente, conflictos sociales por la implantación y operación, etc. (Teófilo, 2001). Los terrenos preferenciales para la construcción del vertedero son de relieve plano y pendientes suaves con un rango de 2 al 12%, se trata de evitar los terrenos con relieve accidentado con pendientes profundas mayores al 25% (Teófilo, 2001).

En cuanto a las condiciones geológicas se prefieren suelos con propiedades mecánicas, hídricas y físicas que eviten la filtración de lixiviados, se recomiendan también rocas blandas manejables para que se posibilite el proceso de excavación y que este se use también como material de cobertura. La tasa de infiltración recomendada se encuentra en un rango de 0.015-0.050 m/h (Teófilo, 2001).

El material de relleno tiene que ser de preferencia arenos arcillosos con baja permeabilidad.

#### **2.10. Características climáticas e hidrológicas del terreno de implantación de un relleno sanitario.**

La velocidad y dirección del viento deben considerarse en el estudio debido a que los posibles olores que se producen no deben llegar a la población aledaña, de preferencia deben provenir desde la zona urbana hacia el vertedero (Teófilo, 2001). El terreno seleccionado tiene que ubicarse en una zona en donde haya una frecuencia baja de tormentas, huracanes, tornados, etc. Y en donde la precipitación sea menor que la evapotranspiración. Se trata de que el terreno se encuentre lo más lejos posible de fuentes naturales de agua superficial y

subterránea tanto como para evitar la contaminación de cuerpos hídricos por escurrimiento como la contaminación de acuíferos (Teófilo, 2001).

### **2.11. Breve descripción del modelo HELP**

*HELP* (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) es un programa informático el cual ejecuta un modelo hidrológico en dos dimensiones y simula el movimiento del agua en un Sistema de relleno sanitario, simula movimientos a través dentro y fuera del relleno. Fue creado y desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) en conjunto con la Estación Experimental de los Canales del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Este modelo permite evaluar el rendimiento de los vertederos estimando el balance hídrico. Este tiene ventajas para actividades de cierre y clausura de rellenos, ya que permite evaluar posibles diseños de clausura de las instalaciones y también incluye en este caso el cómo gestionar residuos peligrosos y residuos no peligrosos. Entidades gubernamentales públicas y empresas privadas en más de doce países utilizan este modelo para el proceso de diseño, evaluación y permisos reglamentarios. El emulador permite al usuario navegar e ingresar datos únicamente utilizando el teclado sin uso del mouse o puntero. En el menú principal se muestran las opciones de navegación; ingreso de datos de clima, suelo, el diseño del vertedero presenta la opción para ejecutar la simulación, para la visualización de los resultados, para ver los resultados e imprimirlos, incluye también la guía de uso (Yalçin & Demirer, 2002).

### **2.12. Datos de entrada**

El uso y aplicación del modelo *HELP* ofrece resultados rápidos y se vuelve una opción más eficiente y rápida para al momento de querer analizar el balance hídrico dentro de un relleno sanitario.

En el caso del presente estudio, dentro de la metodología para la obtención de resultados es importante recalcar que los datos ingresados al programa para la modelación hacen referencia al relleno Sanitario del DMQ. Se toma en cuenta una gran cantidad de características y detalles del lugar y de las actividades dentro de este, mientras más finos y precisos sean estos datos ingresados los resultados se acercan a un modelamiento más real. A continuación, se desglosan los datos a ingresar en el software para la validación del modelo dependiendo las condiciones del vertedero.

### **2.12.1. Datos climatológicos e hidrológicos ingresados al modelo**

**Precipitación:** La precipitación es la caída de agua proveniente de la atmosfera llegando hasta la superficie terrestre. Este es un factor importante en el comportamiento del clima y también de los fenómenos naturales que tienen incidencia en el planeta (Montoya, 2015).

**Temperatura:** La temperatura atmosférica hace referencia al nivel de calor que se encuentra presente en el aire en determinado punto geográfico (Montoya, 2015).

**Radiación Solar:** es la energía emitida por el Sol, esta se propaga en todas las direcciones a través de las ondas electromagnéticas en el espacio. Esta energía determina el comportamiento de procesos climáticos y atmosféricos (Montoya, 2015).

**Velocidad del viento:** esta mide el desplazamiento horizontal del aire desde un punto hasta otro en un determinado instante (Montoya, 2015).

**Promedio de los trimestres de humedad relativa:** La humedad relativa se refiere a la cantidad de agua en el aire en forma de vapor (Montoya, 2015).

**Numero de curva:** este parámetro indica la capacidad relativa que posee un suelo para que se produzca la escorrentía en presencia de precipitaciones, esto en función de las condiciones, usos y laboreos en el suelo. Este número se encuentra en un rango de 0 a 100, los números más acercados a cero pertenecen a los suelos con poca capacidad para la escorrentía propios de suelos altamente permeables, y el valor de cien se asignan a suelos impermeables en su totalidad, los mismos que hacen que todo el agua lluvia se mantenga en la superficie provocando así escorrentías altas (Fernández, 2006).

#### **2.12.2. Datos generales del relleno ingresados al modelo**

**Latitud:** corresponde a la distancia angular que existe medido desde un punto de la superficie del planeta hasta el paralelo del Ecuador. Esta se puede medir en grados, minutos y segundos.

**Área del relleno:** Corresponde a el dato de toda la superficie de influencia del vertedero, incluyendo instalaciones para caminos, piscinas de recolección de lixiviados, etc. El área requerida será proyectada en función de los años de funcionamiento del vertedero, contemplando también que el 20% a 40% de esta área será destinado para áreas auxiliares, de circulación, administración, equipos, etc. (Raul Castañeda, 2015).

**Porcentaje del área del relleno donde se puede dar la escorrentía:** corresponde al porcentaje del área del relleno sanitario en donde se puede presentar la escorrentía. La escorrentía es la lámina de agua proveniente de las



precipitaciones que circula sobre la superficie de un suelo a lo largo de una cuenca hidrográfica (Raul Castañeda, 2015)

**Pendiente de drenaje:** Este dato hace referencia a la pendiente o grado de inclinación con la que se diseñan la instalación de tubería y el sistema de recolección de los lixiviados, de la misma dependerá la velocidad de llegada de los lixiviados hasta las piscinas donde se almacenaras y posteriormente se trataran. El conductor de estos líquidos a transportar es la gravedad, por eso la pendiente debe ser continua de 1% como mínimo (Estado Plurinacional de Bolivia, 2010).

**Longitud máxima de drenaje:** Corresponde a la longitud sobre un plano horizontal, la misma que recorrerá un fluido por el drenaje, depende de parámetros geomorfológicos, relieve, etc. (Schroeder et al., 1994).

**Porcentaje de lixiviados recogidos de la capa para recirculación:** la recirculación de lixiviados consiste en bombear a la sustancia a otra capa del relleno, principalmente a los residuos, para que estos mejoren su calidad y así se regulen caudales, este proceso se lo hace mayormente cuando existen la presencia de altas precipitaciones, este mejora la calidad y la producción del gas metano. Es una alternativa ventajosa si se lo hace correctamente mejorando así las tasas de descomposición de los residuos de tipo orgánico, mejora la calidad de los lixiviados siendo así más fácil de tratarlos y resultando más económica la inversión para el mismo (Schroeder et al., 1994).

**Capa que recibe los lixiviados recirculados provenientes de la capa de drenaje:** La recirculación es más efectiva dependiendo la capa a la que se lo haga, la efectividad aumenta recirculando los lixiviados a la capa de residuos

sólidos, brindándoles así la carga bacteriana necesaria para que se acelere la descomposición de los desechos, optimizando el espacio del relleno, pero se tiene que tomar en cuenta el tiempo de producción de lixiviados, para tener al sistema de recolección, almacenamiento y tratamiento correcto (Schroeder et al., 1994).

### 2.12.3. Datos de suelo ingresados al modelo

**Profundidad de la zona de evaporación:** Esta profundidad se refiere a la altura medida desde la superficie a partir de la cual se pueden presentar los efectos de la evapotranspiración en la eliminación del agua reservada en los poros del suelo. Este valor es importante debido a que afecta al almacenamiento de agua que se encuentra cerca de la superficie por lo que hace que parámetros como la evapotranspiración y escurrimiento varíen (Schroeder et al., 1994).

#### Tipo de capas:

- **Capa con percolación vertical:** Esta capa corresponde a la capa superior del relleno, llamada también capa de material de cobertura, el mismo que es de un tipo de material con permeabilidad moderada a alta, esta tiene un drenaje vertical. Esta capa principalmente proporciona humedad. Esta capa drena de forma vertical como un flujo no saturado (Schroeder et al., 1994).
- **Capa con drenaje lateral:** Esta capa pertenece a la capa de residuos sólidos, esta posee un tipo de sistema de recolección y extracción de líquidos de drenaje lateral. Esta capa drena verticalmente como lo

hace un flujo insaturado y por otra parte drena lateralmente como un flujo saturado (Schroeder et al., 1994).

- **Capa de revestimiento de suelo como barrera:** Esta capa se coloca en los rellenos sanitarios a modo de limitante, esta capa de características de baja permeabilidad está diseñada para limitar la infiltración. Esta capa únicamente drena de forma vertical como un flujo saturado (Schroeder et al., 1994).
- **Geomembrana:** esta capa es un revestimiento sintético y flexible que es diseñada e instalada de la forma específica para que se impida el drenaje y las fugas, esta geomembrana tiene defectos dependiendo la instalación y su fabricación. Este material debe contar con características físicas y químicas específicas, por ejemplo: no debe contener burbujas o cavidades, su espesor debe mantenerse homogéneo, debe ser impermeable al agua, acetona y sustancias como hidrocarburos, debe asegurar resistencia ante el calor y situaciones climáticas extremas, debe ser lo suficientemente resistente contra desgaste mecánico como posibles pinchazos o roturas por la instalación o manipulación (IMG, 2011).

**Grosor de las capas:** El espesor y disposición de las capas dentro del vertedero resultan ser datos fundamentales para el modelamiento, de esta organización y proporciones dependerá el flujo y movimiento del lixiviado a través de estas.

**Textura del suelo:** El suelo se encuentra constituidos por partículas de distintos tamaños variables, desde bloques de roca hasta pequeñas fracciones de arcillas milimétricas microscópicas. La textura y su granulometría es el parámetro que

se utiliza para clasificar el suelo. Este puede estar constituido por arenas, limos y arcillas, estos materiales tienen características diferentes, estas son importantes en los vertederos por sus propiedades de conducción hidráulica, capacidad de campo, capacidad de infiltración, estos suelos son utilizados como barreras en el fondo de los vertederos y también de material de cobertura, el mismo que proviene de las excavaciones en la construcción de los cubetos o puede también ser adquirido de otra zona en donde se cuente con un suelo con permeabilidad moderada, a fin de que no se produzca demasiada infiltración ni escurrimientos altos. En los estudios geológicos preliminares de la construcción de los vertederos se sugieren terrenos que puedan comportarse como una barrera geológica, para minimizar los lixiviados que se infiltren y evitar que lleguen a capas freáticas, ralentizar la difusión de contaminantes provenientes de los residuos para asegurar que se queden en el área del terreno. El suelo recomendado e ideal para ser usado como base en el vertedero y también a manera de capa de cobertura posee las siguientes características (González-Barrios et al., 2012):

**Porosidad del suelo:** Este parámetro va en función de la textura y de la estructura de un determinado suelo, ya que la porosidad hace referencia a los espacios varios o poros de este. Este volumen que no es ocupado por materiales orgánicos y minerales ocupa aproximadamente la mitad del espacio del suelo. La Porosidad del suelo ayuda al procesamiento de infiltración, escurrimiento del agua y es un indicador de almacenamiento de agua. Este parámetro se puede clasificar en tres tipos: Sub- microscópica, microscópica y macroscópica (González-Barrios et al., 2012).

