

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales

Área de Ingeniería Ambiental

**Trabajo de fin de Carrera previo a la obtención del Título de Ingeniero
Ambiental**

**Simulación de los cubetos 8 y 9 del Rellenos Sanitario Q del DMQ,
usando el modelo computacional CorenostósV3**

Autora:

Alejandra Díaz

Director:

Ms.C Alonso Moreta

Quito-Ecuador

2015

Con cariño a mis padres y abuelos

ÍNDICE

Resumen	7
Abstract	8
Capítulo 1	9
Introducción	9
Capítulo 2	23
Marco Conceptual.....	23
Capítulo 3	39
Marco Metodológico.....	39
Capítulo 4	48
Resultados	48
Capítulo 5	80
Conclusiones	80
Recomendaciones	82
Bibliografía	85
Anexo 1	88
Resultados de la Proyección para el Cubeto 8 según el Programa Corenostós V3 ...	88
Anexo 2	94
Resultados de la Proyección para el Cubeto 8 según el Programa Corenostós V3 ...	94
Anexo 3	100
Potencial Eléctrico Neto de los datos mensuales obtenidos para la proyección del Cubeto 8.....	100
Anexo 4	106
Cálculo del Valor Actualizado.....	106

Índice de Imágenes, gráficas y tablas

Lista de Fotografías

Fotografía 1: Entrada al Relleno Sanitario Q.	12
Fotografía 2: Panorámica del Cubeto 6, 7 y 8 del Relleno Sanitario Q.	16
Fotografía 3: Panorámica del Cubeto 7 y 8 del Relleno Sanitario Q.	21
Fotografía 4: Panorámica de la piscina 9 de captación de lixiviados, al pie de los cubetos activos 6, 7 y 8 del Relleno Sanitario Q.	69
Fotografía 5: Planta de tratamiento de lixiviados VSEP del Relleno Sanitario Q.	70
Fotografía 6: Piscinas 14 y 15 de aspersión del Relleno Sanitario Q.....	71
Fotografía 7: Tratamiento de Fito-depuración del Relleno Sanitario Q.....	72

Lista de Diagramas

Diagrama 1: Reestructuración Institucional para el año 2009.....	13
Diagrama 2: Reestructuración Institucional para el año 2015.....	15

Lista de Mapas

Mapa 1: Infraestructura EMGIRS-EP, 2015	19
Mapa 2: Estación de Transferencia Norte EMGIRS-EP, 2015	19
Mapa 3: Estación de Transferencia Sur EMGIRS-EP, 2015.....	20
Mapa 4: Relleno Sanitario Q EMGIRS-EP, 2015	22

Lista de Imágenes

Imagen 1: Mapa estructural simplificado del Ecuador con énfasis en la zona del acuífero de investigación Pifo-El Quinche (La Tola).....	25
Imagen 2: Correlación estratigráfica entre las columnas levantadas para el acuífero de investigación Pifo-El Quinche (La Tola).....	26
Imagen 3: Modelo geológico conceptual.....	29
Imagen 4: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3.....	46
Imagen 5: Hoja de cálculo Mensual del Modelo computacional Corenostós V3.	47
Imagen 6: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Características de los RSU dispuestos en el R.S-Q.	49
Imagen 7: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Elementos según las características de los RSU dispuestos en el R.S-Q.	50
Imagen 8: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Humedad RSU dispuestos en el R.S-Q.	52
Imagen 9: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Elementos disponibles según RSU dispuestos en el R.S-Q.	54
Imagen 10: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Datos adicionales del lugar.	58
Imagen 11: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- descomposición de los RSU dispuestos en el R.S-Q.....	60
Imagen 12: Hoja de cálculo Mensual del Modelo computacional Corenostós V3- Elementos disponibles según RSU del DMQ.....	61

Lista de Tablas

Tabla 1: Coordenadas UTM, Relleno Sanitario Q	20
Tabla 2: Componentes CEPIS-OPS-OMS	40
Tabla 3: Composición ingresada en el Programa Corenostós V3.	49
Tabla 4: Porcentaje de Humedad Promedio de los RSU dispuestos en el R.S-Q	53
Tabla 4.1: Porcentaje de Humedad Promedio de los RSU dispuestos en el R.S-Q	53
Tabla 5: Elementos disponibles para la biodegradación de RSU dispuestos en R.S-Q.	55
Tabla 6: Datos Adicionales del lugar en el programa Corenostós V3.....	59
Tabla 7: Datos Temporales para el programa Corenostós V3.....	60

Tabla 8: Resumen de resultados de Predicción del Cubeto 8 del R.S-Q.....	65
Tabla 9: Resumen de resultados de Predicción del Cubeto 9 del R.S-Q.....	67
Tabla 10: Potencial energético y potencial eléctrico neto anual del volumen de biogás proyectado para el cubeto 8 del R.S-Q al 100% y 80% de captación.	75
Tabla 11: Precio preferencial de pago para generación de electricidad con Energías Renovables	76
Tabla 12: Costos para construcción de una central de generación eléctrica mediante el uso de biogás en el Relleno Sanitario Q	77

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Componentes de RSU del Distrito Metropolitano de Quito	49
Gráfico 2: Cantidad de elementos presentes en los Putrescibles dispuestos en el R.S-Q.	50
Gráfico 3: Cantidad de elementos presentes en el papel y cartón dispuestos en el R.S-Q.	51
Gráfico 4: Cantidad de elementos presentes en los textiles dispuestos en el R.S-Q.	51
Gráfico 5: Cantidad de elementos presentes en material de jardinería u otros dispuestos en el R.S-Q.	52
Gráfico 6: Total de H ₂ O de los RSU dispuestos en el R.S-Q.....	54
Gráfico 7: Elementos disponibles en Putrescibles de los RSU dispuestos en el R.S-Q.	55
Gráfico 8: Elementos disponibles en Papel y Cartón de los RSU dispuestos en el R.S-Q.	56
Gráfico 9: Elementos disponibles en Textiles de los RSU dispuestos en el R.S-Q.	56
Gráfico 10: Elementos disponibles en el material de Jardinería de los RSU dispuestos en el R.S-Q	57
Gráfico 11: Elementos disponibles en los RSU dispuestos en el R.S-Q.	58
Gráfico 12: Composición de Gases Producidos de los RSU dispuestos en el R.S-Q. ...	61
Gráfico 13: Promedio de Basura Dispuesta en el R.S-Q.....	62
Gráfico 14: Comparación de RSU dispuestos en el R.S-Q de los años 2013-2015.	63
Gráfico 15: Datos de Precipitación promedio de RSU dispuestos en el R.S-Q de los últimos 25 años.....	63
Gráfico 16: Datos de Evaporación Potencial promedio de RSU dispuestos en el R.S-Q de los últimos 25 años	63
Gráfico 17: Predicción de generación de Lixiviados para el Cubeto 8 (2014-2030) del R.S-Q.....	64
Gráfico 18: Predicción de emisión de gases para el Cubeto 8 (2014-2030) del R.S-Q.	65
Gráfico 19: Predicción de generación de Lixiviados para el Cubeto 9 (2016-2033) del R.S-Q.....	66
Gráfico 20: Predicción de emisión de gases para el Cubeto 9 (2016-2033) del R.S-Q.	67
Gráfico 21: Predicción producción de MWh para el Cubeto 8 (2014-2029) del R.S-Q.	78

Resumen

En la actualidad el Ecuador se ha focalizado en métodos empíricos para el diseño de los escasos rellenos sanitarios que posee. El presente trabajo tiene como objetivo la simulación y predicción de la generación de gas y lixiviados de los cubetos 8 y 9 del Relleno Sanitario de Quito ubicado en el sector de “El Inga Bajo”, este pronóstico se realiza mediante el uso del modelo computacional Corenostós V3 adaptado para Latinoamérica, el programa necesita la recolección de datos meteorológicos, características del lugar, características físico-químicas de los desechos y cantidad de los desechos dispuestos en el relleno sanitario, para el balance hídrico que presenta.

Además se expone la aplicación del modelo computacional para el diseño analítico de un relleno sanitario como una solución para un buen futuro en la gestión de residuos sólidos urbanos en Quito e incluso a nivel nacional.

Palabra clave: Simulación, Corenostós V3, Relleno Sanitario, Gas, Lixiviados

Abstract

Nowadays, Ecuador is focused on empiric methods to design its landfills. The present article has simulated, predicted gas and leachate of cubeto (part of landfill) 8 and 9 of Quito's landfill, located in "El Inga Bajo". This simulation has been developed by the use of computational model *Corenostós V3*, adapted to Latin America. The program required meteorological data, location characteristic, physical and chemistry waste characteristics and quantity of waste disposed at landfill, for the hidric balance that the program presents.

A computational application model for analytical design of lanfills is exposed, as a solution in a nearby future for solid waste management in Quito, and even in all Ecuador.

Keywords: Simulation, Corenostós V3, Landfill, Gas, Leachate.

Capítulo 1

Introducción

En el pasado los residuos sólidos generados únicamente eran biodegradables, *después de la revolución industrial se incorporaron nuevos tipos de desechos* (Dávila, 2013). El cambio de hábitos de consumo del hombre, fue el hecho que desató la aparición de *desechos tales como tejidos, metales, papel, plásticos, entre otros* (Collazos, 2001). El modernismo nos trae mucha basura situándonos en la era de los desechables, en donde las industrias ya no crean productos perdurables, sino se esmeran por crear productos con tiempos de vida muy cortos, aumentando su producción, ganancia y motivando a su mercado con marketing perverso, *“trucos” psicológicos para llamar la atención sobre sus productos y ganarse su confianza* (Gale, 1985 citado en Vallejo, 2012).

Ante este problema el hombre ha ensayado diferentes métodos para resolverlo. El hombre ha alejado de él la basura lo que más ha podido, siguiendo al pie de la letra el consejo de los griegos que dice *“Aleja de ti la basura o enfermarás”* creando así, los botaderos (Collazos, 2001:6).

Los rellenos sanitarios son una de las medidas técnicas que el hombre ha desarrollado como tratamiento de los desechos generados, sin embargo el solo alejar la basura y no observar el trasfondo de lo que realmente sucede con ella, genera nuestro bien llamado *“síndrome de comodidad”*. Guiarse por la rutina de fácil eliminación de residuos y no conocer el verdadero lío en el que se ve envuelta la naturaleza, para degradar los desechos que en la actualidad se generan desvergonzadamente. Por otra parte la comodidad de tirar todas las cosas en el mismo contenedor de basura, porque está más cerca, y en el caso de Quito, porque no en todas las casas y sitios públicos encuentras contenedores diferenciados. Se debe conseguir una gran labor de educación socio-ambiental para que los ciudadanos comprendan que hay que reciclar y cómo hacerlo.

El incremento poblacional del Distrito Metropolitano de Quito ha dado como resultado una alta generación de residuos sólidos por causa del consumo de bienes y servicios, convirtiéndose en un problema crítico para la municipalidad (Fonseca Naranjo, 2005).

La ingeniería propone algunas soluciones en respuesta a los problemas de la disposición final de los residuos, *pero estas han sido para períodos históricos cortos (Collazos, 2001: 21).*

El método del relleno sanitario, como una forma de destino final y seguro a los desechos, es una de las soluciones más estudiadas. En la actualidad se han desarrollado métodos analíticos de diseño de rellenos sanitarios con una predicción más certera para obtener calidad y confianza en la gestión de residuos sólidos. El presente trabajo se simula mediante la hoja de cálculo del modelo V3 Corenostós (Corema que significa “lo que se recoge al barrer” (basura) y Nostós “relleno”) a los cubetos 8 y 9 del relleno sanitario de Quito, basado en el modelo computacional HELP. Programa que necesita la recolección de datos meteorológicos para generar un balance hídrico del relleno, sistemas de cobertura y facilidades para la disposición de residuos sólidos (Noguera, 2007).

En Ecuador el 70% de los municipios no cuentan con rellenos sanitarios, persistiendo aún una inadecuada disposición final de residuos sólidos que causan fuertes impactos tanto en la salud de los habitantes como en el ambiente y únicamente el 30% dispone su basura generada en buenas condiciones (MIDUVI, 2009 citado en Solíz, 2011). Una de las políticas del actual gobierno a través del Ministerio del Ambiente es asesorar a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) a implementar rellenos sanitarios técnicamente operados, además es competencia de cada GAD el tratamiento de los desechos sólidos y su disposición final (Acosta, 2005 citado en Romero, 2014).

El 30% nombrado con anterioridad, se sitúa en las ciudades de Cuenca, Azogues, Loja, Guayaquil, Quito, Ibarra y Esmeraldas. Aunque hasta la actualidad no existe ningún

vertedero a cielo abierto que haya tenido un proceso de cierre técnico (MIDUVI, 2009 citado en Solíz, 2011).

El manejo de los Residuos Sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito es la fiel imagen de la instauración del modelo neoliberal en Ecuador, proceso que ha dejado un legado *de pasivos ambientales, desvinculación o duplicidad de responsabilidades* (Solíz, 2011). Al igual que en otros países, Quito consideró que la solución era crear un organismo que se responsabilizara del problema del manejo de la basura. Entonces se creó la empresa Metropolitana de Aseo EMASEO *el 29 de diciembre de 1993 integrada al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito* (Solíz, 2011), con la finalidad de cumplir los procesos de recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos que se generaban en la ciudad, tomando como base que una ciudad con el crecimiento poblacional que posee Quito necesita una entidad especializada.

En el 2000 la situación de tratamiento y disposición de los residuos sólidos como la de EMASEO eran críticas, lo que demandó un cambio en el sistema de recolección y una reestructuración institucional. Para el 2001 se creó la Corporación de salud Ambiental de Quito como una persona jurídica de derecho privado, con finalidad social, sin fines de lucro, *encargada de la administrar los recursos que asignan los contribuyentes del impuesto a la renta, hasta en un 25% del pago de su impuesto, al igual de otros fondos obtenidos, con la finalidad de ejecutar proyectos ambientales a favor del Distrito Metropolitano de Quito* (Vida para Quito, 2015).



Fotografía 1: Entrada al Relleno Sanitario Q.

Fuente: Alejandra Díaz

En noviembre del 2002, la municipalidad, la Corporación de Salud Ambiental de Quito, Fundación Natura y Natura Inc. firmaron el contrato de construcción, operación y manejo de relleno sanitario de Quito y transporte de los desechos sólidos desde la estación de Transferencia hasta el relleno sanitario de Quito. Más tarde en diciembre y con el cierre parcial del botadero de Zámbriza en el sector *de Poroto Huayco*, inicia el proyecto de Relleno Sanitario en el Inga Bajo, el cual poseía el nombre de Inga I, manejado hasta el año 2005 por la Corporación de Construcciones y Servicios (CORPCYS citado en I&G, 2007). Este relleno contenía 4 cubetos y su operación fue entre enero 2003 a mayo del 2007. Luego se levantó el proyecto El Inga II, el cual contenía 2 cubetos y su operación fue entre junio del 2007 hasta su cierre operativo en septiembre del 2012.

Finalmente para el 2009 la recolección, transporte, tratamiento y disposición de residuos estuvo concesionada a varias empresas privadas quienes a su vez han establecido

subcontrataciones. Como se puede observar en el diagrama 1, La Empresa Pública Metropolitana de Aseo del DMQ se encargó de la recolección en la zona norte y 33 parroquias del DMQ, mientras que para la zona Centro se encargaba la empresa privada Quito Limpio, Fundación Natura y Natura Inc., quienes se encargaron de la gestión de Residuos Hospitalarios Peligrosos, operación del Relleno Sanitario y administración de la Estación de Transferencia; a su vez subcontrataron a las entidades privadas GAS GREEN e INTERASEO para el manejo de lixiviados y disposición final respectivamente.

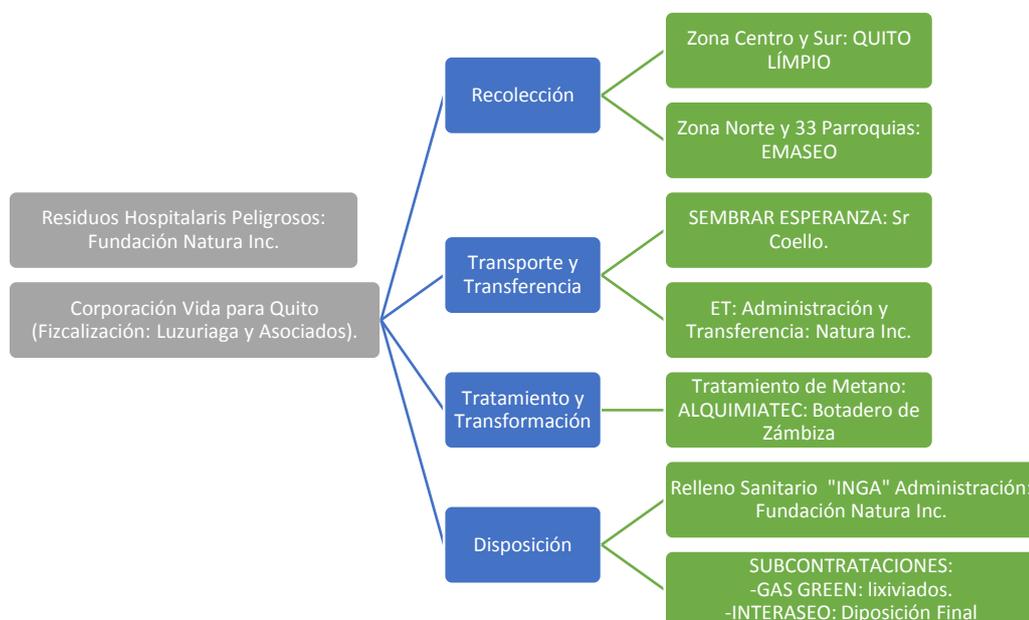


Diagrama 1: Reestructuración Institucional para el año 2009

Fuente: Solíz, 2011

En el 2010 se creó la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos- EMGIRS EP quien asumió hasta la actualidad el manejo técnico de la disposición de los residuos sólidos urbanos, de manera que no causen peligro para la salud, es decir se adjudica la operación de las Estaciones de Transferencia y del Relleno Sanitario (se incluye el tratamiento de las piscinas de lixiviados), para lo único que la empresa EMGIRS EP realiza negociaciones con empresas privadas, es con las empresas

AV CORP y Asociación “Vida Nueva” para el transporte de residuos Hospitalarios Peligrosos y la separación o recuperación de desechos sólidos urbanos respectivamente, la reestructuración institucional para el año 2015 se puede observar en el diagrama 2.

Al momento funciona el Relleno Sanitario El Inga III, el cual contiene 2 cubetos e inició su operación en octubre del 2012, adicional en noviembre del 2013 se construyó un cubeto de interconexión que entró en funcionamiento en marzo del 2014, para continuar la operación mientras se realizan estudios para la construcción y operación del próximo cubeto. La metodología operativa utilizada para el Relleno Sanitario de Quito contempla la construcción excavación de un espacio tecnificado “Cubeto” para la disposición final de los residuos sólidos, recubierto con una geomembrana (plástico de alta resistencia HDPE de 1,00 a 1,50 mm de espesor e impermeable) la cual previene de la contaminación de agua subterránea y suelo natural de la filtración de líquidos y biogás.