**Capacidad de campo:** Se refiere al contenido de agua presente en un suelo que se encuentra relativamente constante durante cuarenta y ocho horas en un suelo saturado, esta cantidad de agua es la que se dispone para el crecimiento de la vegetación (Schosinsky, 2006).

**Punto de marchitez:** Este parámetro hace referencia al contenido de agua remanente después de que un suelo ha perdido a la misma durante procesos de cultivo. En breves rasgos se refiere al agua que ha perdido el suelo, y que no se encontrara disponible para el crecimiento de la vegetación (Schosinsky, 2006).

**Humedad del suelo:** Se trata de la cantidad o volumen de agua que se encuentra presente en un volumen determinado de un terreno. Es un factor de suma importancia debido a su influencia en procesos de fertilidad y germinación, productividad de suelo, crecimiento de la vegetación. En cuanto a la humedad característica de los suelos utilizados en los rellenos sanitarios, es primordial que este parámetro se tome en cuenta debido a que este contenido de agua se sumara a la producción de lixiviados en el balance hídrico del vertedero (Schosinsky, 2006).

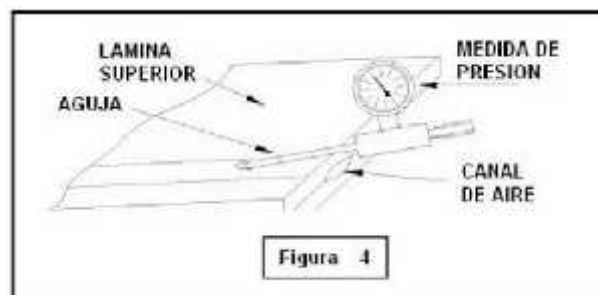
**Conductividad hidráulica saturada:** Describe la capacidad de infiltración de un suelo al momento de drenar agua. La conductividad hidráulica va relacionada con la humedad inicial del suelo, ya que, en un suelo muy seco, la conductividad hidráulica será muy rápida, esta se volverá lenta a medida de que los poros capilares se vayan llenando de agua. El movimiento descendente constante gracias a las fuerzas gravitatorias hace que se alcance la conductividad hidráulica saturada. Otros factores que influyen en la conductividad hidráulica de un suelo son: ciclos y tiempos de riego, textura de las capas del suelo, condiciones de la superficie, presencia de vegetación, etc. (Schosinsky, 2006).

#### **2.12.4. Datos de características de la geomembrana y su instalación**

Calidad de instalación de la geomembrana. La instalación del revestimiento de la geomembrana empieza con el trazado del panel de la geomembrana en donde se indica la ubicación de esta. Se realizan planos a escala en donde se

identifican lugares de penetración para la tubería, sellados, soldado, reparaciones, etc. Durante el proceso de instalación se debe procurar tener cuidado para que no se causen daños al geotextil o al terreno compactado previamente (IMG, 2011).

Se debe tomar en cuenta que para la instalación es necesario que las condiciones climáticas sean favorables, se trata de evitar la instalación en temporadas lluviosas o con altas velocidades del viento ya que en la instalación para evitar que esta se mueva se deben ajustar con materiales como rocas o bloques de cemento. Las costuras deben hacerse con precaución en forma paralela al declive, sin que estas se atraviesen, para que se obtengan costuras de calidad y que se asegure que estas no se suelten en la operación del vertedero. El encargado del sellado debe asegurar que el material no contenga polvo, que no esté húmedo y que se asegure que se encuentra en condiciones óptimas para que no se afecte la calidad de las costuras. Antes de comenzar con las costuras se deben hacer sellados de prueba.



*Figura 4.* Sellado de material geo sintético.

Tomado de: IMG, 2011.

Número de defectos de la geomembrana. El caminar encima del material geosintético, la manipulación o el transporte de este. Se pueden presentar efectos a manera de orificios, burbujas, rasgados, arañazos, disminución del

grosor, etc. Estos defectos tienen que ser tratados en la instalación con técnicas de sellado o soldadura (IMG, 2011).

#### **2.12.5. Datos sobre vegetación ingresados al modelo**

Índice máximo del área foliar: El índice foliar es una expresión numérica adimensional. Es una herramienta que resulta útil en modelos de predicción de cultivos y para la estimación de la captura de luz del dosel de los árboles. Esta se expresa como resultado al dividir el área de las hojas para el área del suelo que ocupa en una determinada zona con vegetación específica. Se utiliza este parámetro para entender la capacidad fotosintética, acumulación de biomasa y rendimiento de cultivos (De La Casa et al., 2007).

Día del inicio y fin de la estación de crecimiento de vegetación: El de inicio y fin de crecimiento de la vegetación indica el periodo del crecimiento, el mismo que reúne todas las condiciones climáticas favorables, como la humedad y la temperatura para que se desarrollen cultivos o vegetación en general. La duración de esta etapa de crecimiento se la calcula con un balance entre la precipitación y la evapotranspiración potencial con datos históricos superiores a veinte años (Bach et al., 2003) .

Presencia de vegetación. La vegetación y forestación en el área de influencia de un relleno sanitario es fundamental para vertederos en funcionamiento y para el cierre de estos, ayudan a minimizar los impactos ambientales, reduciendo impactos por malos olores al actuar como una barrera absorbente, estabilizan también taludes y son indicadores de presencia de gas metano en el ambiente. En la construcción de los vertederos se precisa la construcción de una barrera natural mediante la plantación del cerco vivo, sembrando arboles altos en el

centro y en los bordes sembrando arbustos. Por otra parte la presencia de vegetación influye en el clima, debido a esta estrecha relación, la vegetación puede disminuir la temperatura ambiental y cuando hay altos porcentajes de vegetación se presentan a su vez altas precipitaciones y vientos. La vegetación da estabilidad a la temperatura local debido a que sube los niveles de humedad mediante la evapotranspiración (Bach et al., 2003) .

## **2.13. Generación y disposición de los residuos sólidos urbanos del cantón Rumiñahui**

### **2.13.1. Descripción del cantón**

La provincia de Pichincha se encuentra conformada por ocho cantones, Rumiñahui uno de ellos con una extensión de 132.78 km<sup>2</sup>, a su vez se divide en cinco parroquias, dos de ellas rurales y 3 urbanas. Las zonas urbanas son Sangolquí, San Rafael y San Pedro de Taboada. Las parroquias rurales corresponden a Cotogcha y Rumipamba. Rumiñahui se encuentra ubicado al sureste de Pichincha, aquí habitan aproximadamente 106 548 personas. Según el INEC, en su último censo en el año 2001, menciona que Rumiñahui representa el 2,8% del total de la población de Pichincha, que este cantón tiene un crecimiento promedio anual del 3,2% y que el 13,8% de la población en él reside en las zonas rurales (INEC, 2001).

El cantón cuenta con la siguiente cobertura de servicios para asegurar el bienestar de sus pobladores: agua potable con un 93%, energía eléctrica con el 99%, telefonía con el 96% y la recolección de basura con un 64% de cobertura. Gran parte de los habitantes de Rumiñahui tienen a su propiedad casas o villas, se construyen grandes urbanizaciones y conjuntos habitacionales. Hay una gran expansión de utilización de los predios y consecuentemente existe un



crecimiento en la demanda de productos y servicios para que la zona sea abastecida (GobiernoMunicipalRumiñahui, s.f).

### 2.13.2. Composición de los residuos sólidos

**Caracterización de residuos sólidos municipales:** Hace referencia a una herramienta que permite conocer información sobre la composición que presentan los residuos sólidos de una localidad. En este proceso se tienen que tomar datos de cantidad, densidad, composición y humedad, datos que permiten la construcción e implementación de un correcto plan o sistema para su recolección, transporte y disposición final conjuntamente con los costos que estos procesos tienen. Esta herramienta representa un insumo importante para la toma de decisiones sobre la gestión integral de los residuos con visión a corto o largo plazo y todos los proyectos de inversión que están ligados a la gestión.

Tabla 1. *Caracterización de los residuos urbanos del Cantón Rumiñahui.*

<b>Tipo de residuos</b>	<b>% Porcentaje</b>
Orgánicos	57.13%
Cartón	4.88%
Papel Periódico	2.24%
Papel Mezclado	5.94%
Plástico rígido	8%
Plástico PET	4.25%
Vidrio	5.28%
Chatarra	0.98%
Peligrosos domésticos	8.88%
Otros	5.11%

Adaptado de: Vilatuña et al., 2016.

Los residuos de Rumiñahui se encuentran representado mayormente por residuos de carácter orgánico, esto puede adjudicarse al hecho de que cuenta con 13.8% de habitantes que residen en zonas rurales, en donde la actividad productiva genera residuos principalmente de la agricultura, ganadería, etc. También a que gran parte del territorio del cantón se encuentra ocupado por viviendas lo que aumenta la demanda de alimentos, y la producción de residuos de tipo orgánico (INEC, 2001).

### **2.13.3. Generación**

En las zonas rurales del cantón Rumiñahui la generación per cápita es de 0.33 kg/ hab\*día, mientras que en las zonas urbanas es de 0.55 kg/ hab\* día. Lo que explica que las actividades realizadas por pobladores de estas zonas generan una cantidad considerablemente mayor (Vilatuña et al., 2016). Teniendo en cuenta que 91845 habitantes representan el 86.2% de la población total del cantón, misma que habita en zonas urbanas, se determina que esta produce un total de 50514.40 kg/ día. La cantidad de residuos que produce la zona rural del cantón es de 4 851.99 kg/ día, dando así un total de generación de 55366.39 kg diarios.

### **2.13.4. Disposición final**

Mediante el Oficio Nro. MAE-SCA-2018-2252-O del 25 de octubre del 2018 se aprueba el “Plan Integrado de Residuos Sólidos para el cantón Rumiñahui”, la entidad de se encarga de su correcto desarrollo es la Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos, Rumiñahui-Aseo, EPM. El plan tiene como objetivo el manejo adecuado y eficiente de los residuos mediante la gestión de desechos no peligrosos. Se describen procedimientos para el manejo, barrido, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, comercialización y disposición de los

residuos urbanos para asegurar aspectos económicos, sociales y ambientales (GobiernoMunicipalRumiñahui, s.f).

Una vez los residuos provenientes del cantón llegan al Relleno Sanitario del DMQ la EMGIRS-EP se encarga de su tratamiento y disposición final, esta entidad ha determinado fases de la operación del vertedero. La primera fase controla la cantidad y la calidad de los residuos que llegan, en la segunda fase se prepara el lugar para la disposición, incluyendo trabajos previos en la celda diaria, la tercera fase corresponde a la colocación y compactación de los residuos sólidos de una forma homogénea en capas con la utilización de maquinaria pesada, en la cuarta fase se procede a cubrir con el material previamente extraído de la celda de igual forma con maquinaria pesada. La última fase forma la terraza según los planos, en donde se construyen escalones a modo de pirámide con medidas ajustadas según las especificaciones de los planos (Diaz, 2015).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Área de estudio**

El relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito ubicado al sureste de Quito en la provincia de Pichincha a 2574 msnm constituye el complejo de instalaciones destinadas a la disposición final de los desechos de una forma técnica y controlada, es el lugar a donde llegan los residuos provenientes del Distrito Metropolitano de Quito y del cantón Rumiñahui. Cuenta con un clima cálido y templado, se presentan precipitaciones durante todo el año aun incluso en su mes más seco, su temperatura media anual es de 15.3 grados centígrados (ClimateData, s.f).