Según (EMGIRS EP, 2015), los cubetos son diseñados técnicamente mediante la consideración de las variables de manejo de aguas subterráneas, características geológicas y geotécnicas del suelo, la facilidad de la operación, el manejo de lixiviados y la extracción de biogás.

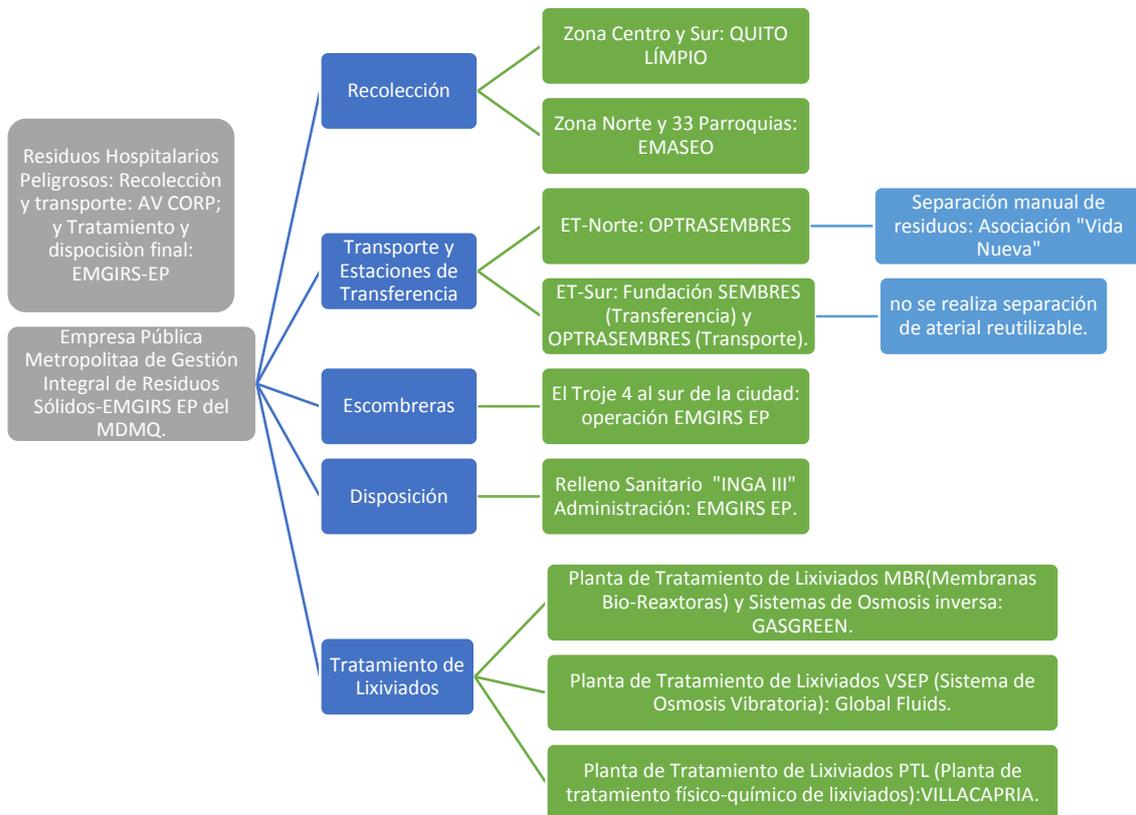


Diagrama 2: Reestructuración Institucional para el año 2015

Elaborado: Alejandra Díaz

Fuente: EMGIRS EP, 2015

Además EMGIRS EP, para optimizar su proceso de disposición final y confinamiento de desechos urbanos no peligrosos en un área reducida, ha creado una serie de fases de operación, las cuales van desde el control de ingreso hasta la conformación y cobertura final de una terraza. El primer paso control de ingreso se refiere a la cantidad y calidad de residuos sólidos que ingresarán al relleno, seguido por la preparación del sitio de disposición en donde se realizan los trabajos necesarios para preparar el área o de la celda diaria en donde se ubicaran los residuos dentro del cubeto, esta operación incluye remoción de la capa superficial de tierra de cobertura, para de esa manera juntar la capa de residuos anterior con la que se ha generado ese día.

La tercera fase es el tendido y acondicionamiento, la cual no es más que la disposición homogénea de los residuos en capas, mediante herramientas mecánicas (maquinaria pesada). Se prosigue con la fase de cobertura y conformación final de la celda diaria, la cual consiste, en cubrir con una capa de 35-40 centímetros con el terreno antes removido en la conformación del cubeto, usándolo como material de cobertura de la basura antes dispuesta con ayuda del tractor y la retroexcavadora. Finalmente la conformación de la terraza, lo cual significa construir escalones a modo de pirámide de 2 o más niveles de una serie de celdas diarias, generando una altura total de aproximadamente 5 m, dependiendo de la pendiente, ancho y longitud especificados en los planos de las terrazas.



Fotografía 2: Panorámica del Cubeto 6, 7 y 8 del Relleno Sanitario Q.

Fuente: Alejandra Díaz

En la actualidad el DMQ es una ciudad que acoge a miles de turistas y crece en un 2, 18 % (INEC, 2015), los diseños de rellenos sanitarios en el DMQ son empíricos y Quito se muestra en la necesidad de la implementación de diseños analíticos con una predicción más certera para obtener calidad y confianza en la gestión de residuos sólidos. Tal como se establece en el Plan de Desarrollo 2012 a 2022, el Distrito reconoce la vocación productiva, materializada en oportunidades de desarrollo, en donde se aprovechen el espíritu emprendedor y el talento humano de la población, y que promueva el empleo de calidad, la tecnología, la investigación, la tecnología, la innovación y el desarrollo productivo. Este plan permite identificar claramente en la importancia de implementar tecnologías que contribuyan al buen vivir de la ciudadanía quiteña.

Contribuir en la lucha contra la contaminación mediante la implementación de métodos analíticos en el desarrollo de proyectos de disposición final de residuos sólidos es necesaria, los problemas de la actualidad son más notorios, sequías e inundaciones, el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, lluvia ácida y otras consecuencias de la contaminación atmosférica, hídrica y del suelo, detectadas mediante el análisis de impacto ambiental, huella de carbono e hídrica, son realmente alarmantes. Pequeñas soluciones como la simulación de lixiviados y gas producido de un relleno sanitario contribuye con la disminución de las 666.159 ton CO₂ equivalente del sector de residuos en el DMQ, dato señalado en el estudio de Huella de carbono de la Secretaría de Ambiente (2011).

Igualmente en el Plan de Desarrollo 2012- 2022 el DMQ reconoce que las oportunidades de desarrollo del emprendimiento y talento humano de la población, sobretodo aquella que promuevan el empleo de calidad, la investigación, la tecnología, la innovación, el desarrollo productivo y la promoción de servicios modernos de primer nivel y calidad. Son de fundamental interés para el desarrollo urbano y productivo del Distrito.

El presente trabajo tiene como objeto fundamental el simular los cubetos 8 y 9 del Relleno Sanitario Q del DMQ 2015, basado en el modelo computacional V3 Corenostós.

Para lograrlo se han considerado los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Usar la hoja de cálculo del modelo V3 Corenostós, para la simulación del cubeto 8 y cubeto 9 del Relleno Sanitario Q.
- ✓ Exponer el uso del modelo computacional para el diseño analítico del Relleno Sanitario como una solución para un buen futuro en la gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el DMQ, e incrementar opciones que brinden seguridad y eficiencia de la gestión de RSU.

- ✓ Obtener datos de las características de RSU generados en el DMQ y determinar las características adecuadas que los RSU deben tener para el diseño analítico de Relleno Sanitario.
- ✓ Definir el proceso de manejo y gestión de lixiviados que se realiza actualmente en Relleno Sanitario Q.

La *carita de Dios* como también es conocida la ciudad de Quito se encuentra rodeada por grandes elevaciones, las cuales estabilizan los efectos meteorológicos de la ciudad, en ella se pueden encontrar con una temperatura media anual de 14,6 °C, con variaciones diarias que pueden ser desde los 4°C hasta 25°C. La precipitación media anual es de 71,34 mm en los meses de febrero y octubre, aunque en los meses de junio, julio y agosto suelen presentarse sequias con promedios de 19,62 mm de precipitación y 169,43 mm de evapotranspiración.

A lo largo de las 38.492 hectáreas que comprende el Distrito Metropolitano de Quito, existen microclimas urbanos, esto es provocado por las condiciones topográficas de la ciudad, desfavorables para la dispersión de contaminantes. La Empresa Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos EMGIRS-EP, posee una infraestructura de 2 Estaciones de Transferencia y el Relleno Sanitario Q, lugar donde se realiza el tratamiento de lixiviados y disposición final de los RSU.



Mapa 1: Infraestructura EMGIRS-EP, 2015

Elaborado: Alejandra Díaz

Fuente: EMGIRS EP, 2015

La Estación de Transferencia Norte (ET-Norte), se encuentra al nororiente de la ciudad en la entrada del sector de Zambiza, entre la Av. De las Palmeras E11-73 y Av. Eloy Alfaro. A unos 2 km antes de llegar a la Av. Simón Bolívar:



Mapa 2: Estación de Transferencia Norte EMGIRS-EP, 2015

Elaborado: Alejandra Díaz

Fuente: EMGIRS EP, 2015

Mientras que Estación de Transferencia Sur (ET-Sur), como su nombre lo indica se encuentra al sur de la ciudad en el sector de Santa Rosa, unos 500 metros al sur del Intercambiador de Guajaló, en el Barrio San Blas II, en la Av. Simón Bolívar:



Mapa 3: Estación de Transferencia Sur EMGIRS-EP, 2015

Elaborado: Alejandra Díaz

Fuente: EMGIRS EP, 2015

Finalmente el Relleno Sanitario Q con 54 hectáreas, está ubicado a 45 km del centro de la ciudad de Quito, dentro de la zona industrial de Alto Impacto al oriente de la ciudad en la vía E35 (Troncal de la Sierra), entre Pifo y Sangolquí. Sus coordenadas geográficas son:

Coordenadas UTM			
Ubicación	Punto	X	Y
	1	794583	9964551
	2	794269	9967974
	3	794331	9967359
	4	794137	9967020

Tabla 1: Coordenadas UTM, Relleno Sanitario Q

Fuente: Greenleaf, 2008

Este lugar donde se disponen los residuos urbanos del DMQ, considera el método de trinchera, el cual consiste en excavar una zanja o cubeto que será impermeabilizada a través de la colocación de una geomembrana y la construcción de un sistema de canalización en forma de huesos de pescado que recoge los lixiviado, para su posterior tratamiento, incluyendo también chimeneas para la salida de gases en toda el área del cubeto separadas las unas de las otras a 30 metros de distancia.



Fotografía 3: Panorámica del Cubeto 7 y 8 del Relleno Sanitario Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Después de terminada la sencilla obra civil se depositan los residuos sólidos urbanos construyendo taludes o celdas diarias en relación 1:1 o 1:2, lo que significa entre 25x30 metros de ancho y largo respectivamente, y con una altura que varía de 5 a 6 metros. Los residuos son esparcidos y compactados con maquinaria pesada, los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes, luego de haber sido pesados en la báscula. De inmediato las celdas son cubiertas por tierra o material excavado de la trinchera de 30 a 40 centímetros de espesor, luego se esparce una fina capa de permanganato de potasio para reducir el nivel de percepción de olor (Pisarczyk *et al*, 1992).



Mapa 4: Relleno Sanitario Q EMGIRS-EP, 2015

Elaborado: Alejandra Díaz

Fuente: EMGIRS EP, 2015

Capítulo 2

Marco Conceptual

A partir del lanzamiento de la Guía práctica para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales en 1991 de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se ha empleado métodos empíricos para la construcción de Rellenos Sanitarios a nivel mundial. En el Ecuador uno de los primeros estudios para el diseño de un sistema de Manejo y disposición final de desechos sólidos fue el de Acuña en 1996, en donde se empleó el método de trinchera o zanja.

Para el 2004, Noguera desarrolló un Manual básico para el Modelo computacional de diseño de rellenos sanitarios, HELP (Evaluación Hidrológica de Rellenos para la Ejecución), modelo desarrollado por la Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos (EPA).

A nivel mundial se han desarrollado modelos y métodos para el desarrollo de diseños precisos de rellenos sanitarios, tal es el caso de Visual HELP desarrollado por la EPA, modelo de balance hídrico que proporciona datos de simulación del relleno en dos dimensiones, al igual que este en Alemania se ha desarrollado el programa 3D-HELP modell que brinda datos en 3 dimensiones de generación de lixiviados y gases del relleno sanitario. En Inglaterra también desarrollaron el modelo LandSim con el mismo propósito de HELP y finalmente en Colombia se desarrolló el modelo V3 Corenostós por Collazos y Echeverry en el 2002, basado en balance hídrico y se involucran datos como volumen, composición física y química de la basura dando resultados similares al modelo HELP, pero se tiene en cuenta que los residuos estadounidenses no son iguales a los latinoamericanos.

Por lo cual es fundamental definir que los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) *son aquellos subproductos originados en las actividades que se realizan en la vivienda, la oficina, el comercio y la industria (lo que se conoce comúnmente como basura) y están compuestos de residuos orgánicos, tales como sobras de comida, hojas y restos de jardín, papel, cartón, madera y, en general, materiales biodegradables; e inorgánicos, a saber, vidrio, plástico, metales, objetos de caucho, material inerte y otros.* Según estudios realizados en las ciudades Latinoamericanas sobre composición de Residuos Sólidos Urbanos coinciden en los siguientes valores: *materia orgánica putrescible (entre 50 y 80%), contenidos moderados de papel y cartón (entre 8 y 18%), plástico y caucho (entre 3 y 14%) y vidrio y cerámica (entre 3 y 8%). Los RSU tienen un alto contenido de materia orgánica, una humedad que varía de 35 a 55% y un mayor peso específico, que alcanza valores de 125 a 250 kg/m³, cuando se miden sueltos* (Jaramillo, 2002).

La población del Distrito Metropolitano de Quito es de 2'239.191 de habitantes generando un promedio de (0,83 kg/hab/día) de residuos sólidos urbanos, lo cual llega a una alarmante cifra de aproximadamente 2.000 toneladas diarias de residuos sólidos que son confinados en el proyecto del Relleno Sanitario Q “El Inga Bajo”.

Las características geológicas, geofísicas, geotécnicas e hidrogeológicas descritas a continuación son extraídas del trabajo de Hidrogeología y Modelación del Acuífero Pifo-El Quinche, (Delgado, 2008).

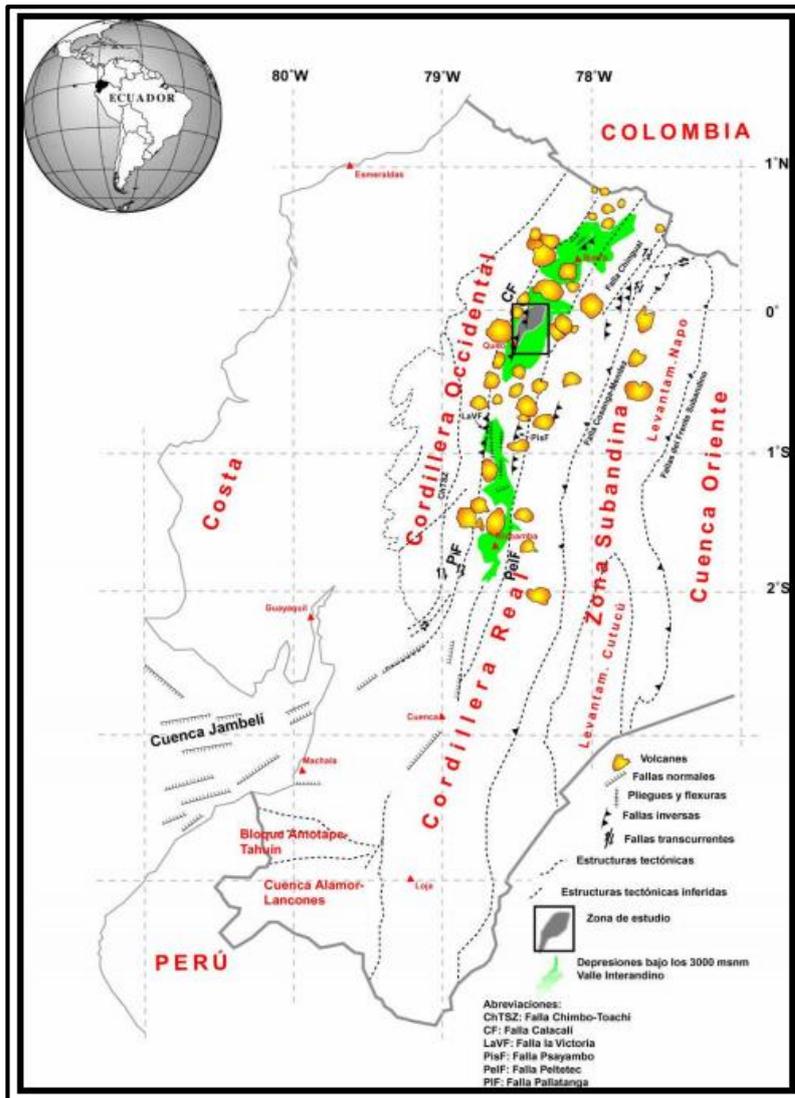


Imagen 1: Mapa estructural simplificado del Ecuador con énfasis en la zona del acuífero de investigación Pifo-El Quinche (La Tola).

Fuente: Delgado, 2008

El Distrito Metropolitano de Quito está ubicado en el callejón Interandino, limitado geológicamente por el nudo de Mojanda (Imbabura) al norte, por el nudo de Tiopullo (Cotopaxi) al sur, con la cordillera Real al este y la cordillera Occidental al oeste. Quito posee un entorno geodinámico complejo, en donde se observan interacciones tales como sedimentación, volcanismo, tectónica y erosión. Su naturaleza genera una cuenca volcano-sedimentaria. *El relieve del DMQ es muy heterogéneo, existen pendientes que forman planicies de 0 – 5% y pendientes abruptas >70%(pp.177).* Además el Distrito

también se encuentra conformado por valles orientales, como lo son el valle de Tumbaco y los Chillos. Limitados gracias a la presencia del Ilaló, este cerro perteneciente al cantón Quito es también llamado con su nombre milenario *“montaña caliente”, porque efectivamente se trata de un volcán, que actualmente está apagado*” (Costales citado en Darquea, 2013).

El Relleno sanitario Q del Distrito Metropolitano de Quito se encuentra ubicado en la parroquia rural de Pifo, entre el valle de Tumbaco y los Chillos, influenciada por la Cordillera Real del Este y presenta el siguiente perfil litológico:

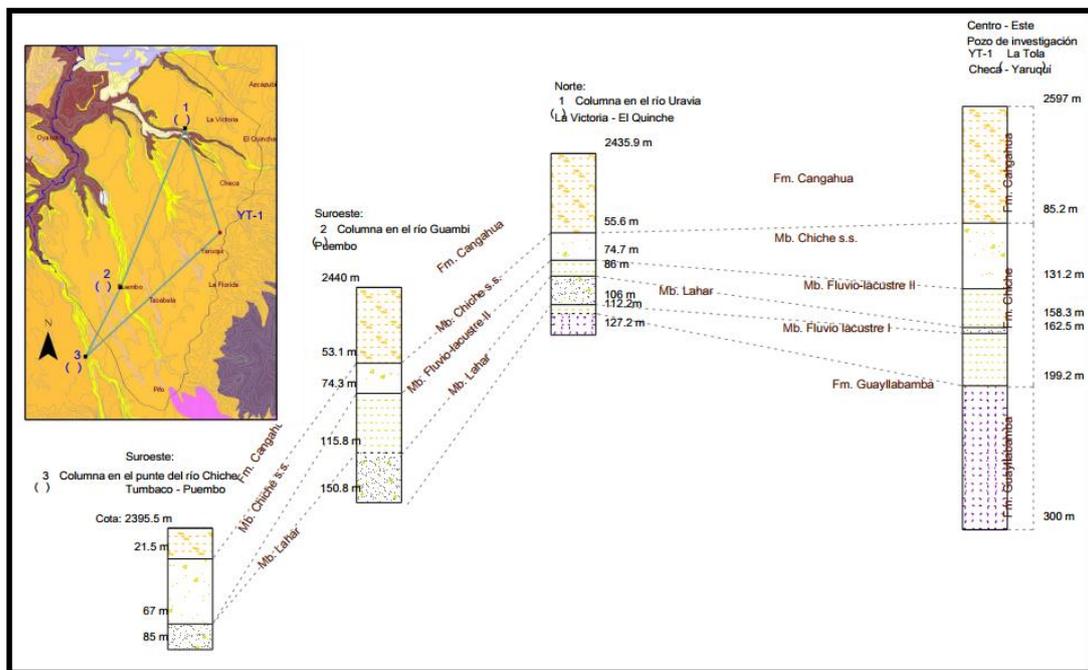


Imagen 2: Correlación estratigráfica entre las columnas levantadas para el acuífero de investigación Pifo-El Quinche (La Tola).

Fuente: Delgado, 2008

Como se puede apreciar Pifo, presenta algunas formaciones y unidades litoestratigráficas que se pueden destacar a continuación:

- * Formación San Miguel

- * Volcanicos Guayllabamba (P_B)
- * Formación Chiche(P_{CH})
- * Formación Cangagua (QC)
- * Depósitos Coliviales (Co)
- * Depósitos Aluviales (a)

La influencia directa del Volcán Ilaló da las características a la zona, generalmente se puede apreciar un relleno de productos vulcano-sedimentarios. Uno de los más característicos es la formación San Miguel del Pleistoceno, compuesto por dos miembros San Miguel y San Miguel Lacustre. Los cuales no son más que capas gruesas, con espesores que alcanzan hasta los 200 metros en el centro y 80 metros en los bordes. Potencialmente se encuentran constituidos por capas intercaladas de areniscas gruesas-medias y finas que varían sus colores entre negro y verde, tobas primarias y retrabajadas, y limolitas tobáceas de colores habanos y cremas.

Además estudios geológicos han determinaron que los *aglomerados* y *tobas aglomeráticas* presentes en el lugar definen sobretodo de los ríos Chiche y Guayllabamba, dando lugar a la formación Volcánicos Guayllabamba con sus miembros de la época del Plesitoceno:

- * Aluvial, comprendido por una litología de una secuencia aluvial estratificada por bloques redondeados, con tamaños variantes desde centímetros a métrros, los cuales, corresponden a lavas andesíticas. Su matriz es generalmente arenas, con tamaños de grano creciente y con un espesor que varía de 50 a 100 metros.

- * Lahar, esta caracterizado por bancos métricos de flujos de lodo, que contiene clastos de limolitas y areniscas deformadas de la Formación San Miguel, junto a clastos volcánicos y pumíticos, en una matriz lodosa.
- * Volcánico, predominan productos volcánicos primarios, flujo de lavas y piroclásticos de tipo block & ash. Con dirección al sur, en el río San Pedro se presentan más proximales y de composición andesítica, posiblemente provenientes del volcán Ilaló.

Por otra parte la formación Chiche del Pleistoceno esta compuesta de un miembro superior (Mb. Fluvio-Lacustre II), medio (Mb. Lahar) e inferior (Mb. Fluvio-Lacustre I). Sin embargo, sólo el miembro superior de la unidad tiene interés hidrogeológico, cuyo intervalo de profundidad se encuentra entre los 135 metros y su espesor varía entre 20 y 40 metros. Esta formación consiste en capas de arena gruesa de color gris, arena conglomerática gris, tefra fina blanca-amarillenta y negra; y capas centimétricas de pómez. Según (WALSH, 2009), los acuíferos del área se encuentran por debajo de 100 metros de la superficie. En conglomerados mal consolidados por debajo de 50 a 70 metros del miembro superior de esta formación. Posee areniscas y conglomerados de basalto y andesita.

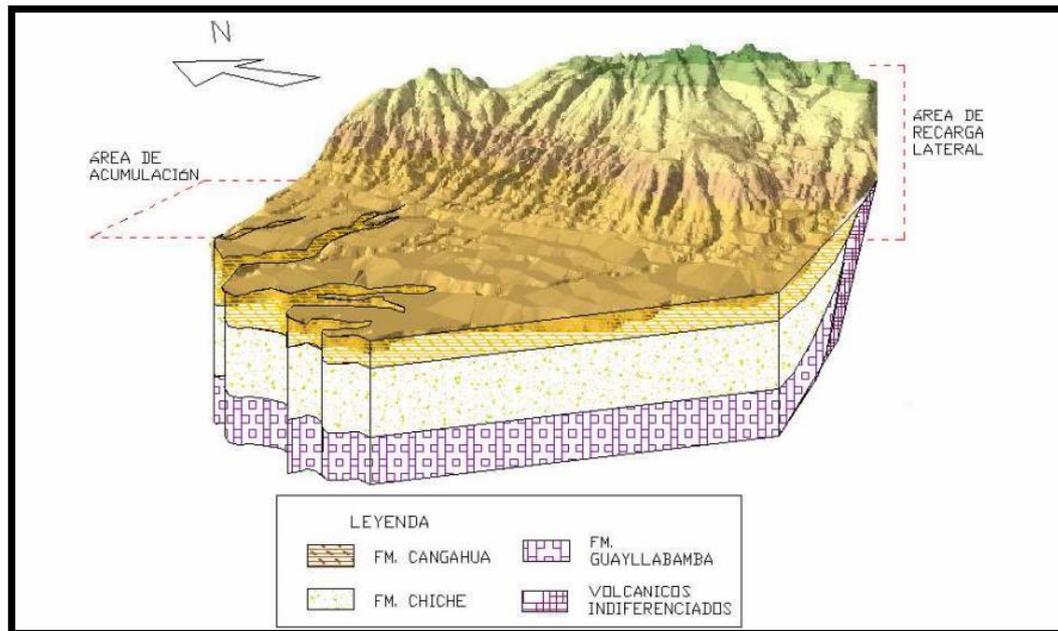


Imagen 3: Modelo geológico conceptual.

Fuente: Delgado, 2008

La capa superficial profunda pertenece a la formación Cangagua Cuaternaria, la cual cubre la mayor parte del mapa geológico de la zona de estudio. Es considerada como un producto de volcanismo que cubre casi todo el Valle Interandino por su distribución. Son las formaciones volcánicas más antiguas, rocas muy compactas y resistentes, soportan hasta niveles de compresión mayores a 70 Mpa (Melendez & Fuster, 2003: 203). Esta formación está compuesta por depósitos lapilli, ceniza eólica y piedra pómez. Además son consideradas también como tobas retrabajadas de grano fino a medio de lapilli y arena fina limosa, originadas por depósitos de CO_3Ca (González de Vallejo *et al*, 2005: 112). Esta puede ser una de las razones por la cual el análisis hidrogeoquímico demuestra que el agua de los ríos, las aguas subterráneas y agua de manantiales del lugar son muy carbonato-bicarbonato-sódica-potásica. La Cangagua superior se compone de un conjunto uniforme de toba de 30 metros, mientras la inferior posee un espesor de 15 a 30 metros.

Finalmente en la superficie se aprecia los depósitos aluviales asociados al flujo actual y antiguo de ríos. Y los depósitos Coluviales constituidos por acumulaciones de arena y pómez, removidas o transportadas por derrumbes hacia las cotas inferiores.

Los perfiles litológicos antes descritos del sector, poseen distintos grados de permeabilidad y porosidad, lo que da origen a la presencia de acuíferos de variadas características. Aquellas unidades litológicas de permeabilidad Alta (P1) son por lo general rocas clásticas no consolidadas, dentro de esta unidad se tiene a los conglomerados y arenas del miembro superior de la formación Chiche. Las aguas subterráneas se localizan entre las profundidades de aproximadamente 106 a 136 metros, en las arenas y conglomerados fluviales, del mismo superior de la formación Chiche, y se considera que deben desarrollarse por encima de miembro lahar de baja permeabilidad del miembro medio de la formación Chiche (WALSH, 2009).

Las unidades Litológicas de Permeabilidad Media a Baja (P2) son rocas clásticas no consolidadas, correspondiente a las formaciones San Miguel y Guayllabamba, que debido a que en su constitución litológicas predominan materiales arcillosos y conformarían acuíferos muy locales de difícil exploración y por último las unidades litológicas de Permeabilidad Baja (P3) característica fundamental de la Formación Cangagua y depósitos coluviales, la formación Cangagua cubre con espesores de hasta 60 metros a las otras unidades litológicas permeables.

Geotécnicamente la cangagua es un material heterogéneo, poco plástico, con variaciones laterales y verticales de su granulometría y grado de cementación, es mayormente impermeable tanto en estado inalterado como remoldado y compactado pero puede ser

erosionada por el agua, el viento y la intemperización. Además presenta intercalaciones decimétricas (1,2 m de espesor) de capas de arena y grava fina de pómez (lapilli), fácilmente erosionables por el agua y el viento (pp. 74). Sus capas poseen sedimentos del tipo limo-arenoso y arenoso-limoso. La permeabilidad que presenta es de 0,00001 cm/s, es decir es muy compacta y de poca permeabilidad, eficaz para terraplenes o rellenos compactados.

El Relleno Sanitario Q, se encuentra ubicado en uno de los flancos al sur-este del Volcán Ijaló, el suelo del sector es derivado de ceniza volcánica, y está compuesto de arena fina (partículas <0,2 mm). El relieve de Quito es intervenido y fuertemente marcado por el crecimiento urbano, ocupando laderas al este y oeste de la ciudad y dando como resultado una zona de riesgo. Aunque la ubicación del relleno tiene varias ventajas, el suelo determinado como limo-arenoso posee una alta impermeabilidad (coeficiente K entre 4×10^{-8} y 6×10^{-8} cm/s), además el índice de precipitación promedio mensual 62,53mm (INAMHI, 2014), el área no deja de ser riesgosa y es considerada de alta intervención ya que se encuentran industrias de alto impacto en los alrededores (De la Torre, 2004 citado en Gallardo, 2006)

A continuación se presentan algunas normas y leyes para la regulación del manejo de residuos sólidos urbanos y su disposición final consideradas por el Ministerio del Ambiente y la Municipalidad del Distrito Metropolitano de Quito:

Constitución de la República del Ecuador, 2008

Ley suprema que proclaman los deberes y derechos garantías del Estado Ecuatoriano, aplicados mediante normas y obligaciones de todos y cada uno de los que pertenecemos a la República Ecuatoriana. Así, en su artículo 14 se reconoce:

“el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay”

Por lo cual se declara a la preservación del ambiente y prevención del daño ambiental como interés público y prioritario. En su artículo 264, 4^{to} numeral, se proclama las competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), antes conocidos como Gobiernos Municipales:

“Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley”.

En el artículo 275 del Título VI de Régimen de Desarrollo, capítulo I de principios generales enuncia la planificación del desarrollo del país y la garantía del cumplimiento del buen vivir de los ecuatorianos:

“El buen vivir requerirá que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades gocen efectivamente de sus derechos, y ejerzan responsabilidades en el marco de la interculturalidad, del respeto a sus diversidades, y de la convivencia armónica con la naturaleza”.

Además en esta ley suprema en su sección octava (ciencias, tecnología, innovación y saberes ancestrales), con él artículos 385, numeral 3 expresa el firme propósito:

“Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir”.

Finalmente en su artículo 415, se presenta a los gobiernos autónomos descentralizados como responsables del:

“Desarrollo de programas de uso racional del agua, y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos”.

Anexo 6 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria: Norma de calidad ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos no peligrosos.

En donde se establece los procedimientos generales en el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde la generación hasta la disposición final; enuncia las normas generales para el tratamiento de desechos sólidos, construcción y operación del relleno sanitario con el empleo de técnicas manuales o mecanizadas, considerando que:

“Las presentes disposiciones se refieren a procesos convencionales a los que deben someterse los desechos sólidos, cuando a consideración de las Municipalidades o de las entidades pertinentes así se considere necesario”.

Acuerdo Ministerial No. 028

Sustituyente del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria

R.O Edición Especial N° 270 del 13-feb-2015

En su capítulo VI Gestión Integral de Residuos Sólidos No peligrosos, y desechos peligrosos y/o especiales, en su artículo 51, declara como prioridad nacional la gestión de residuos sólidos, el interés debe ser público con asignación de rectorías, además menciona:

“La responsabilidad extendida y compartida por toda la sociedad, con la finalidad de contribuir al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales, (...)”.

En su artículo 53 establece las políticas generales de gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, mientras que en su artículo 59 determina esta gestión, proclamando que:

“Está dirigida a la implementación de las fases de manejo de los residuos sólidos que son la minimización de su generación, separación en la fuente almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, tratamiento,

aprovechamiento y disposición final. Una gestión apropiada de residuos contribuye a la disminución de los impactos ambientales asociados a cada una de las etapas de manejo de éstos”.

Por último en el artículo 66, del párrafo II de la separación en la fuente enuncia:

“El generador de residuos sólidos no peligrosos está en la obligación de realizar la separación en la fuente, clasificando los mismos en función del Plan Integral de Gestión de Residuos, conforme lo establecido en la normativa ambiental aplicable”.

Ley de Gestión Ambiental

Codificación 19 R.O. 418 del 10-sep-2004

En el artículo 2 del título I, capítulo I del *Ámbito y Principios de la Gestión Ambiental*, que los principios de gestión ambiental son:

“Solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”.

Además en el literal J del artículo 9 declara que al Ministerio del ramo le corresponde:

“Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes”.

Ley Orgánica de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Codificación 20 R.O. 418 del 10-sep-2004

Establece en su artículo 10 prohíbe cualquier tipo de eliminación de desechos sólidos, sin el manejo adecuado establecido por la normativa vigente, que pueda generar daño o alteraciones sobre la calidad de suelo, flora, fauna y salud humana.

LEY ORGANICA DE SALUD

Ley 67, R.O 423 del 22-dic-2006

Ley suprema que en su artículo 7 establece como derecho de todo aquel habitante del Ecuador, *el vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.* Además en su artículo 100 perteneciente al capítulo de los desechos comunes indica que:

“La recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos es responsabilidad de los municipios que la realizarán de acuerdo con las leyes, reglamentos y ordenanzas que se dicten para el efecto, con observancia de las normas de bioseguridad y control determinadas por la autoridad sanitaria

nacional. El Estado entregará los recursos necesarios para el cumplimiento de lo dispuesto en este artículo”.

Ordenanza Metropolitana 213

R.O Edición Especial N°4 10-sep-2007

En su artículo II. 345 estipula que las políticas de Gestión Integral de los Residuos Sólidos urbanos, se establecerán por El Concejo Metropolitano de Quito , todo lo referente a reducción, reutilización, reciclaje, recolección, transferencia, industrialización y disposición final de residuos en domicilios, comercios e industrias.

“Esta gestión integral será operada y promovida por la municipalidad o por las empresas propias o contratadas para el servicio de aseo, a fin de permitir mejorar la calidad de vida de los habitantes del Distrito Metropolitano”.

El manejo de residuos sólidos urbanos, según el artículo Art. II.346, está incluido dentro del servicio ordinario, el cual se define como:

“Limpieza, barrida, recolección, transporte y disposición de residuos sólidos domésticos no peligrosos, prestados por Empresas Municipales, Contratadas o concesionadas por la Municipalidad”.

Ordenanza Metropolitana No. 0332

La ordenanza Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito Metropolitano de Quito.

En su artículo 2 se establecen como uno de los fines del Sistema de Gestión Integral de residuos sólidos en el DMQ:

“Procurar la utilización de métodos de disposición final que permitan aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios y su posterior eliminación”

El artículo 5 enmarca uno de sus principios de la Responsabilidad compartida o corresponsabilidad, enunciando:

“La gestión integral de los residuos requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de todos los generadores, productores, importadores, consumidores, gestores, tanto públicos como privados”.

Finalmente el artículo 57 de la presente ordenanza señala la norma puntual para la Disposición Final de Residuos sólidos no peligrosos, la cual dice que:

“(…) Se realizará únicamente en los rellenos sanitarios autorizados por la Municipalidad. No se permitirá ningún tipo de botadero a cielo abierto”.

Capítulo 3

Marco Metodológico

El paso inicial de la metodología fue de carácter descriptivo, con la recolección de datos *in situ*, mediante la visita técnica al Relleno Sanitario Q (R.S-Q) que se realizó, en donde se observó el proceso de operación del relleno, así también, se resolvieron algunas interrogantes con respecto al proceso desarrollado dentro del relleno. Se tomaron las coordenadas puntuales del lugar y finalmente se realizó un pequeño análisis descriptivo del lugar y del proceso operativo.

El principal reto de este proyecto fue la estimación del volumen de lixiviados generados, para lo cual ya se desarrollaron varios modelos matemáticos, basados principalmente en el *balance hídrico de un volumen de control correspondiente al área de relleno*. Tal es el caso del modelo de Thornthwaite (FENN), un método basado en observaciones empíricas de período de tiempo por etapas definidas. También los modelos matemáticos de balance de agua, los cuales son modelos determinísticos, basados en climatología, cantidad de humedad de los residuos, cantidad microbiana, el suelo, material de cobertura y la época del año.