Aquí se desarrollan procesos de depósito de estos desechos en las celdas o cubetas previamente excavados y acondicionados. En el vertedero también ocurren procesos de tratamiento de lixiviados para su disposición final en el río Inga cumpliendo con la norma ambiental vigente para descargas a cuerpos hídricos.

El vertedero tiene una extensión de 46 hectáreas las cuales han sido utilizadas para distribuir a los 9 cubetos, a las piscinas de almacenamiento de los lixiviados provenientes de estos cubetos, tres plantas de tratamiento de lixiviados, una planta para el tratamiento de desechos hospitalarios o infecciosos, una planta para la incineración de fauna urbana, zona de oficinas administrativas y de monitoreo, teniendo en cuenta que cuenta también con una planta de generación de energía eléctrica a partir de la captación de biogás proveniente de las celdas o cubetos (SecretariadeAmbiente, s.f).



*Figura 5. Ubicación geográfica del Relleno Sanitario del DMQ.*

Tomado de: *Google Maps.*



*Figura 6.* Área del Relleno Sanitario del DMQ: 46 ha.

Tomado de: *Google Maps*.

### **3.2. Sobre el software, su instalación y familiarización**

*HELP* v3.5 no se ejecuta directamente en Windows o iOS, este programa es ejecutable de DOS de preferencia con sistemas operativos de 64 bits, el programa no funcionara de la misma forma en sistemas de 16 bits. Para ejecutar el programa, es necesario un emulador de terceros. Los manuales y directrices para la instalación, configuración y operación se encuentran disponibles en la página oficial de la EPA (Schroeder et al., 1994).

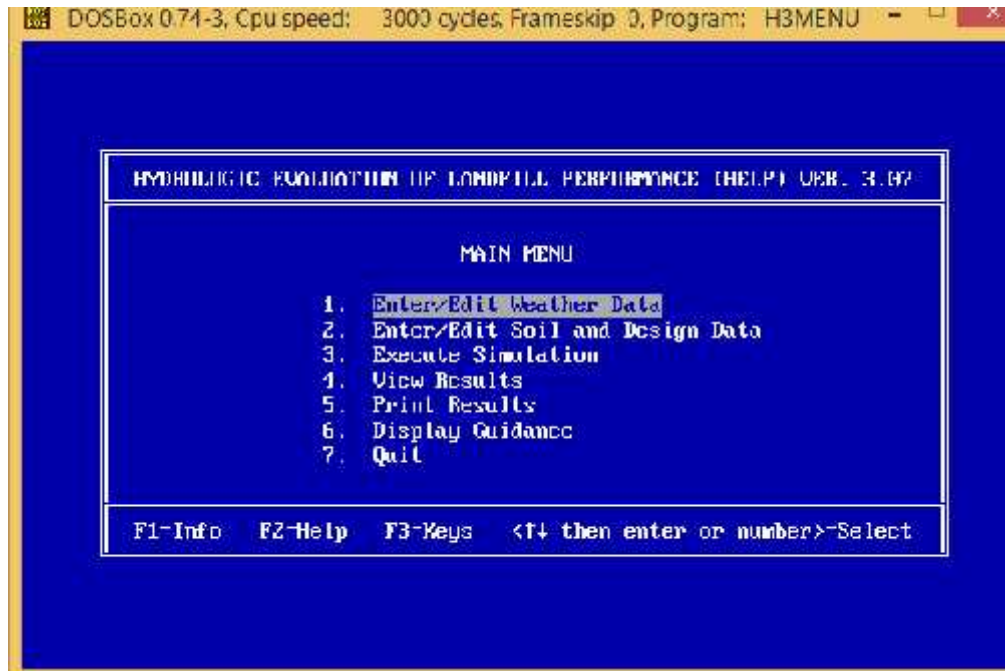


Figura 7. Interfaz gráfica del programa siendo ejecutado por el emulador.

Para ingresar toda la información y los datos antes mencionados se lo puede hacer directamente desde direcciones en el disco local del ordenador que se esté utilizando, se debe conocer la dirección exacta para que el software lo reconozca, por otro lado, también se cuenta con la opción de crear nuevos datos, en donde se deberá especificar las unidades seguido de la información requerida. El programa también da la opción de poder modelar el sistema con datos de ciudades de Estados Unidos que puedan asemejarse a los del sitio de estudio del usuario, por lo que permite navegar entre la data de todas estas localidades.

Para el ingreso de la información se tiene que navegar a través del emulador usando las teclas con las diferentes opciones que se han establecido por el programa. En primer lugar se deben ingresar todos los datos acerca del clima en donde se encuentra situado el relleno sanitario, a continuación se ingresan los datos de las características de su suelo incluyendo los datos de diseño del

vertedero. Teniendo todos estos datos ingresados se procede a ejecutar la simulación y observar los resultados de esta.

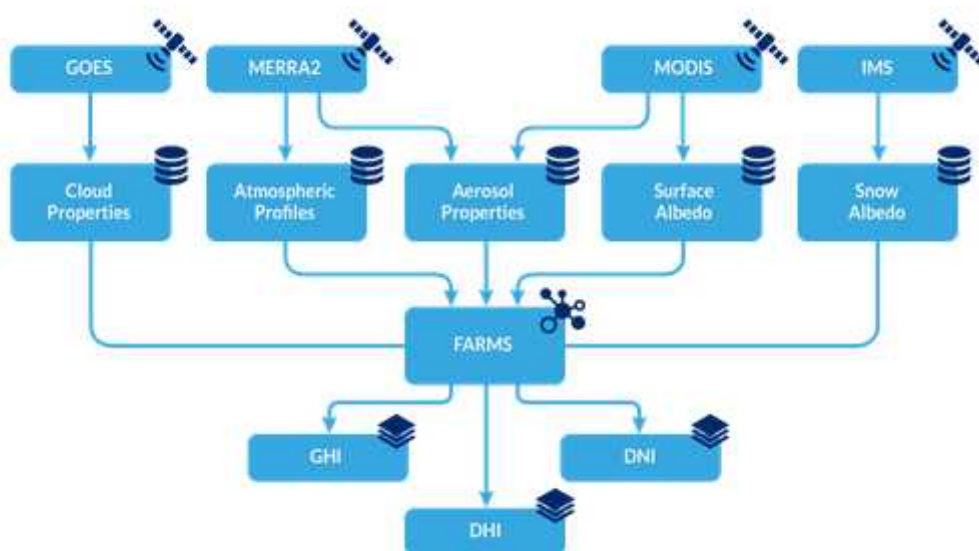
### **3.3. Obtención, análisis y procesamiento de datos crudos**

La fase de recopilación y procesamiento de datos del estudio es importante como la simulación del modelo. Los diferentes datos de entrada que se necesitaron fueron obtenidos de fuentes bibliográficas o portales de geodatabase de diferentes institutos o entidades públicas del país y de instituciones extranjeras.

Para la obtención de datos de geomorfología, geopedología, etc. Fue necesario acceder a los geo portales del Instituto Geográfico Militar (IGM) o también en los visores gráficos del Ministerio de Agricultura, el Ministerio del Ambiente, etc. Estos portales ofrecen mapas en formato JPG, la memoria técnica con detalles importantes e información relevante para el usuario de la geodatabase a descargar, también es importante mencionar que esta información tiene un año de publicación. Todos los datos fueron procesados y modelados por estas entidades de tal forma que los datos no son puntuales de un solo año, más bien son proyecciones en donde se aplica estadística para poder modelar una base de datos que pueda ser proyectada a futuro, por lo que los datos de factores variables como precipitaciones, evapotranspiración, temperatura ingresaron al software con valores no exactos de un solo tiempo puntual sino más bien de una proyección o promedios.

La información climatológica de radiación, velocidad del viento, humedad relativa, temperatura y precipitación fue obtenida del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), localizado en Colorado, Estados Unidos. Esta

entidad gubernamental investiga y desarrolla tecnologías de energía renovable y eficiencia energética y se encentra especializada en estos temas con financiamiento del Departamento de Energía de los Estados Unidos. La organización ha desarrollado una aplicación para visualizar y descargar bases de datos llamada NSRDB “*National Solar Radiation Database*” esta es una colección de valores e información de hora y media hora sobre diferentes factores climáticos. Esta base de datos se modela utilizando mediciones multicanal de satélites geoestacionarios que usan un número suficiente de ubicaciones y escalas temporales y espaciales para la representación de climas regionales precisos (NREL, 2018).



*Figura 8.* Flujo de información desde los satélites hasta la medición.

Tomado de: NREL, 2018.

En este visualizador se tuvo que localizar el punto exacto del vertedero para descargar la información precisa del lugar. El sitio web solicita información del usuario, la organización a la que pertenece y el uso que se dará a la base de



datos, solicita también de un correo electrónico al cual en un periodo de tiempo de alrededor de diez a treinta minutos se enviará la información solicitada.

### 3.4. Datos climatológicos e hidrológicos ingresados al modelo

Se determinó un rango de años para obtener resultados de los lixiviados producidos desde el año 2013 hasta el año 2018, periodo del cual se contó con todos los datos necesarios. El programa solicitó se ingresen datos climatológicos de:

**Precipitación:** la información sobre precipitación tiene que ser ingresada como mínimo de un año, esta puede ser ingresada de forma diaria o mensual. En el presente estudio se ingresaron los datos de forma mensual durante el periodo antes mencionado (NREL, 2018).

**Temperatura:** Igualmente para la información de temperatura atmosférica es necesario el ingreso de al menos un año de registro. En el estudio se ha ingresado este dato de forma mensual, el modelo también solicitó temperatura promedio por mes, por lo que se tuvo que realizar el cálculo e ingresarlo.

Tabla 2. *Promedio Temperatura Mensual*

<b>Promedio Temperatura Mensual °C</b>	
Enero	11.78
Febrero	11.87
Marzo	12.02

Abril	11.87
Mayo	11.62
Junio	10.54
Julio	10.26
Agosto	10.53
Septiembre	11.10
Octubre	11.70
Noviembre	11.98
Diciembre	11.73

Adaptado de: NREL, 2018.

**Radiación Solar:** Para estos datos también se tomó en cuenta información de más de un año de registro. Se ingresó la información de forma mensual en el periodo de cinco años (NREL, 2018).

**Velocidad del viento:** El modelo precisa de un promedio de esta velocidad del viento por lo cual se realizó un promedio de la misma con datos mensuales durante los cinco años (NREL, 2018). La velocidad del viento promedio ingresada al modelo fue de: 9.36 km/h.

**Promedio de humedad relativa de los cuartiles de:** Se determinó dividiendo al año en cuatro partes iguales y realizando un promedio entre los meses de cada uno de los trimestres durante los años de estudio (NREL, 2018).

El promedio de los trimestres de humedad relativa ingresada al modelo fue:

- Promedio de 1er trimestre de humedad relativa: 89.81%
- Promedio de 2do trimestre de humedad relativa: 89.48%
- Promedio de 3er trimestre de humedad relativa: 86.19%
- Promedio de 4to trimestre de humedad relativa: 87.74%

**Numero de curva:** El modelo ofrece la opción de cálculo del número de curva ingresando datos de pendiente, longitud de pendiente, textura del suelo y vegetación. Se ingresaron estos requerimientos al modelo y este computarizo el número de curva resultando ser 87.2.

### **3.5. Datos generales del relleno ingresados al modelo**

**Latitud:** Se ingresó la latitud (en grados decimales) correspondiente al Relleno del DMQ, siendo esta -0.31.

**Área del relleno:** El modelo pide el ingreso del total de área ocupada por el relleno, siendo estas 46 hectáreas.

**Porcentaje del área del relleno donde se puede dar la escorrentía:** Según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia en su guía para la implementación, operación y cierre de rellenos sanitarios, el porcentaje de área que ocupan zonas auxiliares y de circulación en un vertedero es de un 30% aproximadamente. Por lo cual se consideró que en el 70% del área total se puede producir escorrentía por procesos de compactación de residuos y del material de cobertura (Estado Plurinacional de Bolivia, 2010).

**Pendiente de drenaje:** El Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia en su guía antes mencionada sugiere una pendiente de drenaje no mayor al 2% por lo cual se ha optado por el valor de 1.5% para ser ingresado al modelo (Estado Plurinacional de Bolivia, 2010).

**Longitud máxima de drenaje:** Se ha calculado mediante la herramienta “Regla” en el sitio web “Google Earth”. Tomando el punto desde del cubeto hasta la piscina de recolección y almacenamiento de lixiviados.

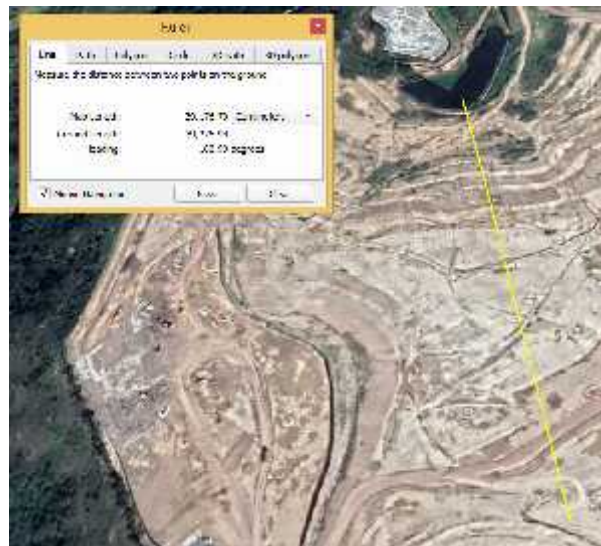


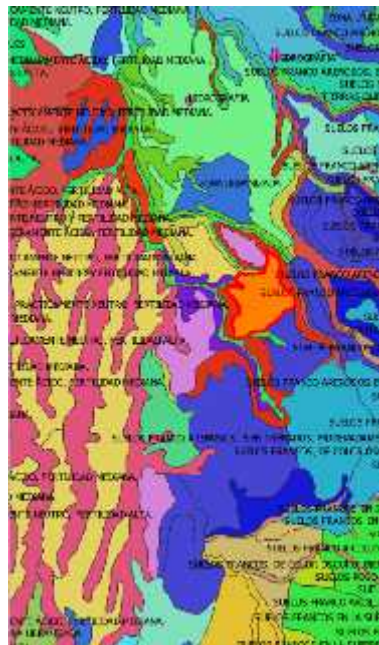
Figura 9. Longitud de drenaje.

Tomado de: *Google Earth*.

Porcentaje de lixiviados recogidos de la capa para recirculación y capa que recibe los lixiviados recirculados provenientes de la capa de drenaje: Debido a que no se tiene información de que en el relleno sanitario del DMQ se realice esta técnica, los valores se han dejado vacíos.

### 3.6. Datos de suelo ingresados al modelo

Profundidad de la zona de evaporación: Este dato depende directamente del tipo de suelo, por lo que se utilizó el sistema de información geográfica QGis, se descargó la geodatabase del portal de del Instituto Geográfico Militar, mediante herramientas de geoprocésamiento se determinó que el suelo característico del vertedero es un suelo franco arcilloso de color oscuro, bien drenado, moderadamente profundo, pH neutro y con fertilidad alta.



*Figura 10.* Tipo de suelo en el Relleno Sanitario del DMQ.

El modelo permite seleccionar el tipo de suelo característico, permitiendo valores desde 12 hasta 60 pulgadas para arcillas. Por lo que se ingresó el promedio de este, proyectado a 50 pulgadas de profundidad de la zona de evaporación por el tipo de suelo mayormente arcilloso con pequeñas fracciones de arena (Schroeder et al., 1994).

**Tipo de capas:** Se ingresaron las capas de forma ordenada descendente. El modelo lee valores entre 1 y 4 asignados a cada una de las capas. El modelo lee al número 1 como una capa de percolación vertical, que hace referencia a la capa de material de cobertura, para los valores de 2 y 3 el modelo los lee como capas de residuos sólidos con drenaje lateral o como un suelo utilizado como barrera. Para la última capa, representada por el número 4, el modelo lee este dato como la capa de geomembrana (Schroeder et al., 1994).

**Grosor de las capas:** Según Díaz, la capa de material de cobertura tiene un espesor de 35 a 40 centímetros, este es colocado en la celda diaria y es retirado nuevamente cuando se llene la próxima, dejando así a esta capa siempre en la superficie (Díaz, 2015).

Para el cálculo del grosor o altura de las capas de residuos dentro del vertedero se utilizó datos de informes proporcionados por la EMGIRS- EP en su página WEB. En los informes se contaba con datos de pesos de residuos mensuales del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y del cantón de Rumiñahui dispuestos en el relleno. Se calculó el porcentaje que representan los residuos del cantón frente al DMQ siendo este de un 5.7%.

Se tomó un valor de 0.8 ton/m<sup>3</sup> para la densidad ya que estos tienen procesos de compactación media debido a que se utiliza maquinaria pesada para esparcir y compactar los residuos (Raul Castañeda, 2015).

Tabla 3. Área y toneladas dispuestas en los cubetos del Relleno Sanitario del DMQ

Cubeto	Área (Hias)	Toneladas Dispuestas
1	1.2	228,571.43
2	1	190,476.19
3	3.1	628,571.43
4	2.7	552,380.95
5	2.5	658,000.00
6	7.6	2,950,000.00
7	1	610,025.64
Total	19.1	5,818,025.64

Adaptado de: (EMGIRS-EP, s.f.)

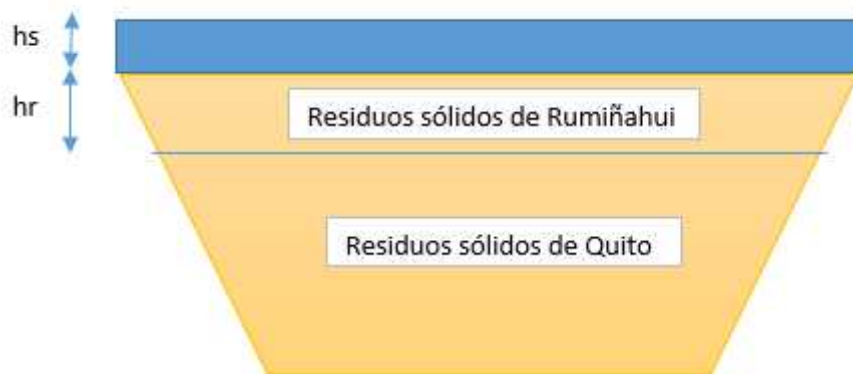
Volumen total en los cubetos 1-7 = Toneladas totales dispuestas/ densidad

Volumen total en los cubetos 1-7 = 727252.05 m<sup>3</sup>

Altura promedio por cubeto = volumen total en cubetos /área total cubetos

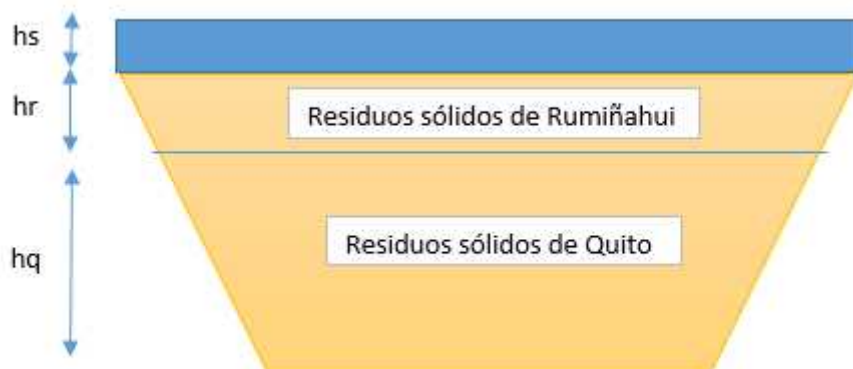
Altura promedio por cubeto = 38.076 m

**Escenarios a modelar:** Con la finalidad de aislar los residuos sólidos provenientes del cantón Rumiñahui, se asume que estos son colocados en una capa regular en toda la superficie, por encima de los residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito. De acuerdo con este supuesto y con el fin de poder comparar los resultados obtenidos se plantearon dos escenarios.



*Figura 11.* Escenario 1

Para el primer escenario se modeló únicamente considerando a la capa de residuos provenientes de Rumiñahui conjuntamente con la capa de material de cobertura. En donde  $h_s$  corresponde a la altura del material de cobertura, y  $h_r$  a la altura de la capa de residuos provenientes de Rumiñahui.



*Figura 12.* Escenario 2

El escenario número dos fue la referencia con la cual se determinó la eficiencia del modelo y la precisión de la información ingresada. En este escenario se modeló considerando a la capa de residuos sólidos provenientes del Distrito



Metropolitano de Quito, junto con la capa de residuos del cantón Rumiñahui y la capa de material de cobertura. En este escenario hs y hr indican las mismas alturas que en el escenario 1, hq corresponde a la altura de la capa de residuos sólidos procedentes del DMQ.

La altura de las capas consideradas son las siguientes:

Porcentaje promedio de residuos sólidos de Rumiñahui respecto de los residuos sólidos totales = toneladas dispuestas de Rumiñahui\*toneladas totales dispuestas/100 = 5,7%

Altura residuos de Rumiñahui = altura promedio por cubeto\* 5.7%

Altura capa residuos de Rumiñahui (hr) = 2.17 m

Altura capa residuos del DMQ (hq) = 35.90 m

Altura de capa de material de cobertura (hs) = 0.35 m (Diaz, 2015).