Y por último los modelos computacionales como es el caso de Corenostós V3 de Collazos y Echeverry (2002), el cual está basado en los principios de balance hídrico de los programas de diseño HELP y LandGem para simulación de relleno sanitario. El modelo combina las características meteorológicas y geográficas del lugar con la metodología de degradación de primer orden en donde se contabiliza la tasa de generación de biogás y lixiviados de acuerdo a la vida útil del proyecto, este último reúne datos como cantidad mensual de basura dispuesta, tiempo de operación, potencial de generación de metano y características de la basura dispuesta.

Un método que es muy aplicado es la validación de datos, mediante el uso de límites, este nivel de validación comprueba el rango de los valores de componentes de la basura a disponer, la regla de validación es altamente restrictiva, “*cualquier dato fuera de los límites establecidos será un dato no valido*” Estévez y Gavilán (2008). El límite superior e inferior entre los que se puede variar según los datos obtenidos de la Guía de Residuos, auspiciada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Jaramillo, 2002) son:

Componentes CEPIS-OPS-OMS	
Componentes	%
Materia Orgánica Putrescible	50 y 80
Papel y Cartón	8 y 18
Plástico y Caucho	3 y 14
Vidrio y Cerámica	3 y 8
Datos Adicionales	
Humedad	35 y 55%
Peso específico	125 a 250 kg/m ³

Tabla 2: Componentes CEPIS-OPS-OMS

Fuente: Jaramillo, 2002

Varios métodos y modelos han sido desarrollados para la proyección de lixiviados y gases provenientes del Relleno Sanitario tal es el caso de Corenostós V3, modelo que ha sido creado como simulador del proceso de llenado de un Relleno Sanitario y su cálculo de gases y lixiviados producidos según la caracterización de desechos biodegradables dispuestos en el relleno. El modelo matemático para cálculo de gases y lixiviado Corenostó V3 viene incluido en el CD-ROM del libro de Collazo y Echeverry, 2002 para Diseño y Operación de rellenos Sanitarios. El modelo es diseñado para su aplicación inmediata, con basura de tipo doméstico. Este incluye las posibles fallas del ingreso de

datos exactos de algo tan *heterogéneo como la basura*, y propone ser preciso con sus resultados.

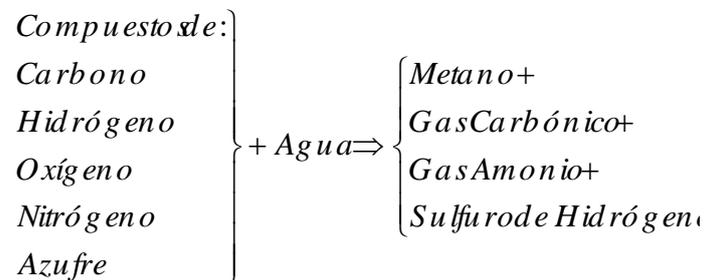
El modelo infiere la cantidad de lixiviados y gases que va a arrojar un relleno sanitario sin pretender actuar sobre su producción, por lo que omite la serie de variables que sólo serían necesarias para guiar un proceso industrial. Como resultado de observación y experiencia, son las unidades selladas en las que se conoce cuanto sale en función de lo que entra. *Los resultados arrojados serán aproximados solamente en medida de cuanto reales son los datos de entrada. Por tanto, con datos ciertos el modelo permite discernir la inexactitud de los otros.* El método considera las siguientes variables:

- Cantidad de basura dispuesta en el sitio
- Composición física y química de la basura dispuesta en el sitio
- Grado de descomposición de la basura
- Grado de retención de líquidos en la basura
- Lapso de eversuría, o tiempo durante el cual se da la descomposición de la basura (intervalo a partir del cual y bajo el aspecto que se la considera la basura deja de constituir problema, que es lo que destaca el término)
- Factores conforme a los cuales se da tal descomposición
- Vida útil del relleno sanitario, o tiempo durante el cual se va a depositar basuras
- Altitud o presión atmosférica
- Temperatura media del sitio
- Áreas expuestas al agua lluvia
- Pendiente superficial de la basura o del material de cobertura
- Espesor del material de cobertura
- Tipo de material de cobertura

- Precipitación mes a mes durante toda la vida útil del proyecto, más el tiempo que se considere durará la descomposición de todo el material de la basura (normalmente 15 años).
- Evapotranspiración potencial mes a mes en el sitio y durante todo el tiempo que se crea va a durar activo el relleno (vida útil más tiempo de eversuría).

Como observamos para el manejo del modelo se requiere de información complementaria, por lo que se requiere la caracterización de la basura del DMQ, se realiza la comparación de los análisis de caracterización según varios autores con respecto a los límites impuesto por el CEPIS.

Con el presente modelo, la relación parte del supuesto porcentaje global de conversión y opera con la fórmula empírica:



Fuente: Collazos y Echeverry, 2002

O si en tal caso, se diferencia la conversión para cada uno de los componentes del grupo de los susceptibles de descomposición, se requiere recalcular la fórmula empírica con base en cada porcentaje de conversión u operar por separado evaluando la estequiometria respectiva.

En relación con esto último, se puede partir del supuesto de un porcentaje global de conversión y operar con la fórmula empírica antes encontrada. Si se diferenciara la conversión para cada uno de los componentes del grupo de los susceptibles de

descomposición, se requeriría recalcular la fórmula empírica con base en cada porcentaje de conversión u operar por separado con cada componente del grupo, evaluando la estequiometría respectiva y finalmente, sumando de manera ponderada los productos del conjunto.

Según los estudios previos al lanzamiento del modelo, se ha obtenido que:

- En el primer año se obtiene un valor de descomposición del 15%.
- En el segundo año, se presenta el pico de rapidez de la descomposición.
- En los siguientes años y hasta finalizar el quinto año la tasa de descomposición decrece progresivamente.
- A partir del quinto año hasta el decimoquinto año o al año de eversuria (tiempo durante el cual se da la descomposición de la basura) se mantiene una tasa de descomposición mínima, decreciente, pero significativa (5% de descomposición).
- Pasado este tiempo de eversuria en adelante, la descomposición es insignificante que para los efectos de generación de gases y lixiviados se puede suponer que la descomposición ha finalizado.

Sin embargo este modelo considera materiales susceptibles de descomposición conformados por 3 grupos de desechos: los desechos orgánicos de rápida putrefacción, desechos orgánicos de descomposición lenta (papel, textiles, cartón, madera y poda de árboles) y desechos inorgánicos (materiales inertes tales como el vidrio, plástico, caucho, metales, arena y tierra).

Los dos primeros grupos de desechos orgánicos son materiales susceptibles de descomposición, y su interacción con el agua son los principales generadores de gases y lixiviados. La biodegradación aeróbica y la descomposición anaeróbica que se maneja en

el proceso de compactación y confinamiento de residuos sólidos urbanos son fundamentalmente, por la acción microbiana anaeróbica.

Es importante y de manera fundamental obtener datos meteorológicos lo más exactos posible. Lo cual indica que también se debe conocer el área de dicha precipitación, la cual será obtenida en el lugar. Entre los datos requeridos más importantes figura: precipitación, evapotranspiración, pendiente, material de cobertura superficial y sus respectivos espesores, para así, lograr una buena aproximación de permeabilidad de las capas superiores del terreno y el coeficiente de escorrentía, para elaborar un correcto balance hídrico.

Se considera entonces un balance hídrico superficial donde solo se obtiene escorrentía y el otro de la infiltración de agua dentro de la capa del material de cobertura, el cual se fijará en el agua percolada de las precipitaciones del lugar. El factor de infiltración se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\text{Precipitación} - \text{Evaporación} = \text{Escorrentía} + \text{Infiltración}.$$

Según (Echeverry y Collázos, 2002) las tablas disponibles para el cálculo del factor de infiltración en base a la pendiente, no dispone de valores para pendientes mayores a 7%, por lo cual se ha tenido que extrapolar los valores superiores.

Adicional este modelo permite calcular el espesor de cada capa de cobertura expuesta a las precipitaciones. Se debe tener en cuenta que existen dos tipos de cobertura: transitorias y definitivas. Las definitivas deben ser de un material cuya permeabilidad sea conocida y casi nula, como plástico, geo textil, tierra o arcilla. Para la cobertura transitoria su espesor debe efectuarse en base a los cálculos de lixiviados y precipitaciones previstos hasta el cierre del relleno.

Si no hay posibilidad de cumplir con el espesor calculado, no queda sino prever la cantidad de lixiviado que habrá de generarse por percolación. Entonces, aparte de conocer el espesor que se dé a la capa de cobertura y el coeficiente de impermeabilidad del material, se requiere la dimensión del área expuesta a lluvia.

Finalmente mediante el cálculo del volumen de lixiviados y gases se puede diseñar un sistema de aprovechamiento de los mismos, pudiendo optimizar el diseño de celda diaria en donde se calcularía la altura de la celda dependiendo de la cantidad de residuos que se depositen, el ancho mínimo de la celda depende de la maquinaria pesada que empleen. Aunque el tamaño de las celdas varía según la cantidad de desechos que lleguen al Relleno Sanitario, todas las celdas deben tener las mismas características constructivas. Una norma primordial es que la celda debe albergar todos los residuos de ese día de jornada.

Con la aplicación del modelo se puede obtener datos más certeros de las cantidades de gas y lixiviados del cubeto a diseñar, sin embargo, no está por demás tener como referencia las siguientes especificaciones para el diseño de celda según el método empírico de Trinchera, utilizado por la EMGIRS-EP desde hace ya varios años, especificaciones (Consortio Ambiental y de Servicios S.A, 1999):

a). **Altura:** Puede variar desde 1 a 5 m, incluyendo el espesor de la cubierta, con un talud cuya relación entre la altura y avance sea 1:2.5 hasta 1:3.

b). **Largo de la celda.** Este parámetro depende de las necesidades del proyecto, de la operación de cada sitio y de la superficie de terreno disponible. También está determinada por el volumen diario de residuos a disponer.

c). **Ancho de la celda.** Esta dimensión está condicionada por el frente de trabajo necesario para que la maquinaria funcione y manibre adecuadamente, para realizar el

acomodo y la compactación de los residuos sólidos. La celda debe tener el ancho suficiente para permitir la descarga de los equipos de recolección de residuos sólidos.

Según (Collazos y Echeverry, 2002), el funcionamiento del Modelo Corenostós V3, se reduce al manejo de dos hojas electrónicas muy bien detalladas, *en la primera “Básica”* (Imagen 4) *se ingresa las condiciones permanentes del proceso y el modelo calcula la cantidad de gas y lixiviado que produce una unidad de basura (tonelada) de tipo doméstico, en las condiciones concretas de tal basura.* Mientras que en la segunda hoja “Mensual” (Imagen 5), se introduce las cantidades de basura dispuesta que varían de un mes a mes durante el período de actividad del relleno y en resultado ofrece las cantidades mes a mes de producción de gas y lixiviados.

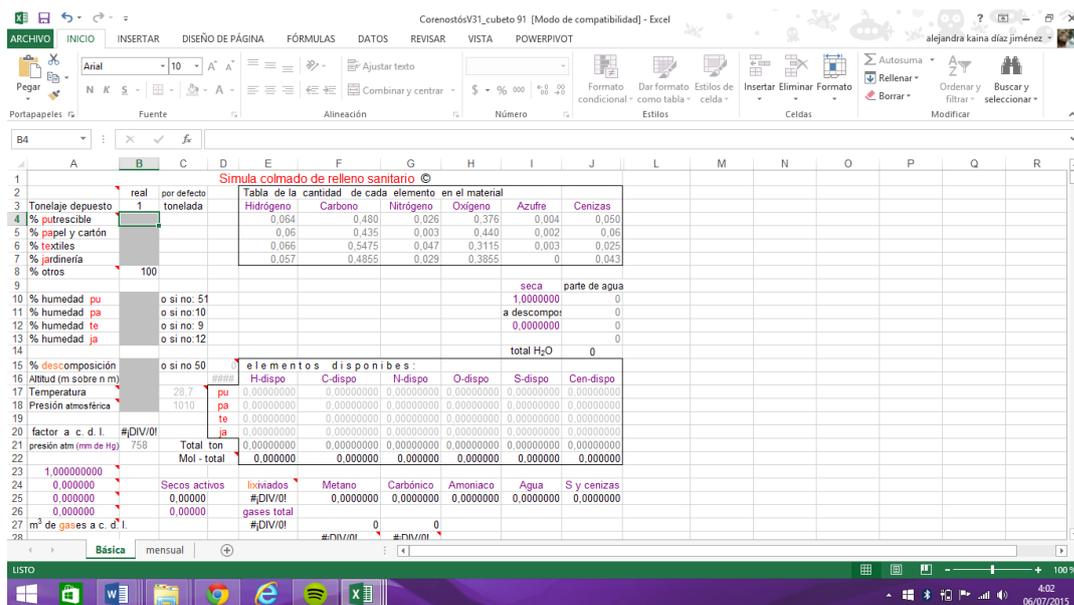


Imagen 4: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3.
Fuente: Alejandra Díaz

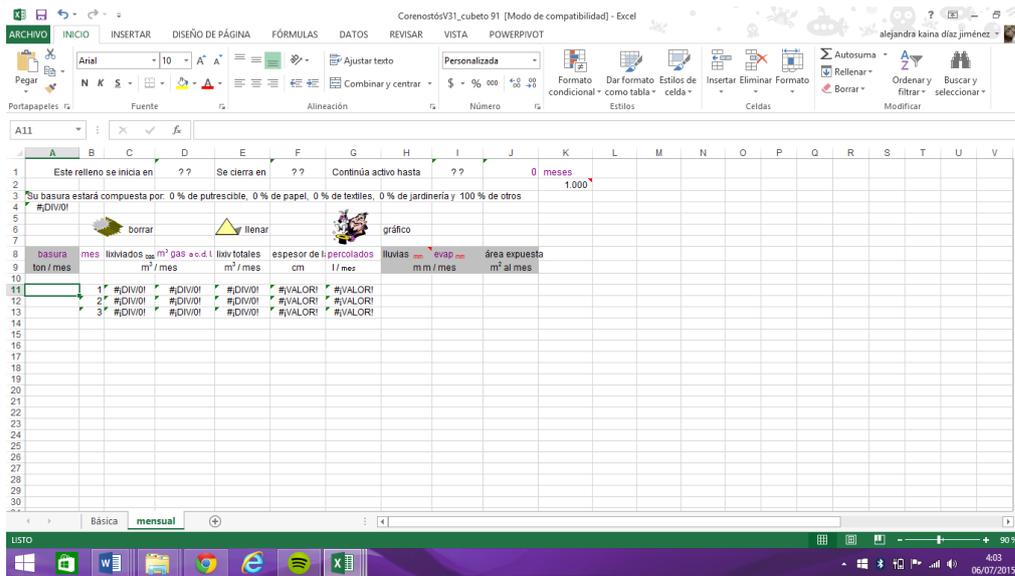


Imagen 5: Hoja de cálculo Mensual del Modelo computacional Corenostós V3.

Fuente: Alejandra Díaz

Capítulo 4

Resultados

El primer dato requerido en el Programa Corenostós V3 en su hoja de cálculo básica, son las características de la basura dispuesta en el relleno, para lo cual se ha comparado los componentes como forma de validación, con los componentes obtenidos en la Guía de Residuos, auspiciada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (Jaramillo, 2002) de la (Tabla 2) antes expuesta.

En la validación de componentes se utilizaron los datos expuesto en el trabajo de cuantificación del porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas contenido en los Residuos Sólidos Urbanos del Distrito Metropolitano de Quito en 2013 de (Mazzilli, 2014) expuesto en el (Gráfico 1), los cuales se acogieron en su totalidad dentro de los límites dispuestos de la (Tabla 2). Después de ingresados los datos de porcentaje de composición (Tabla 3) en la hoja de cálculo básica del modelo computacional Corenostós V3 (Imagen 6), el programa mediante un balance estequiométrico encuentra automáticamente la fórmula empírica de los materiales que intervienen en la bio-descomposición.

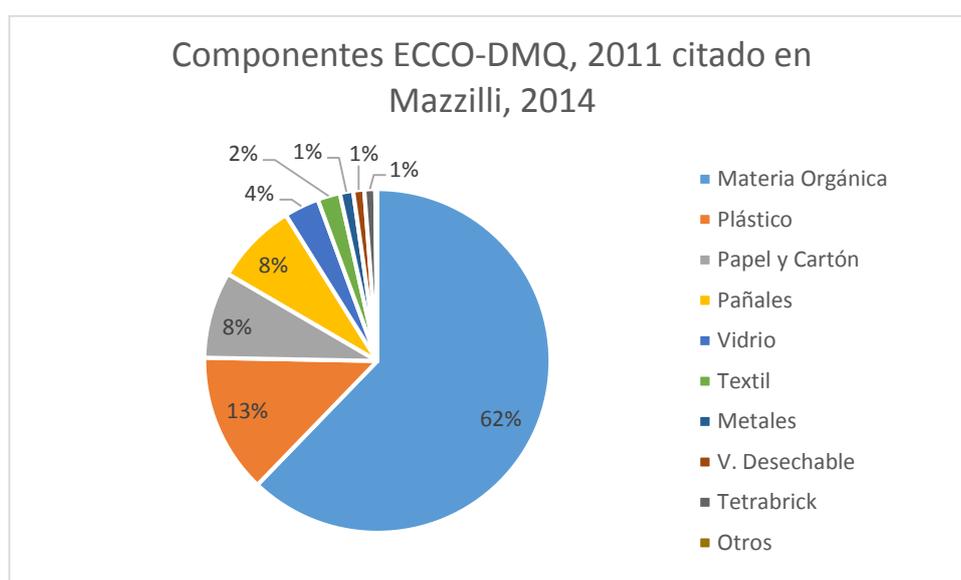


Gráfico 1: Componentes de RSU del Distrito Metropolitano de Quito
Fuente: Mazzilli, 2014

Composición dispuesta por tonelada	
% putrescible	62,18
% papel y cartón	8,15
% textiles	2,11
% jardinería	0,19
% otros	27,37

Tabla 3: Composición ingresada en el Programa Corenostós V3.

Fuente: Alejandra Díaz

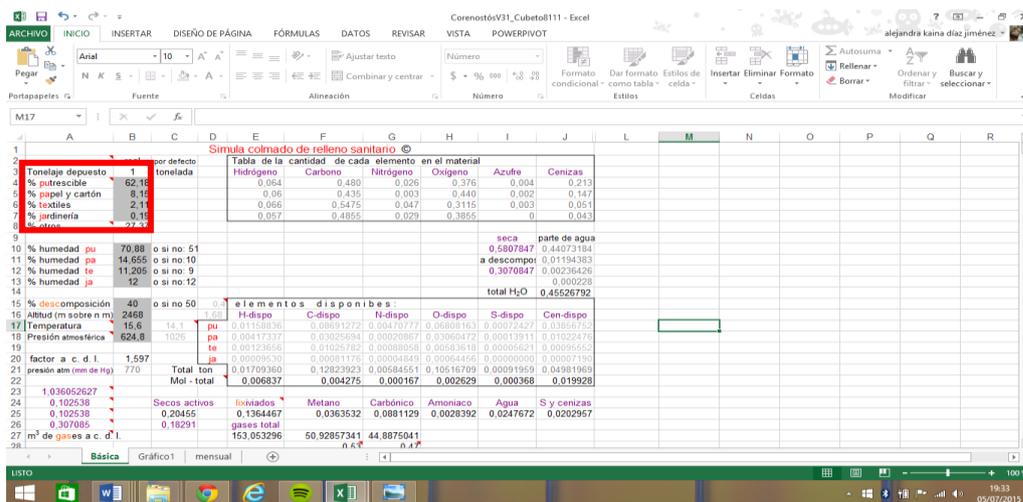


Imagen 6: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Características de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Los primeros datos arrojados por el programa es la cantidad de cada elemento según la composición (Imagen 7):

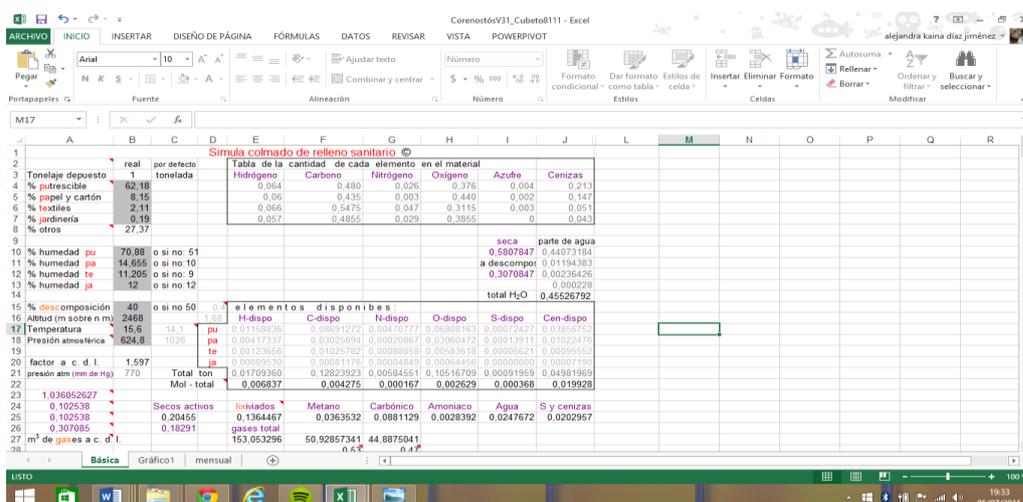


Imagen 7: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Elementos según las características de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Para un 62,18% de Materia Orgánica o Putrescible, (Gráfico 2) el cual contiene un 48% de carbono, 38% de oxígeno, 6% de hidrógeno, 5% de cenizas y 3% de nitrógeno.

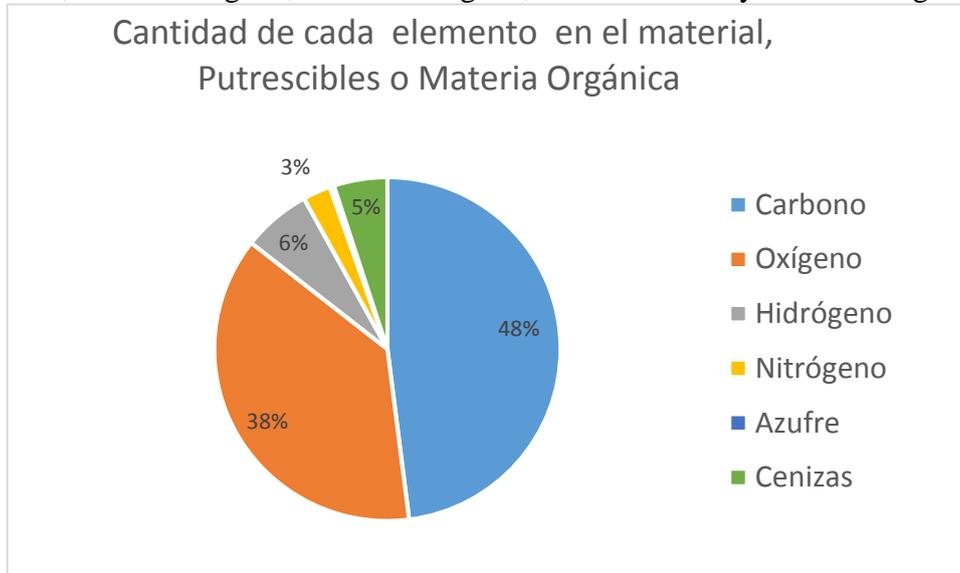


Gráfico 2: Cantidad de elementos presentes en los Putrescibles dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

El 8, 15% de papel y cartón, (Gráfico 3) esta contenido por 44% de carbono, 44% oxígeno, 6% hidrógeno y 6% cenizas.

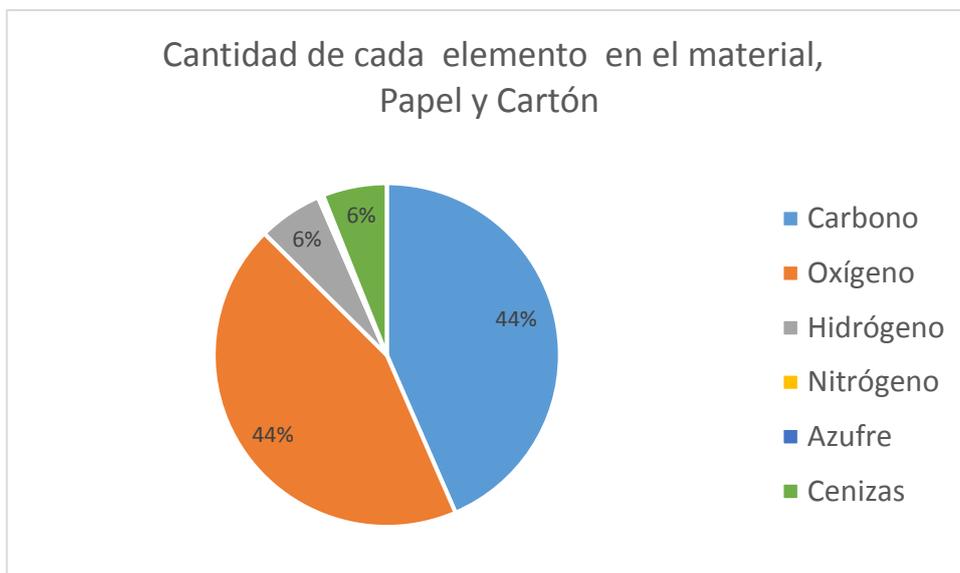


Gráfico 3: Cantidad de elementos presentes en el papel y cartón dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz.

El 2,11% de textiles, (Gráfico 4) contiene un 55% de carbono, 31% de oxígeno, 7% hidrógeno, 5% nitrógeno y el 2% de cenizas.

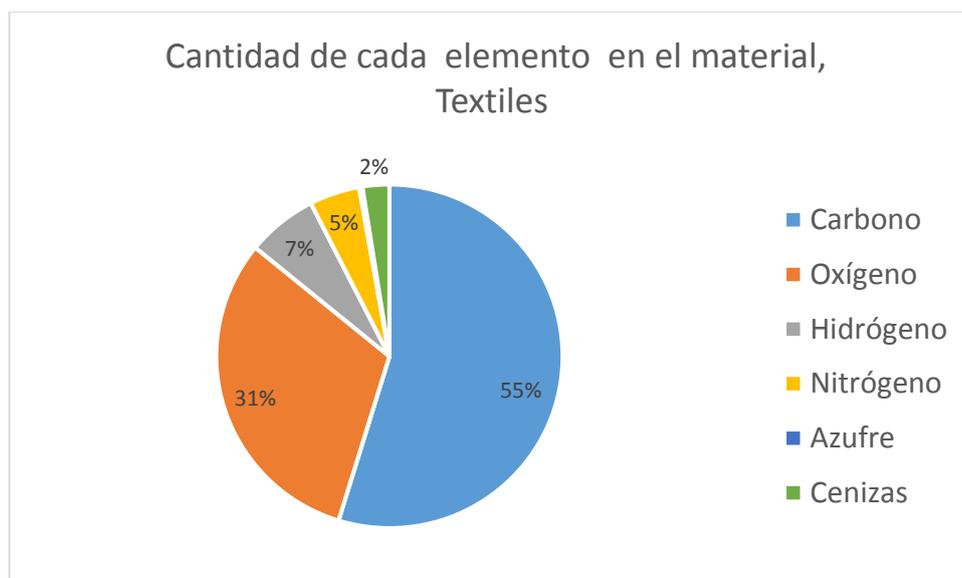


Gráfico 4: Cantidad de elementos presentes en los textiles dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Y el 0,19% de materiales varios (ECCO-DMQ,2011) en donde también se encontraría desechos de jardiería (Gráfico 5), compuesto por 55% carbono, 31% oxígeno, 7% hidrógeno, 5% nitrógeno y 2% de cenizas. El programa también presenta el porcentaje de contenido de azufre, ya que si se conoce más datos sobre la cantidad de cada elemento en el material, el programa también los acepta y calcula su contenido de la misma forma. Aunque por lo general las cantidades de azufre son insignificantes en residuos domésticos.

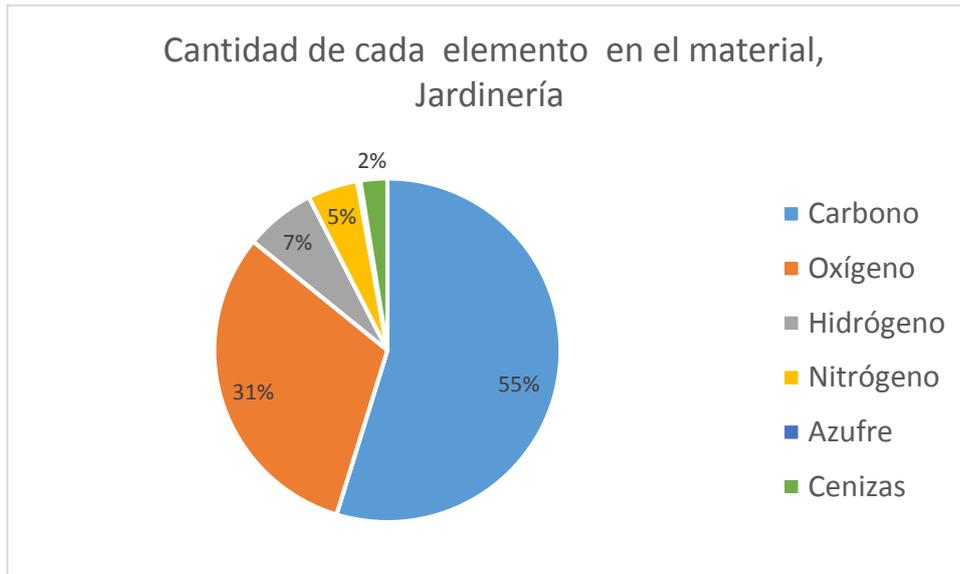


Gráfico 5: Cantidad de elementos presentes en material de jardinería u otros dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Con los datos anteriores y para garantizar un buen balance estequiométrico, el siguiente dato requerido es el porcentaje de Humedad de cada material (Imagen 8). A continuación se ha utilizado los datos presentados igualmente en el trabajo Mazzilli, 2014 (Tabla 2). Debido a que en su análisis de humedad ha ponderado los anteriores datos de composición en sus cálculos.

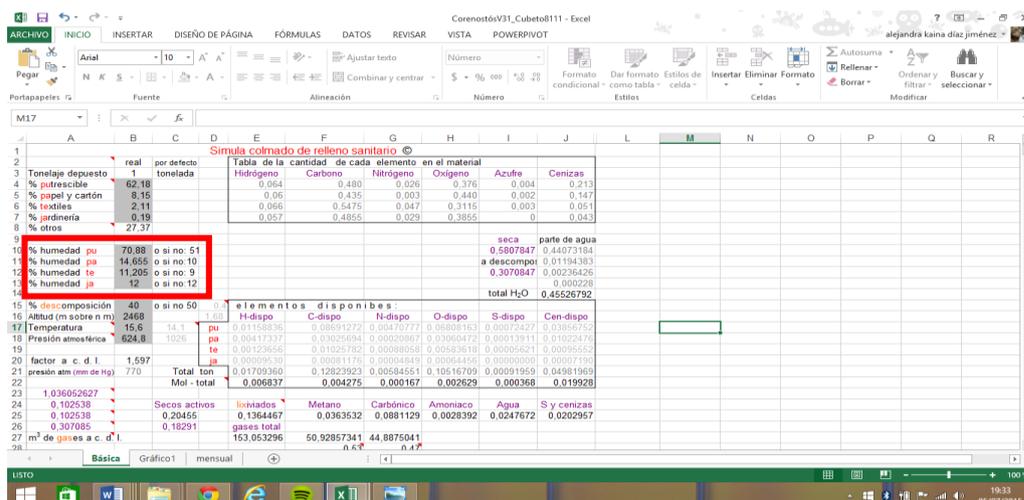


Imagen 8: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Humedad RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Se puede observar que el programa también sugiere datos para humedad en el caso de no contar con los valores exactos (Imagen 5), para los datos de humedad obtenidos en el trabajo de Mazzilli, 2014 se obtuvo, (Gráfico 6) el 54% de parte seca y un 46% de parte líquida. Después de obtener un promedio entre la estación de transferencia 1(ET1) y la estación de transferencia 2(ET2) ya que sus residuos son dispuestos en el R.S-Q(Tabla4).

%Humedad Promedio Mazzilli, 2014			
	ET1	ET2	Promedio
Papel y Cartón	15,49	13,82	14,655
Textil	12,07	10,34	11,205
Materia Orgánica	70,34	71,42	70,88
Plástico	8,58	8,99	8,785
Metales	3,31	3	3,155
Pañales	51,92	49,2	50,56
V. Desechable	7,62	10,44	9,03
Tetrabrik	12,31	11,46	11,885
Vidrio	1,33	0,66	0,995
Otros	8,54	8,28	8,41

Tabla 4: Porcentaje de Humedad Promedio de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Mazzilli, 2014.

	%Humedad	Datos sugeridos
% putrescible	70,88	o si no: 51
% papel y cartón	14,655	o si no:10
% textiles	11,205	o si no: 9
% jardinería	12	o si no:12

Tabla 4.1: Porcentaje de Humedad Promedio de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Mazzilli, 2014

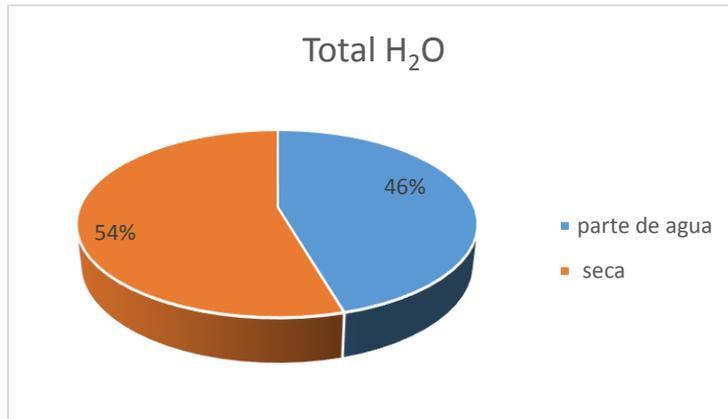


Gráfico 6: Total de H₂O de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Adicional el programa lanza la disponibilidad de cada elemento para la bio-degradación (Imagen 9) expuesto en la (Tabla 5) según las características y humedad de los residuos sólidos urbanos dispuestos en el Relleno Sanitario Q:

	Hidrogeno	Carbono	Nitrogeno	Oxigeno	Azúfre	Cenizas
0.054	0.480	0.026	0.376	0.004	0.213	
0.06	0.435	0.003	0.440	0.002	0.147	
0.211	0.066	0.5475	0.047	0.3115	0.003	0.051
0.19	0.057	0.4855	0.029	0.3555	0	0.043

	H-dispo	C-dispo	N-dispo	O-dispo	S-dispo	Cen-dispo
0.01158836	0.0891272	0.00470777	0.06808163	0.00072427	0.03856752	
0.00417337	0.03025694	0.00029667	0.03660472	0.00013911	0.01022476	
0.00123656	0.01025782	0.00088058	0.00583618	0.00006211	0.00095522	
0.00009530	0.00081176	0.000048451	0.00064456	0.00000000	0.00007190	
0.01709350	0.12823923	0.00584551	0.10516709	0.00091959	0.04841949	
0.006837	0.004275	0.000167	0.002629	0.000368	0.019529	

Imagen 9: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Elementos disponibles según RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Elementos Disponibles según el material (Toneladas)						
	Hidrógeno-disponible	Carbono-disponible	Nitrógeno-disponible	Oxígeno-disponible	Azufre-disponible	Cenizas
Putrescibles o Materia Orgánica	0,01158836	0,08691272	0,00470777	0,06808163	0,00072427	0,03856752
Papel y cartón	0,00417337	0,03025694	0,00020867	0,03060472	0,00013911	0,01022476
Textil	0,00123656	0,01025782	0,00088058	0,00583618	5,6207E-05	0,00095552
Jardinería	9,5304E-05	0,00081176	4,8488E-05	0,00064456	0	7,1896E-05
Total (Ton)	0,0170936	0,12823923	0,00584551	0,10516709	0,00091959	0,04981969

Tabla 5: Elementos disponibles para la biodegradación de RSU dispuestos en R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Los elementos disponibles para la biodegradación de los residuos sólidos dispuestos, en el caso de material putrescible o materia orgánica (Gráfico 7) es 41% de carbón, 32% de oxígeno, 18 % de cenizas, 6% de hidrógeno y 2% de nitrógeno.

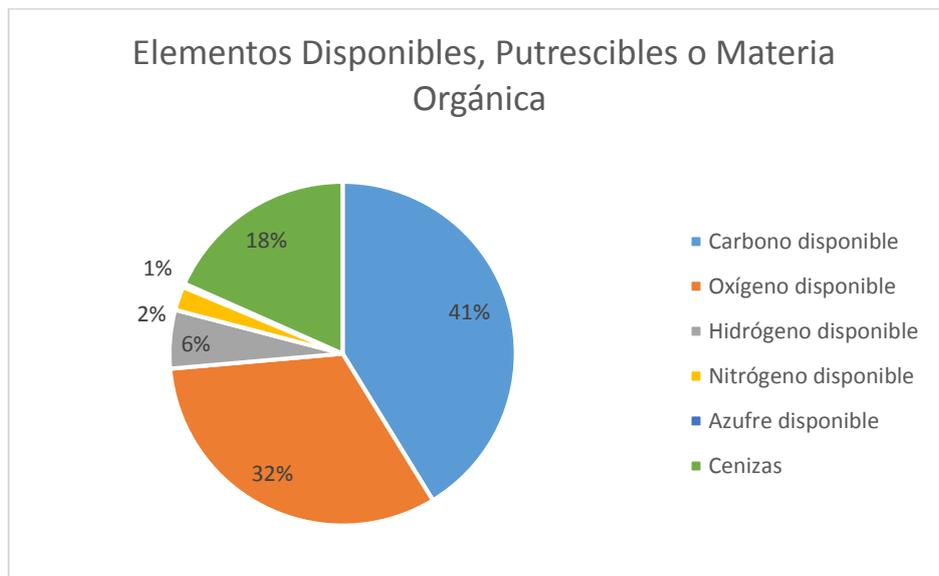


Gráfico 7: Elementos disponibles en Putrescibles de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

En el caso de papel y cartón los elementos disponibles son (Gráfico 8) 40% de carbón, 40% de oxígeno, 14% de cenizas y 6% de hidrógeno como compuestos disponibles para su biodegradación.