Tabla 4: Disposición de toneladas en los años 2013- 2018 en el relleno sanitario del DMQ

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Peso residuos DMQ (ton)</b>	<b>Peso residuos Rumiñahui (ton)</b>	<b>Total Residuos (ton)</b>	<b>% Rumiñahui</b>
2013	Jan-13	54761.43	3238.91	58000.34	5.58
2013	Feb-13	45495.01	2661.46	48156.47	5.53
2013	Mar-13	52061.30	2967.44	55028.74	5.39
2013	Apr-13	53368.41	2983.62	56352.03	5.29
2013	May-13	55311.34	3204.68	58516.02	5.48

2013	Jun-13	51439.45	2917.57	54357.02	5.37
2013	Jul-13	51813.71	2925.60	54739.31	5.34
2013	Aug-13	50629.12	2747.66	53376.78	5.15
2013	Sep-13	48270.77	2759.29	51030.06	5.41
2013	Oct-13	54202.37	2978.43	57180.80	5.21
2013	Nov-13	51594.80	2899.95	54494.75	5.32
2013	Dec-13	53591.87	3246.95	56838.82	5.71
2014	Jan-14	57433.99	3157.54	60591.53	5.21
2014	Feb-14	49443.27	2822.65	52265.92	5.40
2014	Mar-14	55314.82	3269.14	58583.96	5.58
2014	Apr-14	57266.87	3183.66	60450.53	5.27
2014	May-14	59354.04	3331.86	62685.90	5.32
2014	Jun-14	53377.51	3097.79	56475.30	5.49
2014	Aug-14	54578.41	3331.09	57909.50	5.75
2014	Sep-14	53888.93	3053.04	56941.97	5.36
2014	Oct-14	53735.60	3192.61	56928.21	5.61
2014	Nov-14	52851.14	3275.93	56127.07	5.84
2014	Dec-14	57478.69	3478.42	60957.11	5.71
2015	Jan-15	55648.32	3182.75	58831.07	5.41
2015	Feb-15	49388.58	2921.04	52309.62	5.58
2015	Mar-15	57146.69	3477.06	60623.75	5.74
2015	Apr-15	56512.48	3360.04	59872.52	5.61
2015	May-15	55448.53	3321.54	58770.07	5.65
2015	Jun-15	53129.53	3054.60	56184.13	5.44
2015	Jul-15	53528.87	3141.39	56670.26	5.54
2015	Aug-15	50271.80	3059.21	53331.01	5.74
2015	Sep-15	51329.90	2954.73	54284.63	5.44
2015	Oct-15	54156.47	3123.28	57279.75	5.45
2015	Nov-15	51040.80	3282.83	54323.63	6.04
2015	Dec-15	55938.60	3398.74	59337.34	5.73
2016	Jan-16	56728.88	3403.44	60132.32	5.66

2016	Feb-16	50878.12	3040.98	53919.10	5.64
2016	Mar-16	58025.90	3517.34	61543.24	5.72
2016	Apr-16	59109.60	3468.10	62577.70	5.54
2016	May-16	59262.97	3559.28	62822.25	5.67
2016	Jun-16	55201.18	3166.38	58367.56	5.42
2016	Jul-16	53871.15	3185.69	57056.84	5.58
2016	Aug-16	53170.03	3067.17	56237.20	5.45
2016	Sep-16	52633.05	3141.32	55774.37	5.63
2016	Oct-16	55640.12	3397.37	59037.49	5.75
2016	Nov-16	53771.94	3272.36	57044.30	5.74
2016	Dec-16	57495.41	3962.37	61457.78	6.45
2017	Jan-17	59515.92	4035.10	63551.02	6.35
2017	Feb-17	51082.30	3516.15	54598.45	6.44
2017	Mar-17	62343.30	4298.84	66642.14	6.45
2017	Apr-17	60102.12	4000.69	64102.81	6.24
2017	May-17	64788.64	4377.24	69165.88	6.33
2017	Jun-17	59162.53	3996.48	63159.01	6.33
2017	Jul-17	57434.21	3730.36	61164.57	6.10
2017	Aug-17	56741.31	3769.35	60510.66	6.23
2017	Sep-17	56894.95	3670.37	60565.32	6.06
2017	Oct-17	59426.63	4041.58	63468.21	6.37
2017	Nov-17	57272.09	3654.56	60926.65	6.00
2017	Dec-17	59920.19	3872.19	63792.38	6.07
2018	Jan-18	64106.97	3797.55	67904.52	5.59
2018	Feb-18	52264.48	3312.74	55577.22	5.96
2018	Mar-18	62252.05	3797.59	66049.64	5.75
2018	Apr-18	60890.85	3878.57	64769.42	5.99
2018	May-18	61855.66	4113.71	65969.37	6.24
2018	Jun-18	61301.99	3721.42	65023.41	5.72
2018	Jul-18	58367.55	3596.26	61963.81	5.80
2018	Aug-18	56992.79	3567.01	60559.80	5.89

2018	Sep-18	57382.12	3382.71	60764.83	5.57
2018	Oct-18	58389.70	3693.50	62083.20	5.95
2018	Nov-18	58287.30	3811.75	62099.05	6.14
2018	Dec-18	61690.94	4036.75	65727.69	6.14
<b>Total</b>		<b>3955058.36</b>	<b>240856.77</b>	<b>4195915.13</b>	<b>5.74</b>

Adaptado de: EMGIRS-EP, s.f.

**Textura del suelo:** El modelo presenta la opción de que el usuario ajuste la textura del suelo a una biblioteca con datos predeterminados, el programa junto con este parámetro indicara también porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez, humedad y valores de conductividad hidráulica por defecto (Schroeder et al., 1994). Se debe ingresar el número asignado para cada tipo de suelo o tipo de capa, el modelo permite indicar al tipo de capa para los residuos sólidos, para la geomembrana y para la capa de material de cobertura. Como se mencionó anteriormente el suelo es de tipo franco arcilloso por lo que se eligió el suelo predeterminado número 13, este según la clasificación USDA es SC, siglas asignadas a suelos arcillosos con fracciones menores de arcillas.

SOIL TEXTURE			FIELD	WILTING	SAT. HYD.	
HELP	USDA	USCS	POROSITY	CAPACITY	POINT	CONDUCTIVITY
			(UNIT/UNIT)	(UNIT/UNIT)	(UNIT/UNIT)	(CM/SEC)
1	CoS	SP	0.417	0.045	0.018	1.0E-02
2	S	SW	0.437	0.062	0.024	5.8E-03
3	FS	SW	0.457	0.093	0.033	3.1E-03
4	LS	SM	0.437	0.105	0.047	1.7E-03
5	LFS	SM	0.457	0.131	0.058	1.0E-03
6	SL	SM	0.453	0.199	0.085	7.2E-04
7	FSI	SM	0.473	0.222	0.104	5.2E-04
8	L	ML	0.463	0.232	0.115	3.7E-04
9	SiL	ML	0.501	0.204	0.105	1.9E-04
10	SCL	SC	0.398	0.244	0.136	1.2E-04
11	CL	CL	0.464	0.310	0.187	6.4E-05
12	SiCL	CL	0.474	0.342	0.210	4.2E-05
13	SC	CH	0.430	0.321	0.221	3.3E-05
14	SiC	CH	0.479	0.371	0.251	2.5E-05
15	C	CH	0.475	0.370	0.205	1.7E-05
16	Barren Soil		0.427	0.418	0.367	1.0E-07
17	Bentonite Mix. (0.6 cm)		0.750	0.747	0.400	3.0E-09
18	Municipal Waste (900 mg)		0.671	0.292	0.077	1.0E-08
19	Municipal Waste w/ Channeling		0.168	0.073	0.019	1.0E-08
20	Drainage Net (0.5 cm)		0.050	0.010	0.006	1.0E-01
21	Gravel		0.397	0.082	0.013	3.0E-01

Figura 13. Listado de tipos de capas predeterminadas por el modelo *HELP*

Clase	Sub-clase	Proporción de los componentes
Arenoso (S)	Arenoso	Arena >85%, limo <15%, arcilla <1%
	Arenoso grueso	Arena muy gruesa >25% y arena de diámetro menor <50%
	Arenoso mediano	Arena muy gruesa gruesa y de diámetro medio >25%, arena fina <50%
	Arenoso fino	Arena fina >50%, arena muy gruesa, gruesa y de diámetro medio <25%, arena finísima <50%
	Arenoso finísimo	Arena finísima >90%
Arenoso limoso (LS)	Arenoso limoso	Arena 70 a 80%, limo y arcilla en la proporción: Limo < 1/2 arcilla, ó, Arcilla < 1/2 arcilla, limo y arcilla en la proporción: Limo < 2 arcilla
	Arenoso grueso limoso	Arena muy gruesa >25% y arena de diámetro menor <50%
	Arenoso mediano limoso	Arena muy gruesa gruesa y de diámetro medio >25%, arena fina y finísima < 50%
	Arenoso fino limoso	Arena finísima >50%, arena muy gruesa gruesa y de diámetro medio <25%
	Arenoso finísimo limoso	Arena finísima > 50%
Limoso arenoso (SL)	Limoso arenoso	Arcilla < 27%, limo > 30% (en la proporción: limo > 2 arcilla y arena > 50%, ó, Arcilla < 7%, limo < 11% y arena < 27%)
	Limoso arenoso grueso	Arena muy gruesa >25% y arena de diámetro menor <50%
	Limoso arenoso mediano	Arena muy gruesa gruesa y media > 30% (en arena muy gruesa < 25%) y arena fina y finísima < 12%
	Limoso arenoso fino	Arena fina > 50%, arena finísima < 10%, arena muy gruesa gruesa < media entre 15 y 20%
	Limoso arenoso finísimo	Arena finísima >30% ó arena fina y finísima >40%, (con arena fina gruesa finísima arena muy gruesa gruesa y media < 15%)
Limo (L)	Mezcla media o limosa	Arcilla < 27%, limo > 50%, y arena < 50%
Sily Limoso (SL)	Limoso	Limo > 50%, y arcilla > 27%, ó, Limo > 50% y arcilla < 12%
Silt (F)	Limo	Limo > 80% y arcilla < 10%
Sandy Sily Limoso (SCL)	Arenoso mediano	Arcilla < 10 a 35%, limo < 38%, arena > 45%
Clay Loam (CL)	Mezcla media o arcillosa	Arcilla > 10 a 40% y arena < 15%
Silty Clay Loam (SCL)	Limoso arcilloso	Arcilla > 10 a 40%, arena < 20%
Sandy Clay (SC)	Arenoso arcilloso	Arcilla < 10 a 20%, arena < 10%
Silty Clay (SL)	Arenoso limoso	Arcilla > 10%, limo < 40%
Clay (C)	Arcilloso	Arcilla > 40%, limo < 40%, arena < 45%

Figura 14. Clasificación de suelos USDA.

Tomado de: USDA, s.f.

De igual forma para las capas de residuos sólidos se ingresó el valor predeterminado de 18, el modelo lee el valor como una capa de residuos sólidos municipales. Para la geomembrana se ingresó el valor de 17, el modelo lee este como una capa de barrera sintética.

### 3.7. Datos de características de la geomembrana y su instalación

**Calidad de instalación de la geomembrana:** El modelo permite el ingreso de datos numéricos del 1 al 4. Indicando con el numero 1 una instalación perfecta, con el 2 una instalación excelente, el numero 3 indica una instalación buena y el 4 indicaría una instalación pobre. (Schroeder et al., 1994). La instalación del material geo sintético del relleno del DMQ es considerado como excelente por lo que se ingresó el valor de 2

**Número de defectos de la geomembrana:** El modelo sugiere valores para el numero de defectos dependiendo de la calidad de la instalación de la geomembrana por lo que en el vertedero del DMQ al ser una instalación excelente el modelo sugiere ingresar de 1 a 4 defectos por hectárea, se ingresó para el modelamiento un valor promedio de 2.

### 3.8. Datos sobre vegetación ingresados al modelo

**Índice máximo del área foliar:** De forma predeterminada el modelo recibe valores de 1 a 5 para representar el índice máximo del área foliar, en donde el valor de 1 indica una base mala de hierba, el número 2 es asignado a una base pobre de hierba, para un buen soporte de hierba se asigna el valor de 3.5 y para un excelente soporte de hierba un valor de 5 (Schroeder et al., 1994). Para el modelamiento se ingresó el valor de 3.5 debido a que en imágenes satelitales se observa que en sus alrededores se encuentra un buen soporte de hierba, representado también por vegetación de tipo arbustiva.

**Día del inicio y fin de la estación de crecimiento de vegetación:** Se ingresaron valores de 0 y 367 correspondientemente, esto debido a que el modelo indica que para localidades sin las cuatro estaciones marcadas, en donde todo el año hay crecimiento de la vegetación constante se considera al inicio como 0 y al fin de la estación de crecimiento como 367 (Schroeder et al., 1994).