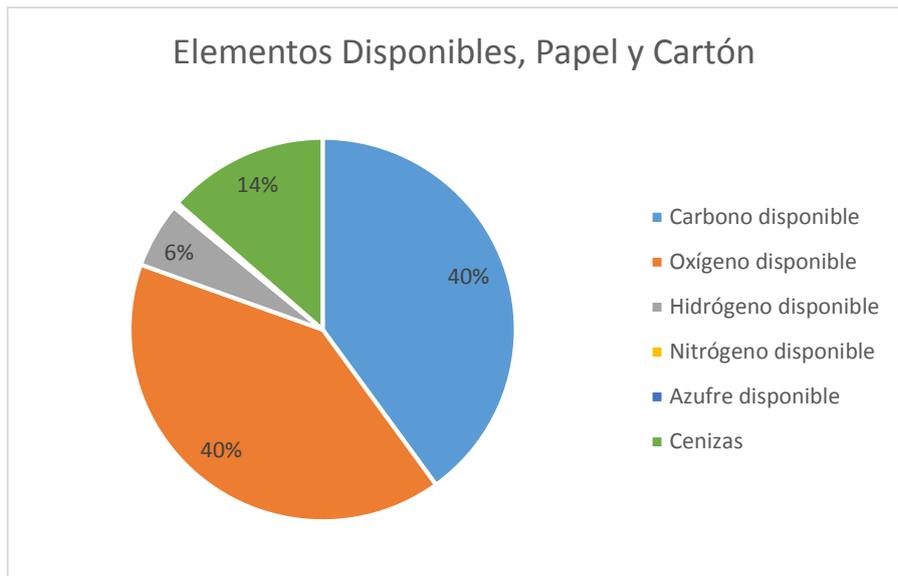


Gráfico 8: Elementos disponibles en Papel y Cartón de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Los elementos relativos disponibles calculados gracias a la presencia de textiles (Gráfico 9), estarán compuestos por 53% de carbón, 30% de oxígeno, 7% de hidrógeno, 5% de nitrógeno y 5% de cenizas.

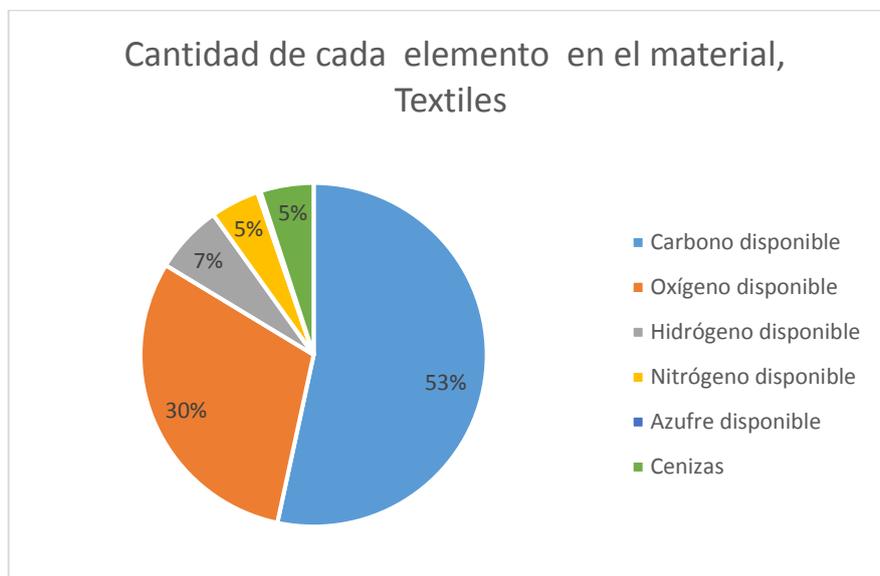


Gráfico 9: Elementos disponibles en Textiles de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Según los datos para desechos de jardinería los elementos disponibles estarán compuestos (Gráfico 10), por el 53% de carbón, 30% de oxígeno, 6% de hidrógeno, 4% de cenizas y 3% de nitrógeno.

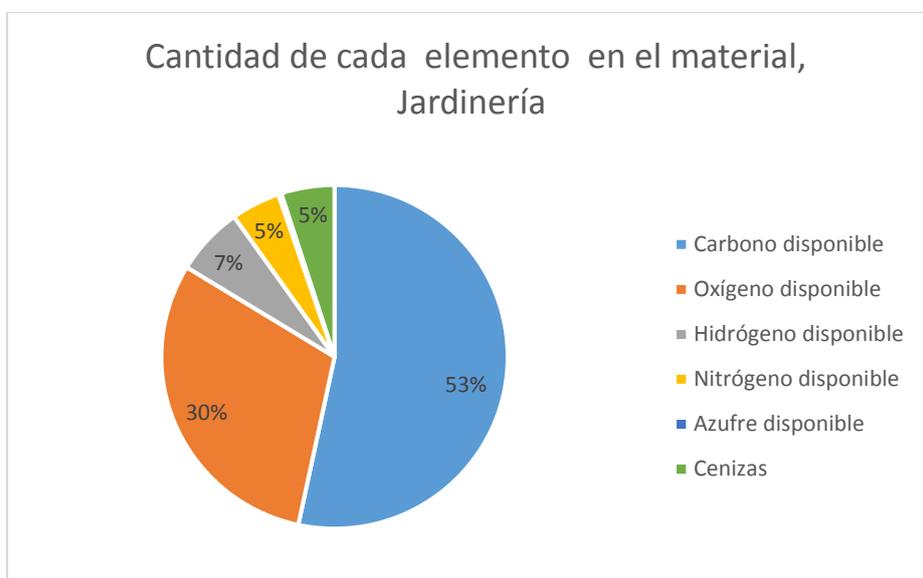


Gráfico 10: Elementos disponibles en el material de Jardinería de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Finalmente el programa arroja el número o valores totales de elementos disponibles para la biodegradación de los residuos dispuestos en el Relleno Sanitario Q (Gráfico 11), dando como resultado un 42% de carbón, 34% de oxígeno, 16% de cenizas, 6% de hidrógeno y 2% de nitrógeno.

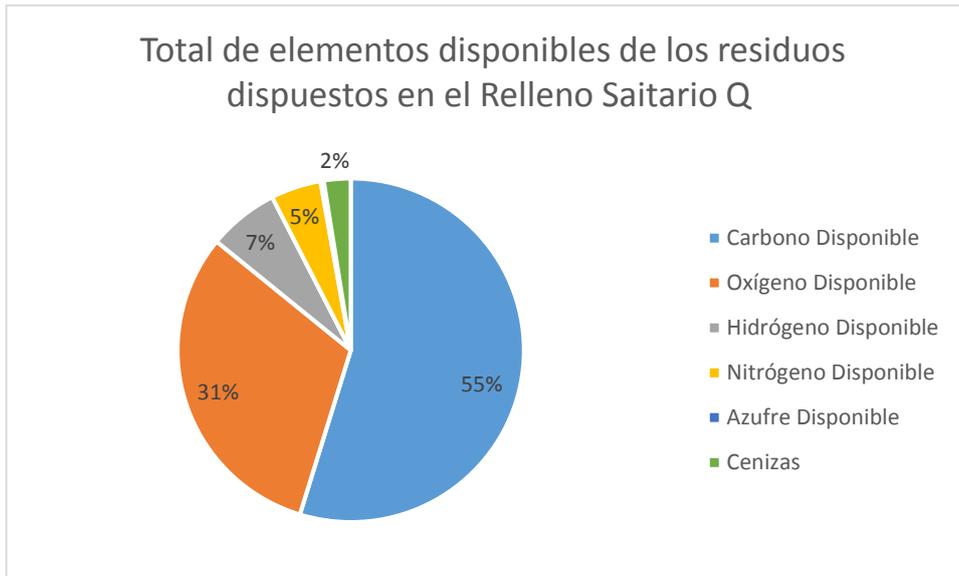


Gráfico 11: Elementos disponibles en los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Para el primer pronóstico que el programa propone en la hoja de cálculo básica (Imagen 10), donde se calculó el porcentaje de lixiviados y gases obtenidos por unidad (1 tonelada) de residuos sólidos se requieren datos adicionales del lugar (Tabla 6):

		elementos disponibles:					
		H-dispo	C-dispo	N-dispo	O-dispo	S-dispo	Cen-dispo
total H ₂ O	0.000228						
total	0.45526792						
Altitud (m sobre n.m.)	2468						
Temperatura	14.1						
Presión atmosférica	624.8						
factor a.c.d.l.	1.597						
presión atm (mm de Hg)	770						
Total		0.01709360	0.12823923	0.00584551	0.10516709	0.00091959	0.04881969
total		0.006837	0.004275	0.000167	0.002629	0.000368	0.019928
Secos activos							
lixiviados	0.102538						
Metano	0.20455						
Carbónico	0.1364467						
Amoniaco	0.0363532						
Agua	0.0881129						
S y ceniza	0.0028392						
gases total	0.0247672						
m ³ de gases a c.d.l.	0.020295						
factor a.c.d.l.	153.053296						
total	50.92857341						
gases total	44.8875041						

Imagen 10: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenostós V3- Datos adicionales del lugar.

Fuente: Alejandra Díaz

Datos adicionales del lugar				
Dato	Unidad	Valor	Fuente	
Altura	m.s.n.m	2468	Medición Realizada con GPS en el R.S-Q	Alejandra Díaz
Pendiente	%	4	Delgado, 2008	
Residuos Rápida-mente putrescibles	%	40	Tomado como porcentaje de descomposición	Greenleaf, 2008
Residuos lentamente putrescibles	%	25		
Residuos No Putrescibles	%	35		
Temperatura	°C	15,6	Temperatura promedio de la estación Meteorológica La Tola	INAMHI, 2014
Tipo de cubierta	Areno-limoso	0,332	Delgado, 2008	
Área Estimada del Cubeto 8	Metros cuadrados	31.902,42	EMGIRS-EP Ing. Luis Iza	
Espesor promedio de cubierta	Cm	35	EMGIRS-EP Ing. Luis Iza	
Precipitación Máxima Promedio	Mm	263,8	Precipitación Máxima promedio de la estación La Tola	INAMHI, 2014
Evaporación Potencial Máxima Promedio	Mm	293,6	Evaporación Potencial Promedio de la estación La Tola	INAMHI, 2014

Tabla 6: Datos Adicionales del lugar en el programa Corenóstos V3.

Fuente: Alejandra Díaz

En la (Imagen 11) del programa complementariamente se requiere el lapso de eversuría, o tiempo durante el cual se produce la descomposición de la basura (Intervalo a partir del cual la basura deja de constituir problema, que es lo que destaca el término). Para el Relleno Sanitario Q no se conoce el lapso de eversuría, pero el modelo Corenostós V3 propone datos sustentados por reflexiones teórico-prácticas (Tabla 7). El programa propone que en el primer año no se descompone basura, este proceso empieza en el segundo año, se mantiene la descomposición por un lapso de eversuría sugerido por el programa de 15 años, dentro de este período la descomposición más significativa se obtiene desde el segundo hasta el quinto año. Los meses en los que el Relleno será operado (en este caso los meses de operación del cubeto 8) también están dentro de los datos complementarios.

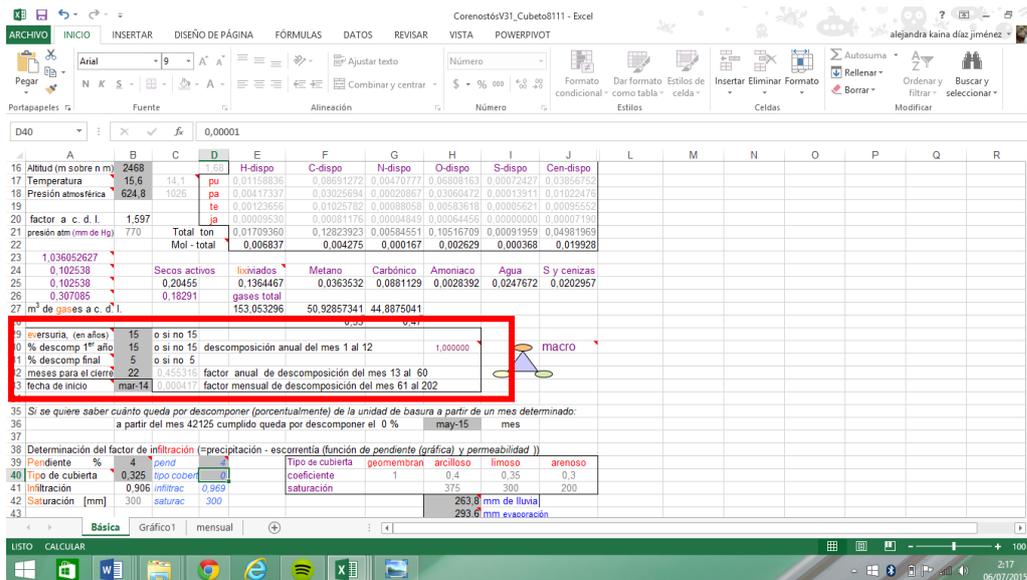


Imagen 11: Hoja de cálculo Básica del Modelo computacional Corenosotós V3-descomposición de los RSU dispuestos en el R.S-Q.
Fuente: Alejandra Díaz

Datos Temporales			
eversuria, (en años)	15	o si no 15	
% descomp 1er año	15	o si no 15	descomposición anual del mes 1 al 12
% descomp final	5	o si no 5	
meses para el cierre	22	0,455316018	factor anual de descomposición del mes 13 al 60
fecha de inicio	mar-14	0,000416667	factor mensual de descomposición del mes 61 al 202

Tabla 7: Datos Temporales para el programa Corenosotós V3.
Fuente: Alejandra Díaz

Después de ingresados todos los datos anteriores el programa muestra los primeros resultados en donde se muestra que la basura dispuesta en el cubeto 8 durante el periodo de marzo del 2014 hasta diciembre del 2014 en la hoja de cálculo Mensual (Imagen 12), la cual contiene 62% de putrescible, 8% de papel y cartón, 2% de textiles, 0% de jardinería y 27% de otros producirá 0,13644 metros cúbicos de lixiviados y 153,05 metros cúbicos de gases por tonelada descompuesta al 40 %. Y a su vez los 153,05 m³ de gases, estarán compuestos por un 53% de metano y un 47% de dióxido de carbono (Gráfico 12). La

hoja mensual expone la simulación o proyección que se tendrá mensualmente del volumen de lixiviados y gas obtenidos según la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, durante el periodo de actividad del cubeto.

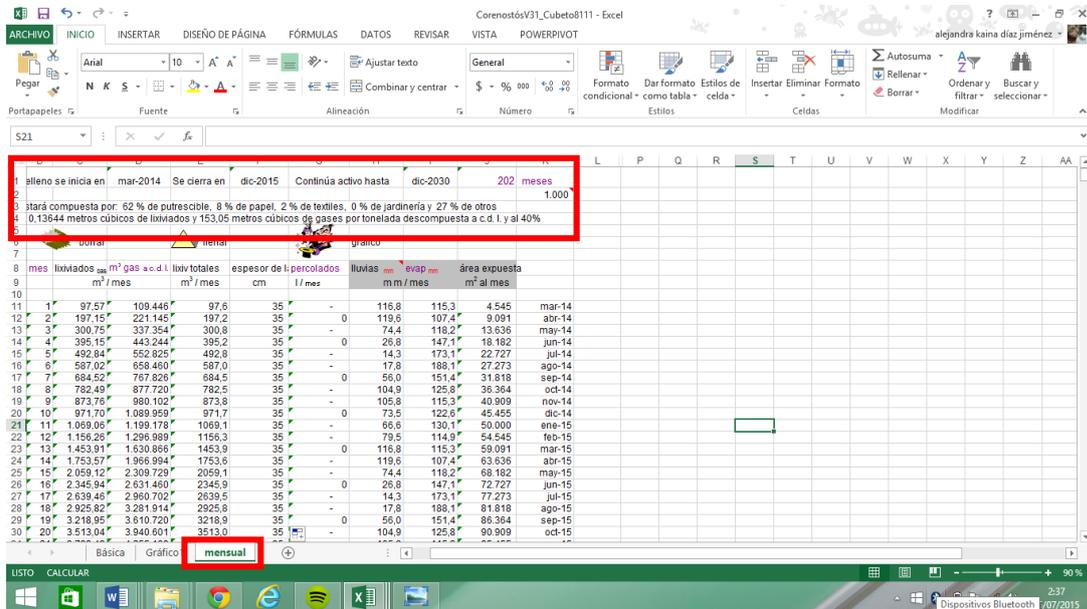


Imagen 12: Hoja de cálculo Mensual del Modelo computacional Corenostós V3- Elementos disponibles según RSU del DMQ.

Fuente: Alejandra Díaz

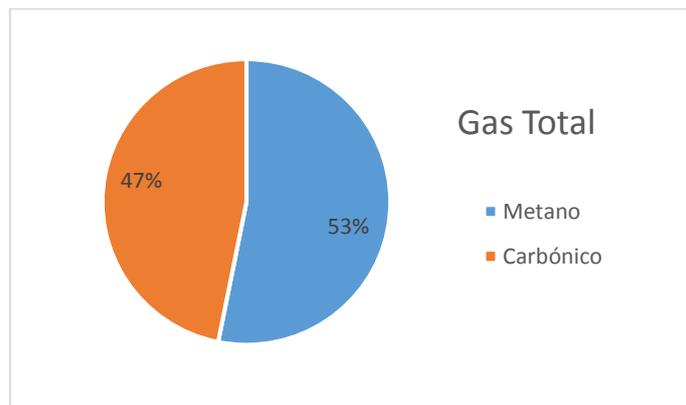


Gráfico 12: Composición de Gases Producidos de los RSU dispuestos en el R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

El siguiente paso para obtener la proyección es ingresar los datos de la basura mensual dispuesta en Relleno Sanitario Q. Se ha calculado el promedio de basura dispuesta en el relleno para los meses del año 2016 (Gráfico 13). El promedio calculado es 55.509 toneladas mensuales para la posible proyección del Cubeto 9. Durante las comparaciones realizadas se ha observado que la diferencia promedio de la basura dispuesta mensualmente es de 1.991 toneladas (Gráfico 14).