**Presencia de vegetación:** El modelo lee valores numéricos del 1 al 5. El valor de 1 el modelo lo lee como un terreno desnudo, al número 2 como un soporte pobre de hierba, al número 3 como un soporte medio de hierba, para un buen soporte de hierba se coloca el número 4 y finalmente para indicar un excelente soporte de hierba se ingresa el valor de 5 (Schroeder et al., 1994). Para el estudio se ingresó el número 3 indicando un soporte medio de hierba porque gracias a imágenes satelitales se observó que el sector cuenta con vegetación de tipo arbustiva y un medio soporte de hierba.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

##### 4.1. Resultados de variables que influyen en la generación de lixiviados

Tabla 5. *Total Promedio Anual Escenario 1*

<b>Total Promedio Anual</b>		
<b>Escenario 1</b>		
2013	Precipitación (mm)	247.1
	Escorrentía (mm)	182.979
	Evapotranspiración (mm)	6.06
	Infiltración (mm)	70.181

2014	Precipitación (mm)	248.1
	Escorrentía (mm)	181.76
	Evapotranspiración (mm)	10.96
	Infiltración (mm)	77.3
2015	Precipitación (mm)	247.7
	Escorrentía (mm)	181.311
	Evapotranspiración (mm)	11.049
	Infiltración (mm)	77.438
2016	Precipitación (mm)	254.6
	Escorrentía (mm)	187.962
	Evapotranspiración (mm)	11.211
	Infiltración (mm)	77.849
2017	Precipitación (mm)	251.5
	Escorrentía (mm)	184.957
	Evapotranspiración (mm)	11.133
	Infiltración (mm)	77.676
2018	Precipitación (mm)	268.1
	Escorrentía (mm)	201.016
	Evapotranspiración (mm)	11.57
	Infiltración (mm)	78.654

Tabla 6: *Total Promedio Anual Escenario 2*

<b>Total Promedio Anual</b>		
<b>Escenario 2</b>		
2013	Precipitación (mm)	247.1



	Esorrentía (mm)	183.143
	Evapotranspiración (mm)	6.015
	Infiltración (mm)	69.9
2014	Precipitación (mm)	248.1
	Esorrentía (mm)	181.766
	Evapotranspiración (mm)	10.991
	Infiltración (mm)	77.33
2015	Precipitación (mm)	247.7
	Esorrentía (mm)	181.315
	Evapotranspiración (mm)	11.045
	Infiltración (mm)	77.43
2016	Precipitación (mm)	254.6
	Esorrentía (mm)	187.965
	Evapotranspiración (mm)	11.208
	Infiltración (mm)	77.84
2017	Precipitación (mm)	251.5
	Esorrentía (mm)	184.959
	Evapotranspiración (mm)	11.131
	Infiltración (mm)	77.67
2018	Precipitación (mm)	268.1
	Esorrentía (mm)	201.018
	Evapotranspiración (mm)	11.514
	Infiltración (mm)	78.60

El algoritmo ha modelado resultados para datos de precipitación, evapotranspiración e infiltración, factores que tienen la principal influencia en cuanto a la producción de lixiviados en el vertedero. Se determina que de todas las lluvias aportadas el 28% aproximadamente se infiltra hacia las capas superficiales y profundas del suelo, un 4% de la precipitación se evapora a la atmósfera como consecuencia de la transpiración de la vegetación y finalmente

un 68% del agua que llega al vertedero en forma de lluvia se escurre. El volumen de agua que se convierte en escorrentía es recogida en canales laterales de los cubetos para ser evacuados a cuerpos de agua cercanos, debido a que estos no tuvieron contacto con contaminantes y tienen prácticamente propiedades de aguas lluvias.

El modelo suizo para la estimación de generación de lixiviados permite calcular de forma eficiente y rápida el caudal de lixiviado que es percolado, en donde toma en cuenta factores similares al modelo *HELP*, el que ha sido utilizado para el presente estudio, se incluyen valores de precipitaciones anuales, área superficial del vertedero, densidad de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario. El modelo suizo hace referencia que, para rellenos sanitarios con un sistema de compactación manual, el cual no cumple con una compactación fuerte y con una densidad de los residuos de 0,4 a 0,5 ton/m<sup>3</sup>, se calcula que aproximadamente un 25 a 50% de las precipitaciones anuales se logran infiltrar a las capas de los cubetos, aportando así en dicho porcentaje a la producción de lixiviados. Por otro lado, para un relleno sanitario con un sistema de compactación fuerte, en donde se utiliza maquinaria para el proceso de reducción del volumen de residuos sólidos, que viene a ser el caso del relleno sanitario del DMQ, se calcula que estos pueden llegar a tener una densidad mayor a 0.6 ton/m<sup>3</sup>. El modelo suizo indica que para este escenario el aporte de las precipitaciones a la producción de lixiviados llegan a ser de entre un 15 y 25% (Estado Plurinacional de Bolivia, 2010).

Dado que los residuos sólidos del relleno sanitario del DMQ, gracias al sistema mecanizado de compactación presentan una densidad de 0.8 ton/ m<sup>3</sup> y que los resultados del modelamiento del balance hídrico por el modelo *HELP* indican que el porcentaje de lluvias que se infiltran en el relleno son del 28% aproximadamente, son comparables con los resultados del modelo suizo para rellenos con una compactación fuerte mecanizada. Indicando así, que la

compactación resulta ser una actividad fundamental en la operación del relleno, la efectividad de la compactación determinará el volumen de agua que ingresa, la velocidad de drenaje, etc. Es fundamental contemplar la cantidad de agua que ingresa al sistema del vertedero porque esta aporta humedad a los residuos sólidos, lo que se reflejara en la cantidad de lixiviados que van a ser recolectados, almacenados y tratados, entre mayor sea el volumen de ingreso de agua por infiltración mayor será la producción de lixiviados, con un mayor costo en la operación, disposición y tratamiento de los mismos.

#### 4.2. Resultados de la valoración de lixiviados de los residuos sólidos de Rumiñahui

Tabla 7. *Picos diarios desde el 2013 hasta el 2018 para el escenario 1.*

<b>Picos diarios desde el 2013 hasta el 2018</b>			
		mm	m3
Escenario 1	Percolación/Lixiviado en la capa 4	0.29/649	136.91832
	Carga promedio en la parte superior de la capa 3	150.058	
	Carga máxima en la parte superior de la capa 3	266	
	Ubicación de la cabeza máxima en la capa 2 (distancia del drenaje)	13.1	Metros

Tabla 8. *Picos diarios desde el 2013 hasta el 2018 para el escenario 2.*

<b>Picos diarios desde el 2013 hasta el 2018</b>			
	mm	m <sup>3</sup>	
Escenario 2	Percolación/Lixiviado en la capa 4	4.775261	2196.62012
	Carga promedio en la parte superior de la capa 3	1.313	
	Carga máxima en la parte superior de la capa 3	1.237	
	Ubicación de la cabeza máxima en la capa 2 (distancia del drenaje)	21.7	Metros

En los resultados obtenidos por el modelamiento sobre los picos diarios en el rango de años desde el 2013 hasta el 2018 se evidencia básicamente el porcentaje de aporte de lixiviados por parte de los residuos sólidos del cantón Rumiñahui frente a la producción total de lixiviados en el relleno sanitario, contemplando también a los residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito. Dicho aporte representa el 6.2%, siendo así el volumen pico diario de lixiviados en el escenario uno de 136.9183 m<sup>3</sup> y el volumen pico diario de lixiviados del escenario dos de 2196.62012 m<sup>3</sup>. Los informes de disposición de residuos sólidos del relleno sanitario del DMQ evidencian que en el periodo de años desde el 2013 hasta el 2018 se ha dispuesto un total de 419 5915.13 ton, entregan también datos sobre el peso en toneladas de los residuos sólidos provenientes de Rumiñahui que son almacenados siendo este de 240 856 siendo la fracción del cantón un 5.7% en cuanto al peso.

#### 4.3. Resultados de almacenamiento de agua en el último año de modelamiento

Tabla 9. Almacenaje de agua final al término del año 2018 para el escenario 1.

<b>Escenario 1</b>			
<b>Almacenaje de agua final al término del año 2018</b>			
Capa	cm	vol/vol	%
1	10.9808	0.3137	31%
2	64.305	0.2963	30%
3	0	0	0%

Tabla 10. Almacenaje de agua final al término del año 2018 para el escenario 2.

<b>Escenario 2</b>			
<b>Almacenaje de agua final al termino del año 2018</b>			
Capa	cm	vol/vol	%
1	10.9808	0.3137	31%
2	63.3728	0.292	29%
3	2409.2925	0.671	67%
4	0	0	0%

En esta tabla se pueden observar los resultados de la cantidad de agua que aún permanece en las capas del vertedero, los datos son presentados como la altura (cm) de la capa de agua y en términos de volumen/volumen, lo que representa el porcentaje de agua contenido en cada una de las capas.

Para el escenario número uno la capa número 1 hace referencia a la capa de material de cobertura, la segunda representa a la capa de residuos sólidos de Rumiñahui y finalmente la capa número 3 es la geomembrana. Por otro lado en el escenario número dos, la capa número 1, 2 y 4 representan a las mismas capas que en el escenario 1, la diferencia es la capa 3, la cual se refiere a la capa de residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito. En promedio el agua que se queda almacenada con potencial capacidad de transformarse en lixiviado y continuar saliendo durante los siguientes años es de un 3% correspondiente a la fracción de residuos provenientes del cantón Rumiñahui.

Los resultados indican que las variables principales y que más influencia tienen en la generación de lixiviados son las condiciones climáticas, la compactación de residuos y las características del suelo usado como material de cobertura. La cantidad de residuos sólidos influye en la retención de la humedad, retención del agua incluso después de un cierre técnico del vertedero.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Del total de lixiviados, aproximadamente un 6% corresponde al aporte del cantón Rumiñahui con sus residuos sólidos urbanos. Con el modelamiento del sistema del vertedero del DMQ en el programa *HELP*, se obtuvieron datos acercados a

la realidad, comparados con el método suizo para la estimación de lixiviados y también a los informes disponibles de estadísticas de operación de la EMGIRS-EP con respecto a al manejo, almacenamiento y tratamiento de los mismos.

Se estudiaron las diferentes variables que tienen influencia en la generación de lixiviados en el relleno del DMQ, se determinó que factores climáticos como la precipitación, características físicas y químicas del suelo utilizado como material de cobertura y la calidad de la compactación de las capas de residuos sólidos en la disposición de estos dentro del vertedero, son parámetros que actúan tanto en el porcentaje de lixiviados drenados durante la operación y funcionamiento del relleno, como en el porcentaje de lixiviados que se quedan almacenados en el cierre técnico del mismo, también afectan a la calidad del líquido drenado proveniente de las capas dispuestas, lo que resulta de suma importancia para la estimación de costos, vías de tratamiento de los lixiviados, etc.

Se logró estimar la generación de lixiviados producto de los residuos sólidos urbanos del cantón Rumiñahui, que resulta ser pequeña en comparación de la generación de lixiviados del Distrito Metropolitano, pero sin llegar a ser un valor despreciable. El porcentaje del aporte de lixiviados por parte de los residuos del cantón al relleno del DMQ es de 6% y en cuanto al almacenamiento de agua que se encuentra en las capas, el cual drenará como lixiviado a futuro, y seguirá drenándose con el pasar del tiempo, es del 3%.

## **5.2. Recomendaciones**

La principal limitante en el estudio fue la construcción de los datos de entrada, la obtención de la información y parámetros. Para el fin investigativo se recomienda el uso de datos certificados por las instituciones que los emiten. De igual forma para la comparación de resultados y su análisis es necesario tener datos bases

los mismos que deberían ser entregados por instituciones y organizaciones públicas por tratarse de información pública a la cual se supondría toda la población tiene acceso. Se recomienda comenzar con el proceso de solicitud de información a dichas instituciones para así obtener datos exactos, para que el modelamiento sea 100% efectivo y cumpla sus objetivos.