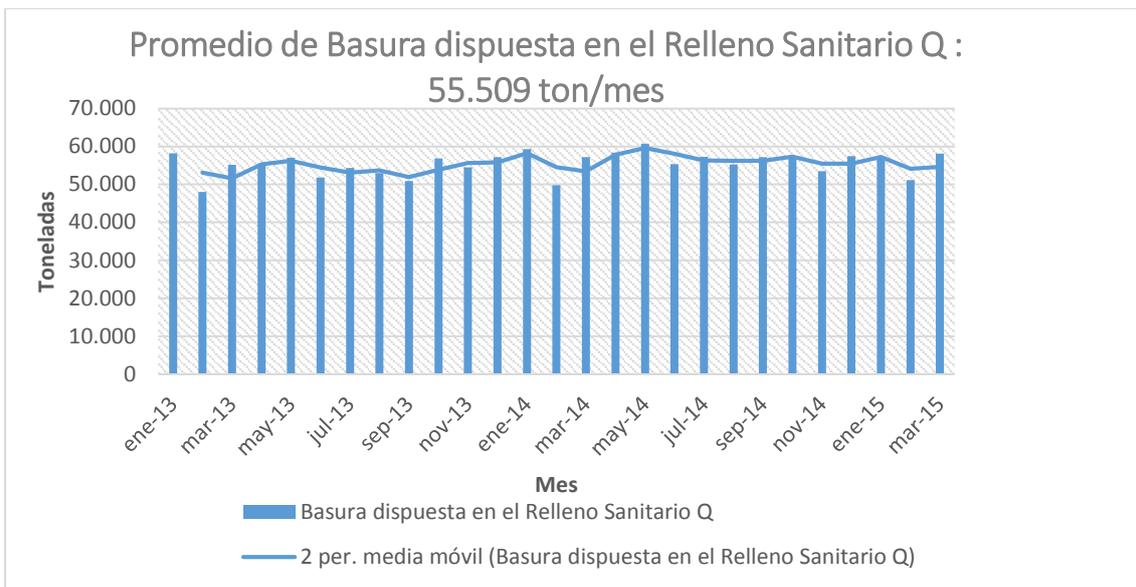


Gráfico 13: Promedio de Basura Dispuesta en el R.S-Q.
Fuente: Alejandra Díaz

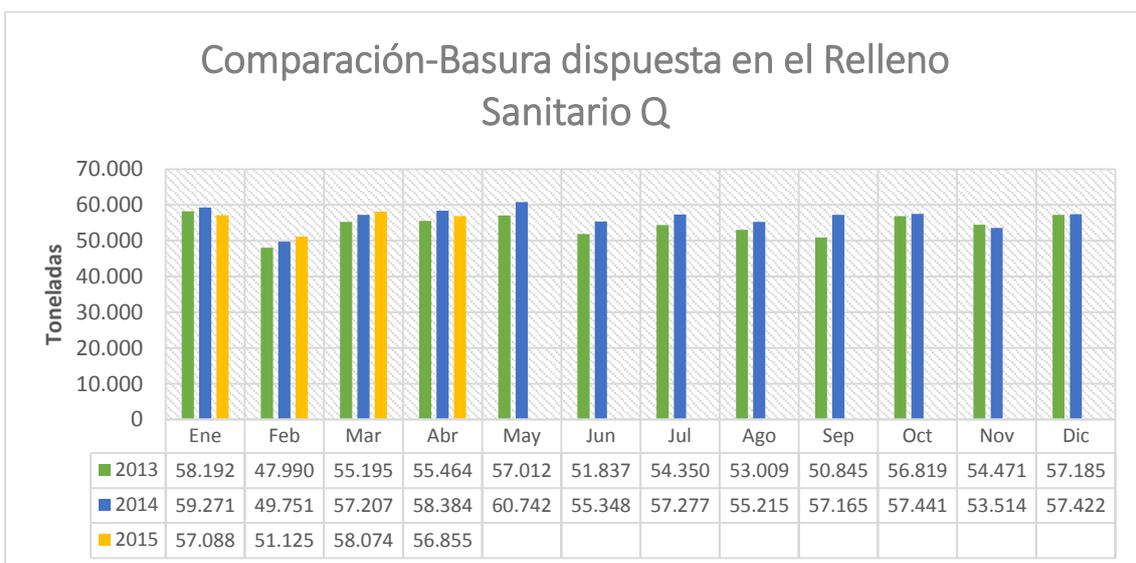


Gráfico 14: Comparación de RSU dispuestos en el R.S-Q de los años 2013-2015.

Fuente: Alejandra Díaz

Los datos de precipitación (Gráfico 15) y evaporación potencial (Gráfico 16) promedio de los últimos 25 años, se utilizaron en la hoja de cálculo Mensual, para el desarrollo de las proyecciones del cubeto 8 y cubeto 9 del Relleno Sanitario Q. Estos son datos de gran importancia para la predicción del volumen de lixiviados que la proyección obtendrá, debido al balance hídrico en el que se basa el modelo Corenostós V3.

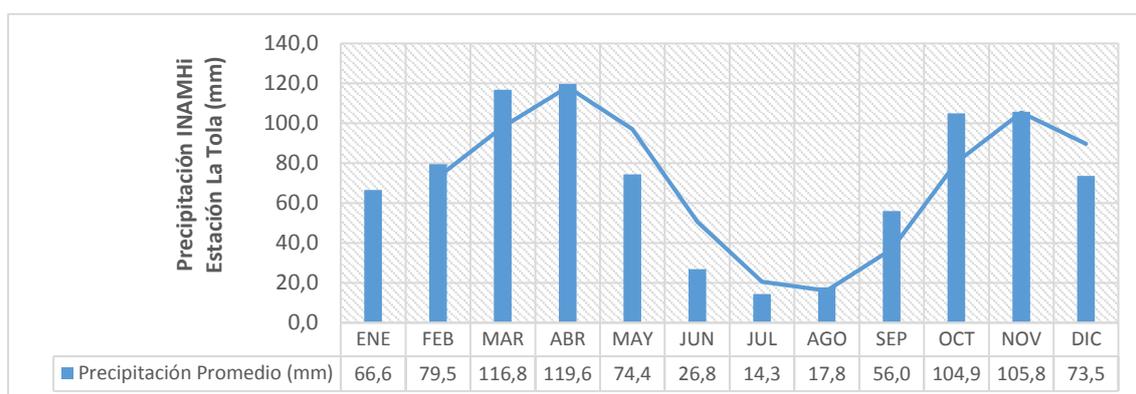


Gráfico 15: Datos de Precipitación promedio de RSU dispuestos en el R.S-Q de los últimos 25 años.

Fuente: INAMHI, 2015

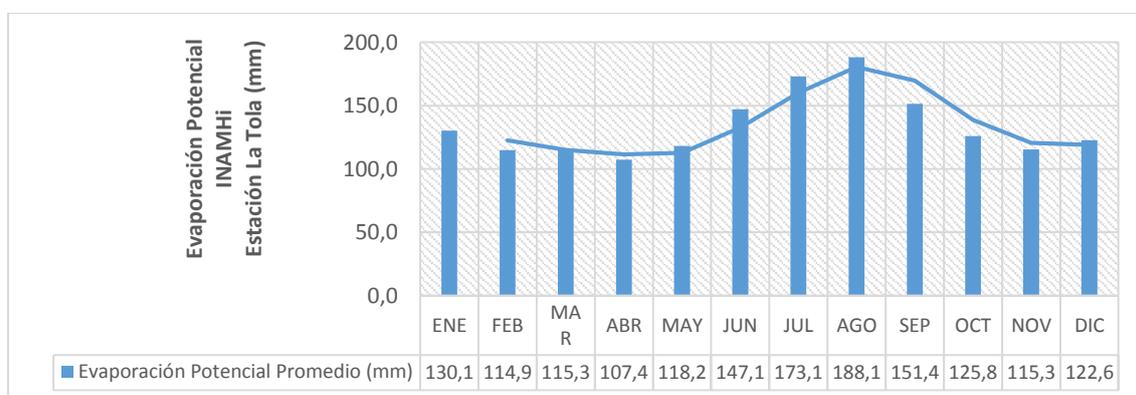


Gráfico 16: Datos de Evaporación Potencial promedio de RSU dispuestos en el R.S-Q de los últimos 25 años.

Fuente: INAMHI, 2015

Después de ingresados en las hojas de cálculo antes expuestas los datos se predice que la actividad del Cubeto 8 será hasta el 2029, es decir la vida activa del cubeto 8 son 16 años para su posible cierre técnico, asegurando que después de este lapso de tiempo el cubeto dejara de generar lixiviados (Gráfico 17) y emitir gases (Gráfico 18). Los resultados

(Anexo 1) han sido resumidos en la (Tabla 8) en donde se obtiene como tasa de generación de los 2 primeros años del cubeto 8 son del 32,23%. En el tercer año e inicios del cuarto año la tasa de generación de lixiviados y gases aumenta al 44,50%, produciéndose también para este año el pico de generación en el mes de enero del 2016 con 2.949,53 m³ de lixiviados y 3'308.506,74 m³ de gas. En lo que resta del cuarto año y el quinto año la tasa de generación baja a un 15,96%, el siguiente año 2019 la generación disminuye hasta el 4,54%. Y desde enero del 2020 hasta enero del 2029 se predice que la tasa de generación disminuye a un 2,54%, constante durante todo el periodo. Finalmente para lo que resta del año 2029 la tasa de generación disminuye a un 0,23%.

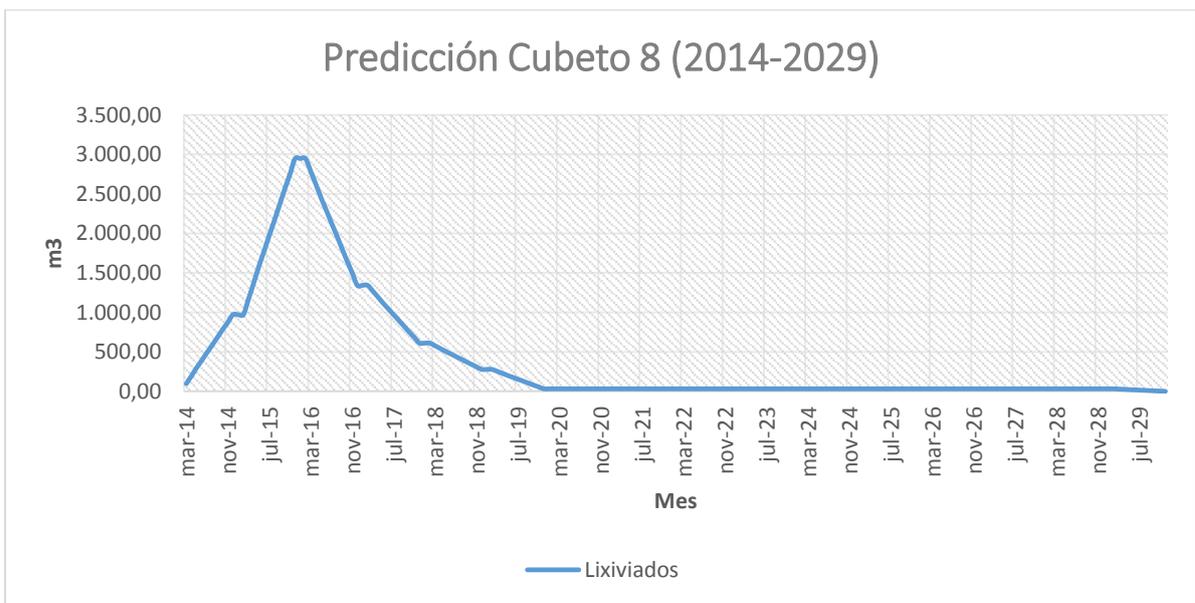


Gráfico 17: Predicción de generación de Lixiviados para el Cubeto 8 (2014-2030) del R.S-Q.
Fuente: Alejandra Díaz

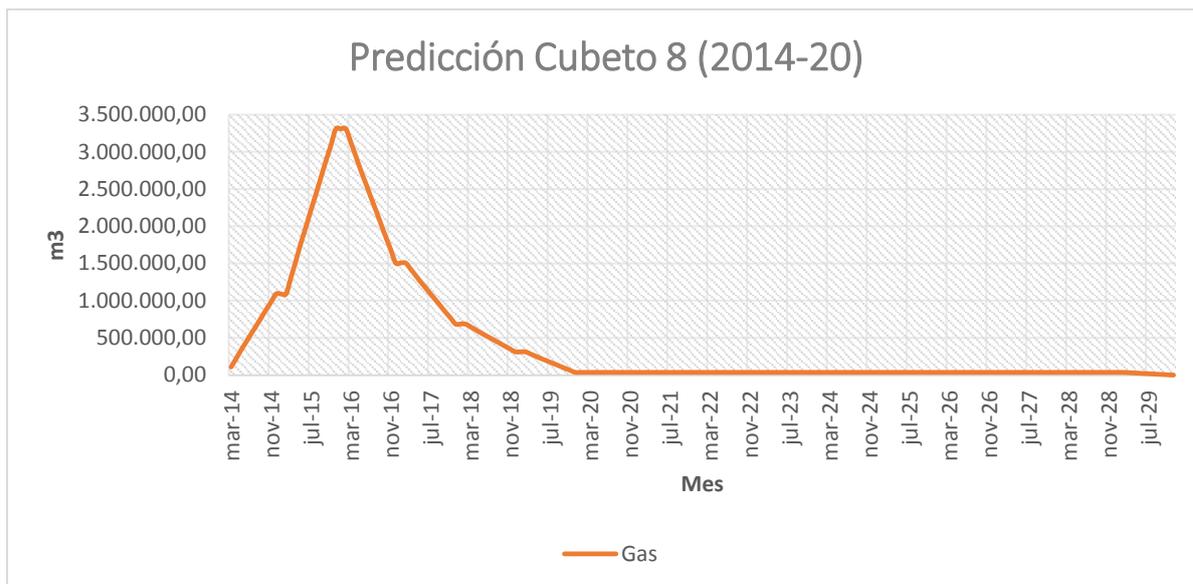


Gráfico 18: Predicción de emisión de gases para el Cubeto 8 (2014-2030) del R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

190 meses 16 años	Tasa de generación 2 primeros años (2014-2015)	32,23%	m3/mes	Lixiviados	Gas
	Tasa de generación 3er año(2016- inicio 2017)	44,50%	ene-16	2.949,53	3.308.506,74
	Tasa de generación 2 años siguientes (2017-2018)	15,96%	En Enero del 2016, Se obtendrán los picos de generación de lixiviados y gases del cubeto 8 en el Relleno Sanitario Q		
	Tasa de generación (2019)	4,54%			
	Tasa de generación (enero2020- enero 2029)	2,54%			
	Tasa de generación (2029)	0,23%			

Tabla 8: Resumen de resultados de Predicción del Cubeto 8 del R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Según el EMGIRS-EP, 2015 el proyecto del Relleno Sanitario Q está planificado hasta el término del año 2018, si el manejo y operación del R.S-Q siguen en las mismas condiciones antes recopiladas, el Cubeto 9 necesitaría 8 hectáreas para cumplir con la fecha propuesta. Además se predice que la actividad del Cubeto 9 será hasta el 2033, es decir la vida activa del cubeto 9 son 18 años para su posible cierre técnico, asegurando que después de este lapso de tiempo el cubeto dejara de generar lixiviados (Gráfico 19) y emitir gases (Gráfico 20). Los resultados (Anexo 2) han sido resumidos en (Tabla 9) obteniendo como tasa de generación de los primeros años, es decir los años de operación

del cubeto 8 son apenas del 21,26%. En el tercer y cuarto año la tasa de generación de lixiviados y gases aumentaría a un 48,59%, produciéndose también para este año el pico de generación en el mes de diciembre del 2018 con 6.154,85 m³ de lixiviados y 6'903.941,85 m³ de gas. En los dos años siguientes la tasa de generación baja a un 22,44%, el siguiente año la generación disminuye hasta el 3%. Y desde diciembre del 2023 hasta febrero del 2029 se predice que la tasa de generación de 3%, será constante durante todo el período. Para lo que resta del año 2029 hasta el 2032 la tasa de generación disminuye hasta el 0,69% y en el último año llega al final de la generación con una tasa de 0,07%.