## 6. REFERENCIAS

- Aguinaga, S. (1996). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES.
- Altabella, E., Mendoza, C., Francisco, J., Izquierdo, G., & Alberola, C. (2015). METHODOLOGY TO ESTIMATE THE LEACHATE FLOW IN CONTROLLED. July, 15–17.
- Altmann, J., Beirute, T., & Aravena, F. R. (2008). La Problemática De Los Residuos Sólidos Urbanos En América Latina Y El Caribe. REDISA, 36–47. Retrieved from [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9C18EFC338681F1C05257EF2005E8318/\\$FILE/la\\_problematika\\_de\\_los\\_residuos\\_solidos\\_urbanos\\_a\\_merica\\_latina.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9C18EFC338681F1C05257EF2005E8318/$FILE/la_problematika_de_los_residuos_solidos_urbanos_a_merica_latina.pdf)
- André, F. J., & Cerdá, E. (2009). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos*, 1(1), 21. <https://doi.org/10.1002/dac.2753>
- Arrechea, A., Lopez, M., Espinosa, M., & González, O. (2015). Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXVI(2), 3–16. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382015000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000200001)
- Bach, K., Schawe, M., Beck, S., Gerold, G., & Moraes R., M. (2003). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Ecología En Bolivia*, 38(1), 3–14.
- BDE. (2018). PUERTO QUITO APUESTA A UN AMBIENTE SALUDABLE PARA SUS HABITANTES. Obtenido de <https://bde.fin.ec/puerto-quito-apuesta-a-un-ambiente-saludable-para-sus-habitantes/>

Bernache, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. *Ciesas*, 1, 97–105.

BID. (2010). DIVISIÓN VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO. Obtenido de

<https://www.iadb.org/es/desarrollo-urbano-y-vivienda/vivienda-y-desarrollo-urbano>

Borzacconi, L., López, I., & Anido, C. (2013). Metodología para la estimación de la producción y concentración de lixiviado de un Relleno Sanitario. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 4. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

CENTROCESAL. (2018). Agua descartada del relleno sanitario occidental No1. Gestión de Comunicación. (2017). Pichincha Gobierno Provincial. Obtenido de <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/puerto-quito>

ClimateData. (s.f). Sangolquí Clima. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/sangolqui-30838/>

De La Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, Á., & Martínez, J. (2007). Use of leaf area index and ground cover to estimate intercepted radiation in potato. *Agricultura Técnica*, 67(1), 78–85. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072007000100010>

Departamento de Medio Ambiente Gobierno Vasco. (2015). Documento Guía Para La Realización De Balances Hídricos En Vertederos. 201. [http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/balances\\_hidricos\\_vertederos/es\\_def/adjuntos/guia\\_balances\\_hidricos\\_vertederos.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/balances_hidricos_vertederos/es_def/adjuntos/guia_balances_hidricos_vertederos.pdf)

Díaz, A. (2015). Simulación de los cubetos 8 y 9 del Rellenos Sanitario Q del DMQ, usando el modelo computacional CorenostósV3. *Nhk技研*, 151, 10–17. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>

EMGIRS. (s.f). Relleno Sanitario del DMQ. Obtenido de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentools-slideshow>

GobiernoMunicipalRumiñahui. (s.f). Obtenido de <http://www.ruminahui.gob.ec/rumi3/#aboutus>

EMGIRS-EP. (n.d.). *Ficha técnica Servicio ET Norte y Relleno Sanitario (1)*.

Estado Plurinacional de Bolivia. (2010). Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios. 1–62.

Fernández, R. (2006). Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curvas y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido. <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/2723>

Girón, S. L., Mateus, J. C., & Méndez, F. (2009). Impacto de un botadero a cielo abierto en el desarrollo de síntomas respiratorios y en costos familiares de atención en salud de niños entre 1 y 5 años en Cali, Colombia. *Biomédica*, 29(3), 392–402. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v29i3.11>

González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., & Chávez-Ramírez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca allá del río Nazas. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 3(1), 21–32.

IMG. (2011). PROCEDIMIENTO PARA INSTALACION DE GEOMEMBRANA HDPE.

INEC. (2001). CANTÓN RUMIÑAHUI: POBLACIÓN. Instituto Nacional de Estadística y Censos, 1.1, 3–6.

INEC. (2010). Censos de Población y Vivienda 2010. In Quito, Ecuador. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.8>

INEC. (2010). Población y Demografía. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

Israde Alcántara, I., Buenrostro Delgado, O., Garduño Monroy, V. H., Hernández Madrigal, V. M., & López Granados, E. (2009). Problemática geológico-ambiental de los tiraderos de la Cuenca de Cuitzeo, norte del estado de

Michoacán. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 61(2), 203–211.  
<https://doi.org/10.18268/bsgm2008v60n2a5>

José Ulloa, 2005. (2006). LOS RELLENOS SANITARIOS.

MAE, MIDUVI, & MNP. (2002). ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS ECUADOR. 275. Retrieved from <http://www.cepis.ops-oms.org/residuos>

Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458.  
<https://doi.org/10.4136/1980-993X>

Ministerio de Ambiente. (2015). Tulsma. Decreto Ejecutivo 3516, 1–184.

Ministerio de Ambiente. (2017). Código Orgánico Del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983, 1–92.

Ministerio de Ambiente. (2019). Reglamento Al Código Orgánico Del Ambiente (Rcoa). 752, 1–192. <http://bch.cbd.int/database/attachment/?id=19823>

Ministerio de Ambiente Perú. (2018). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales.

Ministerio de Salud Pública. (2006). Reglamento para el manejo de los desechos sólidos. 1–25.

Montoya, C. (2015). Análisis De Variabilidad Climática De Precipitación, Temperatura, Radiación Solar Y Nubosidad Y Su Incidencia En Los Caudales. 1–33.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2019). Código Municipal Para Distrito Metropolitano. Libro 1, 1–1143.

Novelo, R. M., Borges, E. C., Rosa, M., Riancho, S., & Franco, C. Q. (2004). Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 8(2), 155–163.

NREL. (2018). Geospatial Data Science. Obtenido de <https://www.nrel.gov/gis/data-tools.html>

Organización Panamericana de la Salud. (2004). Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos. Ministerio de Salud DIGESA, 98. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1650.pdf>

Raúl Castañeda. (2015). Construcción de un relleno sanitario.

Reinhart, D. R., & Al-Yousfi, A. B. (1996). The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. *Waste Management and Research*, 14(4), 337–346. <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0035>

Röben, E. (2002). Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. 1–151.

Romero Batallán, C. A. (2010). Aprovechamiento Integral De Lixiviados. 1–742.

Schosinsky, G. (2006). *Revista geológica de América Central*. *Revista Geológica de América Central*, 34–35. <http://www.redalyc.org/html/454/45437342002/>

Schroeder, P. R., Dozier, T. S., Zappi, P. A., Mcenroe, B. M., Sjostrom, J. W., & Peyton, R. L. (1994). The hydrologic evaluation of landfill performance (Help) model. 104.

SecretariadeAmbiente. (s.f). Residuos Sólidos. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/residuos-solidos/deposito-final>

Solíz, M. (2011). Análisis del impacto en salud ocasionado por basurales en Ecuador. Informe 1: botadero a cielo abierto del cantón Lago Agrio. Universidad Andina Simón Bolívar, 51. Retrieved from <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/4971/1/Soliz%2CF-CON032-AnalisisLagoAgrio.pdf>

- Teófilo, A. (2001). Evaluación Geológico-Ambiental En La Determinación De La Factibilidad De Un Área Para Relleno Sanitario. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 4(7), 52–62. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v4i7.2566>
- TheWorldBank. (2017). Population, total. Obtenido de <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=EC>
- Torres, E. (2013). *Métodos Estadísticos para la investigación experimental*.
- USDA. (s.f). Natural Resources Conservation Service. Obtenido de <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>
- Vilatuña, E., Villalba, F., & Buenaño, X. (2016). Ventajas del manejo integral de los residuos sólidos en el Cantón Rumiñahui. *Revista de Ciencias de La Tierra y de La Construcción*. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6348/1/AC.SGA-ESPE-047051.pdf>
- Yalçın, F., & Demirer, G. N. (2002). Performance evaluation of landfills with the *HELP* (hydrologic evaluation of landfill performance) model: Izmit case study. *Environmental Geology*, 42(7), 793–799. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0582-3>
- Zapata Muñoz, Andrés Felipe; Zapata Sánchez, C. E. (2013). *Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios*.

## **ANEXOS**

Wind Speed m/s	Precipitable Water cm	Precipitable Water mm	Relative Humidity %	Temperature C
2.64	2.14	21.00	58.14	11.80
2.23	2.25	22.54	61.70	11.00
2.45	2.30	23.00	61.47	11.71
2.78	2.21	22.00	60.65	11.60
2.32	2.20	22.02	61.42	11.20
3.23	1.80	18.58	69.30	9.52
3.65	1.74	17.00	69.13	9.67
3.15	1.97	19.60	68.05	10.07
3.05	1.89	18.87	65.95	10.00
2.90	2.01	20.20	67.31	11.00
1.90	2.07	20.60	67.93	11.27
2.23	2.12	21.17	69.07	11.47
2.25	2.10	21.00	69.75	11.28
2.21	2.12	21.65	71.23	11.41
2.07	2.24	22.39	69.72	11.41
2.95	2.21	22.12	69.05	11.61
2.32	2.20	22.25	70.31	11.51
3.41	1.95	19.58	69.25	10.45
3.75	1.70	17.59	67.72	10.12
3.31	1.81	18.01	66.05	9.80
2.95	1.88	18.75	65.42	10.89
2.48	2.09	20.87	67.95	10.99
1.90	2.12	21.60	69.01	11.26
2.21	2.15	21.60	69.10	11.35
2.82	2.02	20.18	69.81	11.18
2.45	2.08	20.85	70.01	11.42
2.31	2.20	22.00	71.20	11.50
2.98	2.22	22.23	61.00	11.17
2.85	2.20	22.00	61.65	11.26
3.90	1.90	19.00	60.50	10.70
3.35	1.91	19.08	69.22	10.26
3.00	1.87	18.67	67.31	10.02
3.14	1.81	18.15	65.20	10.20
2.59	2.12	21.19	67.30	11.60
2.12	2.25	22.52	69.55	11.87
2.96	2.05	20.60	68.65	11.65
1.95	2.29	22.80	69.91	12.26
2.85	2.27	22.73	69.34	12.42
2.55	2.21	22.00	68.00	12.55
2.60	2.07	20.20	61.21	12.20
2.90	2.20	22.02	69.91	11.61
1.81	1.95	19.60	70.31	9.85
3.00	1.92	19.20	69.25	9.87
3.33	1.70	17.56	66.15	10.32
2.85	1.99	19.85	67.05	10.64
1.95	2.01	20.10	67.25	11.41
1.95	2.09	20.90	68.05	11.89
1.80	2.18	21.75	69.21	11.33
2.01	2.19	21.90	71.67	10.50
1.74	2.15	21.60	69.90	11.31
1.70	2.33	23.34	62.65	11.23
2.30	2.21	22.66	71.65	11.31
2.32	2.20	22.02	52.01	11.20
2.71	2.07	20.69	61.45	10.66
3.57	1.80	18.00	69.50	9.90
2.95	1.85	18.50	68.50	10.41
2.87	1.94	19.35	67.58	10.55
2.62	2.11	21.12	69.12	11.45
1.85	2.15	21.50	69.12	11.40
2.05	2.12	21.22	69.84	11.42
1.98	2.24	22.42	63.57	12.85
1.91	2.05	20.60	69.60	11.66
2.38	2.31	23.15	64.19	13.07
2.00	2.42	24.23	64.21	13.14
2.21	2.01	20.20	69.60	11.71
2.94	2.09	20.95	62.22	12.25
2.97	1.98	19.70	61.11	12.20
3.21	1.81	18.00	71.25	11.22
2.67	2.01	20.00	70.60	12.72
1.89	2.25	22.48	69.60	13.07
1.71	2.50	25.70	63.31	14.00
2.35	2.25	22.52	69.25	11.70

Anexo 1. Datos climatológicos ingresados al modelo.



Año	mes	DMQ	Residuos totales	% residuos		
1	2013	Jan-13	51761.43	6208.21	54401.94	5.58
2	2013	Feb-13	47945.01	2661.10	48175.87	5.75
3	2013	Mar-13	52061.80	2967.44	50029.74	5.38
4	2013	Abr-13	53968.43	2988.52	50952.04	5.48
5	2013	May-13	52011.19	3209.88	48516.62	5.78
6	2013	Jun-13	51435.48	2917.57	54057.07	5.77
7	2013	Jul-13	51815.71	2925.30	54739.81	5.91
8	2013	Aug-13	50629.12	2747.55	53375.78	5.11
9	2013	Sep-13	48270.77	2758.49	51030.09	5.41
10	2013	Oct-13	51202.17	2739.41	54000.90	5.21
11	2013	Nov-13	51594.80	3093.58	54194.78	5.72
12	2013	Dec-13	52991.87	3245.55	50338.87	5.71
13	2014	Jan-14	57438.88	3157.54	50091.58	5.21
14	2014	Feb-14	46448.17	2822.81	52265.92	5.40
15	2014	Mar-14	55014.82	3263.14	58581.38	5.58
16	2014	Abr-14	57968.87	3183.68	61150.51	5.72
17	2014	May-14	55354.04	3331.85	60087.90	5.57
18	2014	Jun-14	53377.51	3087.78	56475.80	5.48
19	2014	Jul-14	54575.43	3201.00	57776.90	5.72
20	2014	Aug-14	50000.00	3063.00	56000.00	5.18
21	2014	Sep-14	53218.80	3192.81	56020.21	5.61
22	2014	Oct-14	52851.14	3275.88	56127.07	5.84
23	2014	Nov-14	57478.08	3478.42	60957.11	5.71
24	2015	Jan-15	55648.12	3182.75	58831.07	5.41
25	2015	Feb-15	49008.88	2921.04	52000.54	5.58
26	2015	Mar-15	57118.80	3177.08	60300.78	5.74
27	2015	Abr-15	50512.48	3360.04	53872.52	5.21
28	2015	May-15	54448.08	3321.34	57770.07	5.55
29	2015	Jun-15	52122.51	3064.50	55084.11	5.44
30	2015	Jul-15	50528.87	3111.10	53640.28	5.54
31	2015	Aug-15	50271.80	3079.21	53351.01	5.71
32	2015	Sep-15	51329.80	2954.78	54284.08	5.44
33	2015	Oct-15	54150.47	3128.88	57279.75	5.40
34	2015	Nov-15	52070.80	3282.81	55353.61	6.01
35	2015	Dec-15	55038.80	3098.74	58127.34	5.71
36	2016	Jan-16	50728.88	3083.14	53812.82	5.30
37	2016	Feb-16	50878.12	3040.88	53919.10	5.54
38	2016	Mar-16	58225.80	3517.44	61743.24	5.71
39	2016	Abr-16	50100.80	3069.10	53170.90	5.21
40	2016	May-16	50967.07	3553.28	54520.35	5.87
41	2016	Jun-16	55201.38	3168.58	58370.30	5.47
42	2016	Jul-16	53871.15	3185.58	57056.84	5.58
43	2016	Aug-16	52170.08	3067.17	55237.20	5.40
44	2016	Sep-16	50611.08	3111.10	53722.17	5.81
45	2016	Oct-16	55610.12	3097.17	58707.40	5.75
46	2016	Nov-16	53271.84	3272.80	56544.60	5.74
47	2016	Dec-16	57485.41	3362.87	60848.78	6.40
48	2017	Jan-17	50512.02	4005.10	54517.12	6.35
49	2017	Feb-17	50000.00	3118.18	53118.18	6.04
50	2017	Mar-17	52313.10	4298.54	56611.64	6.25
51	2017	Abr-17	50102.12	4000.08	54102.21	6.24
52	2017	May-17	54788.04	4377.24	59165.28	6.38
53	2017	Jun-17	52162.53	3995.48	56158.01	6.11
54	2017	Jul-17	51038.07	3781.18	54819.25	6.10
55	2017	Aug-17	50201.51	3769.55	53971.06	6.28
56	2017	Sep-17	50894.85	3670.87	54565.82	6.00
57	2017	Oct-17	54420.08	4041.58	58461.66	6.37
58	2017	Nov-17	57272.05	3695.05	60967.10	6.00
59	2017	Dec-17	52000.00	3122.00	55122.00	6.01
60	2018	Jan-18	54105.87	3792.55	57898.42	5.78
61	2018	Feb-18	52264.48	3312.74	55577.22	5.90
62	2018	Mar-18	52252.05	3797.59	56049.64	5.75
63	2018	Abr-18	50000.00	3079.07	53079.07	5.70
64	2018	May-18	51055.86	4113.71	55169.57	6.24
65	2018	Jun-18	51301.59	3721.13	55022.72	5.72
66	2018	Jul-18	53367.05	3590.00	56957.05	5.80
67	2018	Aug-18	50892.78	3567.01	54459.79	5.89
68	2018	Sep-18	57002.12	3382.71	60384.83	5.97
69	2018	Oct-18	56005.00	3693.50	59698.50	5.78
70	2018	Nov-18	50007.80	3811.75	53819.55	6.14
71	2018	Dec-18	53690.84	4085.75	57776.59	6.14

Anexo 2. Disposición de toneladas de residuos en el relleno del DMQ años 2013-2018.



Anexo 3. Ingreso de información, datos y parámetros al modelo.



Anexo 4. Ingreso de información, datos y parámetros al modelo.



Anexo 5. Ingreso de información, datos y parámetros al modelo.

DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip: 0, Program: WFA1HRK

YEAR	PRECIPITATION (MM)		TEMPERATURE (°C)		SOIL MOISTURE (MM)	
	YEARLY	TOTAL	YEAR	YEAR	YEAR	YEAR
1	2013	247.1	2013	2013	2013	2013
2	2014	248.1	2014	2014	2014	2014
3	2015	247.7	2015	2015	2015	2015
4	2016	254.6	2016	2016	2016	2016
5	2017	251.5	2017	2017	2017	2017
6	2018	260.1	2018	2018	2018	2018

Alt. H-Home Above, Alt. H-Home Below, Alt. C-Copy, Alt. V-Write, Alt. M-Move  
 F1-Info F2-Help F3-Keys F4-Quit F5-Quit F6-Quit F7-Quit F8-Quit F9-Quit F10-Quit F11-Quit F12-Quit

Anexo 6. Ingreso de información, datos y parámetros al modelo.

DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip: 0, Program: DSDCN

LAYER TYPE	THICKNESS (CM)	SOIL TYPE	TOTAL PORE VOL. (ML)	FIELD CAPACITY (ML)	WILTING POINT (ML)	INITIAL MOISTURE (ML)
1	25	I1	.910	.321	.221	0.1
2	217.00	I0	.671	.252	.077	0.4
4	0.15	I7	.750	.797	.460	

Alt. H-Home Above, Alt. H-Home Below, Alt. C-Copy, Alt. V-Delete, Alt. M-Move  
 F1-Info F2-Help F3-Keys F4-Quit F5-Quit F6-Quit F7-Quit F8-Quit F9-Quit F10-Quit F11-Quit F12-Quit

Anexo 7. Ingreso de información, datos y parámetros al modelo.

DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip: 0, Program: DSDCN

SOIL AND DESIGN DATA - RUNOFF CURVE NUMBER IMPROVEMENT

Select Method for Computing Runoff Curve Number:

- User Specified Curve Number
- Modified User's Curve Number
- + **TRC Model-Computed Curve Number**

<b>USER SPECIFIED CN</b> SCS APPLIC CN=	<b>MODIFIED USER'S CN</b> SCS APPLIC CN= Slope= M Slope Length= M	<b>TRC MODEL CN</b> Slope= 1.5 M Slope Length= 701.14 M Soil Texture= I1 Vegetation= 3
--	--	--

Program will use a runoff curve number of 07.2

Cursor (I) and press Enter to select method for computing runoff curve number:  
 F1-Info F2-Help F3-Keys F4-Quit F5-Quit F6-Quit F7-Quit F8-Quit F9-Quit F10-Quit F11-Quit F12-Quit

Anexo 8. Ingreso de información, datos y parámetros al modelo.

PEAK DAILY VALUES FOR YEARS 2013 THROUGH 2018

	(MM)	(CUL. METERS)
PRECIPITATION	268.10	123326.000
RUNOFF	199.104	91587.8200
DRAINAGE COLLECTED FROM LAYER 2	0.00004	4.57202
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 3	0.297619	136.91832
AVERAGE HEAD ON TOP OF LAYER 3	150.058	
MAXIMUM HEAD ON TOP OF LAYER 3	266.733	
LOCATION OF MAXIMUM HEAD IN LAYER 2 (DISTANCE FROM DRAIN)	43.4 METERS	
SNOW WATER	0.00	0.0000

Anexo 9.Resultados del primer escenario modelado en *HELP*.

FINAL WATER STORAGE AT END OF YEAR 2018

LAYER	(CM)	(VOL/VOL)
1	10.9808	0.3137
2	64.0050	0.2000
3	0.0000	0.0000
SNOW WATER	0.000	

Anexo 10.Resultados del primer escenario modelado en *HELP*.

DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip: 0, Program: LIST

LIST 473 06-29-08 23:10 \* C:\NECRA.OUT

PEAK DAILY VALUES FOR YEARS 2010 THROUGH 2010

	(CM)	(CU. METERS)
PRECIPITATION	268.10	123326.000
RUNOFF	199.105	91588.4766
DRAINAGE COLLECTED FROM LAYER 2	0.00004	0.01996
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 4	4.775201	2196.62012
AVERAGE HEAD ON TOP OF LAYER 3	1.313	
MAXIMUM HEAD ON TOP OF LAYER 3	1.237	
LOCATION OF MAXIMUM HEAD IN LAYER 2 (DISTANCE FROM DRAIN)	21.7 METERS	
SNOW WATER	0.00	0.0000

Command> Options: h8kMpsWtAl Keys: X=exit, ?=Help

Anexo 11. Resultados del segundo escenario modelado en *HELP*.

DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip: 0, Program: LIST

LIST 515 06-29-08 23:10 \* C:\NECRA.OUT

FINAL WATER STORAGE AT END OF YEAR 2010

LOYER	(CM)	(CU. METERS)
1	10.9808	0.3137
2	63.3728	0.2920
3	2409.2925	0.6710
4	0.0000	0.0000
SNOW WATER	0.000	

Command> \*\*\* End-of-file \*\*\* Options: h8kMpsWtAl Keys: X=exit, ?=Help

Anexo 11. Resultados del segundo escenario modelado en *HELP*.