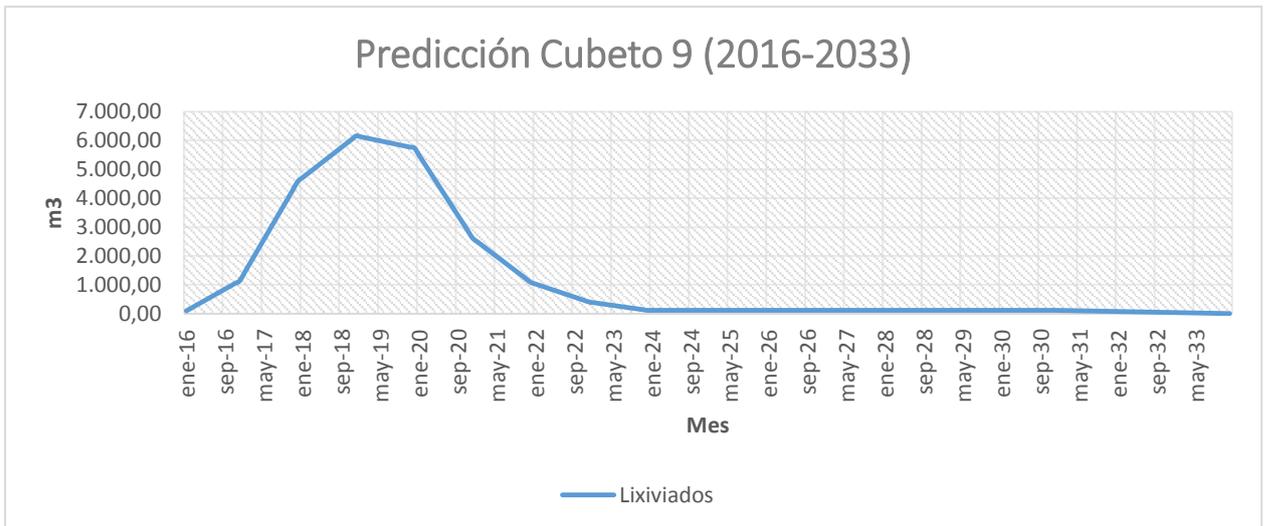


Gráfico 19: Predicción de generación de Lixiviados para el Cubeto 9 (2016-2033) del R.S-Q.
Fuente: Alejandra Díaz

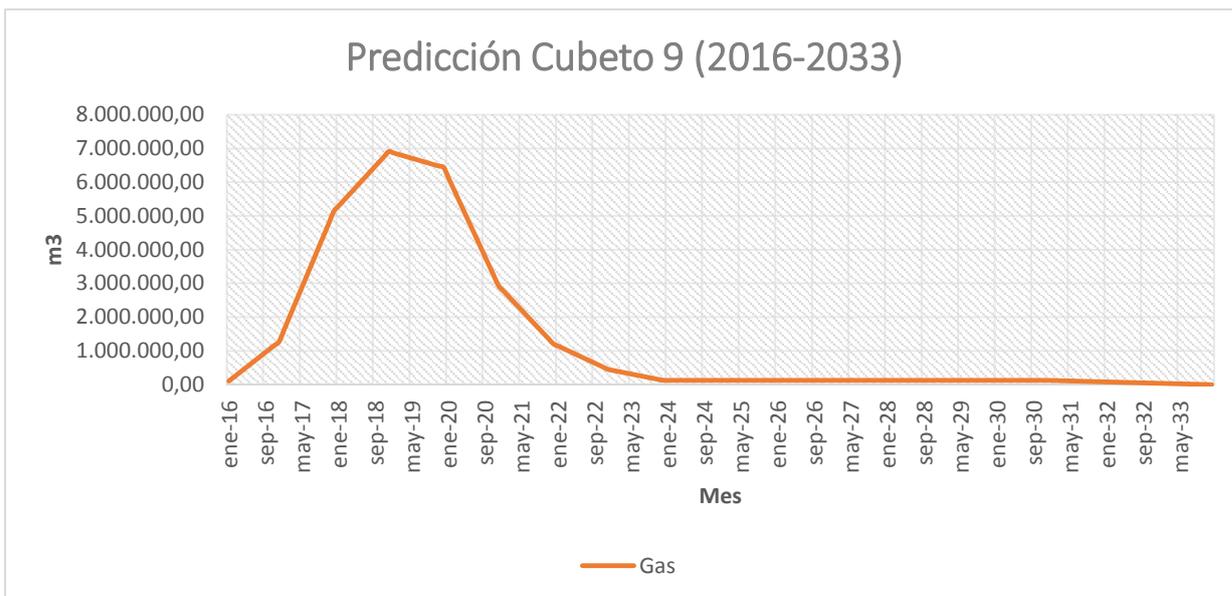


Gráfico 20: Predicción de emisión de gases para el Cubeto 9 (2016-2033) del R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

216 meses 18 años	Tasa de generación primeros años (2016- mar 2018)	21,26%	m3/mes	Lixiviados	Gas
	Tasa de generación (abr 2018- feb 2020)	48,59%	dic-18	6.154,85	6.903.941,86
	Tasa de generación (mar 2020-feb 2022)	22,44%	En Diciembre del 2018, Se obtendrán los picos de generación de lixiviados y gases del cubeto 8 en el Relleno Sanitario Q		
	Tasa de generación (mar 2022- nov 2023)	3%			
	Tasa de generación (dic 2023- nov 2030)	3%			
	Tasa de generación (dic 2030-dic 2032)	1%			
	Tasa de generación último año	0%			

Tabla 9: Resumen de resultados de Predicción del Cubeto 9 del R.S-Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Para el año 2013 el total de lixiviados acumulados fue de 82.469,38 m³ y en el año 2014 se obtuvo un total de 98.000 m³ recolectado de los 3 cubetos activos (cubeto 6,7 y 8) (EMGIRS-EP, 2015). Lo cual muestra una producción de 15.530,62 m³, es decir un valor de 5.176,87 m³ de lixiviados obtenidos de un cubeto para el año 2014. Según los datos arrojados el valor estimado de producción anual de lixiviados por el programa Corenostós V3 es de 4.572,69m³ (Anexo 1) de donde se ha obtenido un error absoluto de 604,18 m³ y un error relativo de 12 %.

Según (Chapra y Canale, 2007) el cálculo del error Absoluto y Relativo se pueden obtener mediante las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}\text{Error Absoluto} &= \text{Valor Real} - \text{Valor Estimado} \\ \text{Error Absoluto} &= 5.176,87\text{m}^3 - 4.572,69\text{m}^3 \\ \text{Error Absoluto} &= 604,18 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Error Relativo} = \frac{\text{Valor Real} - \text{Valor Estimado}}{\text{Valor Real}} * 100$$

$$\text{Error Relativo} = \frac{5.176,87 - 4.572,69}{5.176,87} * 100$$

$$\text{Error Relativo} = 12\%$$

En la actualidad el proceso de tratamiento de lixiviados que realiza EMGIRS-EP está compuesto por dos tipos de etapas, la etapa química realizada en la planta VSEP y la etapa biológica en combinación con procesos físicos en la planta MBR, el tratamiento abarca tanques de aireación, lodos activados, ultrafiltración (MBR), Osmosis Inversa y Fito-depuración.

EMGIRS-EP posee 13 piscinas en las cuales se almacena, acumula y trata los 104.180,29 m³ de lixiviados como pasivos ambientales reportados hasta mayo del 2015 en el Informe Técnico de EMGIRS-EP. El inicio del proceso se encuentra en la captación de lixiviados en la piscina 9 en donde se encuentra un sistema de aireación mediante aspersion, ubicada al pie del cubeto activo No. 6 y posee una capacidad de 36.000m³, la misma que se conecta al sistema de bombeo, proceso transversal a todo el tratamiento, utilizado para movilizar el lixiviado desde un punto del sistema a otro.



Fotografía 4: Panorámica de la piscina 9 de captación de lixiviados, al pie de los cubetos activos 6, 7 y 8 del Relleno Sanitario Q.

Fuente: Alejandra Díaz

A continuación el lixiviado pasa por la piscina 20 con capacidad de 3000m^3 , conectada al proceso de homogeneización inicial en las piscinas 2, 3 y 4, con la piscina 1 de almacenamiento con capacidad de 3000m^3 . Este lixiviado homogeneizado pasa por la planta VSEP en donde se realiza el tratamiento químico del lixiviado que será recirculado en las mejores condiciones para el tratamiento biológico. La planta de tratamiento VSEP fue adquirida para complementar y acelerar el tratamiento de los lixiviados.



Fotografía 5: Planta de tratamiento de lixiviados VSEP del Relleno Sanitario Q.
Fuente: Alejandra Díaz

Después se recircula el lixiviado tratado químicamente a las piscinas de aspersión 16 y 17 con una capacidad aproximada de 17.000 m³, y continuar con las piscinas 14 y 15 (capacidad aproximada de 5000m³) de tratamiento de lodos activados, tratando de disminuir las altas concentraciones de DBO que presentan los lixiviados en general. Siguiendo con la planta MBR o Biorreactores con membrana de ultrafiltración, en donde se utiliza los sistemas biológicos de tratamiento o membranas de ultrafiltración para la separación sólido-líquido. La cual es muy eficiente en términos de remoción de DBO, pero igualmente las complicaciones que presenta al operar y mantener las membranas son significativas, esto debido al *aumento de biomasa dentro del reactor y los posibles taponamientos que las membranas presentan* (Giraldo, 1997).



Fotografía 6: Piscinas 14 y 15 de aspersión del Relleno Sanitario Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Todos los procesos antes realizados son efectivos para el proceso a continuación de Osmosis Inversa, debido a que este posee un excelente rendimiento *en concentraciones relativamente bajas (menores a 1000 mg/L)*, es decir este sistema de purificación de agua es excelente en lixiviados viejos que han tenido un pre-tratamiento previo (pp.51). El sistema de tratamiento de lixiviados también cuenta con lechos de Fito-depuración, pero ya que este no cuenta con la vegetación necesaria, este actúa únicamente como un filtro biológico adicional, más no con la función de depurador.



Fotografía 7: Tratamiento de Fito-depuración del Relleno Sanitario Q.

Fuente: Alejandra Díaz

Finalmente el proceso concluye con una última homogenización y descarga, en donde se realiza una mezcla de los lixiviados tratados procedentes del sistema de Osmosis Inversa y de lechos de fito-depuración, antes de la descarga EMGIRS-EP se realiza el análisis del efluente descargado al Rio Inga mediante la asociación con un laboratorio avalado por la OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriana). Según las indagaciones realizadas sobre el tipo de desechos generados del tratamiento de lixiviados se obtuvo que sus únicos desechos son lodos provenientes del proceso de tratamiento biológico, de las piscinas 14 y 15, los cuales no han sido removidos desde el inicio de su operación (abril 2006 según EMGIRS-EP) hasta la fecha. El sistema posee adicionalmente 3 piscinas de almacenamiento y el lixiviado es recirculado por las 13 piscinas, ya que estas están interconectadas entre ellas (EMGIRS-EP, 2015).

EMGIRS-EP ha implementado un pre-tratamiento anaerobio, el cual es un proceso de recirculación de lixiviado por el cubeto 4. En donde se pretende utilizar al relleno sanitario

como un gran reactor anaerobio (bioreactor), de tal manera que dentro del mismo relleno se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado. Al recircular los lixiviados se aumentan la humedad de los residuos dispuestos, que a su vez generan un aumento de la tasa de producción de gas metano en el relleno. *Las experiencias indican que entre 3 y 10 años se debe recircular un lixiviado para generar los efectos de tratamiento requeridos (Giraldo, 1997).*

Mientras que para el cálculo de la energía que se puede obtener del relleno sanitario de Quito se debe tener en cuenta el valor calorífico del metano (10 kWh/m³) (FAO, 2011) y la concentración de metano obtenida del relleno Sanitario Q. Con los datos descritos el potencial energético de 1 m³ de biogás del relleno sanitario puede ser obtenido mediante la siguiente fórmula expuesta en el estudio de factibilidad para la implementación de una central eléctrica de aprovechamiento de Biogás generado en el Relleno Sanitario Q del Inga de Crisanto, 2013:

$$\text{Potencial Energético de biogás} = \%CH_4 \times \text{valor calorífico (kWh/m}^3\text{)}$$

$$\text{Potencial Energético del Biogás} = 53\% * 10 \text{ (kWh/m}^3\text{)}$$

$$\text{Potencial Energético de biogás} = 5,3 \text{ kWh/m}^3$$

Con el valor obtenido del potencial energético y la eficiencia promedio del motor de combustión (38%) (Crisanto, 2013) se puede calcular la potencia eléctrica neta que se podría obtener en cada mes si se planifica un adecuado sistema para el manejo de gases.

$$\text{Potencial eléctrico (neto)} = \text{Vol. Biogás} \times \text{P. energético} \times \text{eficiencia generador}$$

El potencial eléctrico neto calculado con los datos mensuales arrojados por el programa Corenostós V3 para el cubeto 8 está descrito en el (Anexo 3) en donde se aprecia el gran potencial de aprovechamiento de biogás del Relleno Sanitario Q. Si se lograra captar eficientemente por lo menos un 80% del volumen de biogás generado, la central eléctrica de Biomasa podría generar hasta 10 MWh y un mínimo de 5MWh.

En la (Tabla 10) se describe el pico del año 2016 de 47'883. 225, 50 kWh/ año es decir 59MW/ día lo cual sería complicado de recolectar e incluso generar, por los costos que representa la implantación de una central eléctrica para ese potencial y la eficiencia de la planta. Sin embargo, como la planta de generación eléctrica no puede ser instaladas en base a un pico de producción sino en aquella cantidad constante que se vea reflejado durante todo el periodo de vida útil establecido para la planta y producción de gas del Relleno Sanitario Q.

Si se logra captar 9'926.799,64 kWh/año es decir para la generación de 27 MW/ día se lograría obtener 109 millones de dólares por la venta de energía. Pero como se observó la curva de generación posee un periodo de generación constante bastante amplio (2020-2028) en donde se observan una producción captable de 702.457,09 kWh/año es decir 2MW/ día recaudando 77 mil dólares anuales, este sería un indicador muy efectivo a la hora de implementar una planta de generación eléctrica. Y observando en el peor de los casos en el que solo se pueda recolectar un mínimo de 378.171,80 kWh/año es decir 1MW/ diario, se obtendría 42 mil dólares cada año.

			Captación 100% de la Proyección		Captación 80% de la Proyección	
	Volumen de Biogas	Potencial Energético	Potencial eléctrico (neto)	Precio	Potencial eléctrico (neto)	Precio
	m3	kWh	kWh	cUSD	KWh	cUSD
Año 2014	6.038.082,61	32.001.837,84	12.160.698,38	\$ 1.343.757,17	9.728.558,70	\$ 1.075.005,74
Año 2015	25.369.669,36	134.459.247,62	51.094.514,10	\$ 5.645.943,81	40.875.611,28	\$ 4.516.755,05
Año 2016	29.718.983,06	157.510.610,21	59.854.031,88	\$ 6.613.870,52	47.883.225,50	\$ 5.291.096,42
Año 2017	13.531.529,03	71.717.103,87	27.252.499,47	\$ 3.011.401,19	21.801.999,58	\$ 2.409.120,95
Año 2018	6.161.121,92	32.653.946,18	12.408.499,55	\$ 1.371.139,20	9.926.799,64	\$ 1.096.911,36
Año 2019	2.218.805,89	11.759.671,24	4.468.675,07	\$ 493.788,60	3.574.940,06	\$ 395.030,88
Año 2020	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2021	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2023	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2024	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2025	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2026	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2027	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51

Año 2028	435.983,79	2.310.714,10	878.071,36	\$ 97.026,88	702.457,09	\$ 77.621,51
Año 2029	234.714,37	1.243.986,17	472.714,74	\$ 52.234,98	378.171,80	\$ 41.787,98

Tabla 10: Potencial energético y potencial eléctrico neto anual del volumen de biogás proyectado para el cubeto 8 del R.S-Q al 100% y 80% de captación.

Fuente: Alejandra Díaz

En la actualidad la empresa GASGREEN S.A subcontratada por EMGIRS-EP para el manejo de gases emitidos ha centralizado la desgasificación del Relleno Sanitario de Quito, mediante la instalación de una central de aspiración y combustión. Este sistema en el cual conecta las chimeneas de captación de gas horizontal con tuberías secundarias a estaciones de regulación, las cuales a su vez están unida con tuberías primaria que conducen a la instalación de aspiración y combustión, en donde se ubican equipos de succión del biogás, depuración y combustión controlada en el quemador o chimenea. La quema controlada se realiza durante toda la noche, sin ningún aprovechamiento energético.

El gas captado en la actualidad es escaso a lo que realmente se genera en los cubetos, debido a que los cubetos poseen gran dispersión en medida de su área de cobertura. Mientras que la dispersión horizontal controlada por el equipo de aspiración garantiza un porcentaje de eficiencia del equipo instalado, en medida de 1.251 m³/h a un 100% de eficiencia, y 718m³/h en un 50 % de eficiencia (Crisanto, 2013). Pese a que la fluctuación del gas generado es un factor positivo dentro del contexto del diseño adecuado de rellenos sanitarios, debido a que una acumulación de gases dentro del relleno es altamente riesgoso.

Un manejo adecuado y un aprovechamiento eficiente de biogás, conllevaría a una enorme gama de beneficios tanto económicos como socio-ambientales, como lo es la evasión de malos olores o fuente de contaminación atmosférica, implicando un mejoramiento en la

calidad de vida de la población aledaña. Los proyectos eficientes de generación de energía eléctrica mediante la captación de biogás como un suministro de energía fiable, ecológica y al menor coste posible, recae en la esencia de un verdadero negocio rentable y sostenible.

Según los estudios de factibilidad realizados por la empresa GASGREEN S.A. para la producción y captación de biogás del relleno sanitario se enmarcaría dentro de la categoría de biomas y biogás menores a 5MW, ya que ellos estiman una captación de valores mayores a 200 m³/h, en donde se ha tomado como valor mínimo de producción de 4MW, reflejando así el peor de los escenarios para el cálculo de costos se ha optado por considerar un precio de 0,1105 USD por kilovatio hora, como se expone en el precio de la Energía establecido por el CONELEC en el 2011 (Tabla 11), a continuación:

Centrales	Territorio Continental Precio (cUSD/kWh)	Territorio Insular de Galápagos Precio (cUSD/kWh)
EOLICAS	9.13	10.04
FOTOVOLTAICAS	40.03	44.03
BIOMASA – BIOGAS <5 MW	11.05	12.16
BIOMASA-BIOGAS >5 MW	9.60	10.56
GEOTERMICAS	13.21	14.53

Tabla 11: Precio preferencial de pago para generación de electricidad con Energías Renovables.

Fuente: Consejo Nacional de Electricidad Regulación N° CONELEC-004/11, 2011.

El cálculo del precio por la venta del Biogás proyectado para el cubeto 8 se expone en la (Tabla 10), en donde se pudo observar el precio en los casos de ser captado el 100% y 80% de biogás pronosticado para los años de actividad del Cubeto 8. Mediante el estudio de Factibilidad para la implementación de una central eléctrica aprovechando el Biogás generado por el Relleno Sanitario Q de Crisanto, 2013 se observaron los posibles costos en los que se verá inmiscuido el Relleno Sanitario Q para la implantación de una central

eléctrica de 5MW para aprovechamiento de su Biogás expuestos en la (Tabla 12) a continuación:

Costos para aprovechamiento de Biogás en una Central de generación Eléctrica			Sumatoria	Porcentaje de costos	
			\$ USD	%	
Inversión Inicial	Permisos y Concesiones	Egresos	-6.130,00	-5.243.987,08	0,09
	Costos de equipos y auxiliares mayores		-4.397.410,92		66,03
	Costos de construcción de obra civil		-92.240,00		1,39
	Costos de construcción de obra eléctrica		-171.080,00		2,57
	Costos deservicio e insumos estimados		-210.490,41		3,16
	Costos de puesta en marcha		-116.971,13		1,76
	Imprevistos		-249.664,62		3,75
Mano de obra directa			-139.860,00	-139.860,00	2,10
Mano de obra indirecta			-204.198,00	-204.198,00	3,07
Suministros			-89.781,00	-89.781,00	1,35
Costos de operación			-792.963,00	-792.963,00	11,91
Mantenimiento			-65.149,27	-65.149,27	0,98
Mantenimiento Mayor			-123.500,00	-123.500,00	1,85
Total				-6.659.438,35	-6.659.438,35

Tabla 12: Costos para construcción de una central de generación eléctrica mediante el uso de biogás en el Relleno Sanitario Q.

Fuente: Crisanto, 2013.

Finalmente se expone el caso en el que se logre captar 1'912.333,23 m³ de biogás del Relleno Sanitario Q, la implantación de una central eléctrica de 5MW sería factible según el análisis costo-beneficio en donde se calcularía el valor actual neto dentro de 16 años de producción de biogás. Con un mínimo de generación de 1MW/ hora es decir 121.624.393,70 kWh/ anual, para un efecto de 5'107.008,29 dólares. Los valores antes obtenidos de la proyección expresan únicamente la generación de gas de uno de los tres cubetos activos en la actualidad. Por lo cual es factible la implantación de la planta generadora de gas para la obtención de 2 millones de m³ de biogás mensual para los 3 cubetos activos actualmente. Solo analizando el caso del cubeto 8, la implantación de una

planta de generación eléctrica de 5 MWh, cubriría la siguiente área bajo la curva, indicada en el siguiente (Gráfico 21):

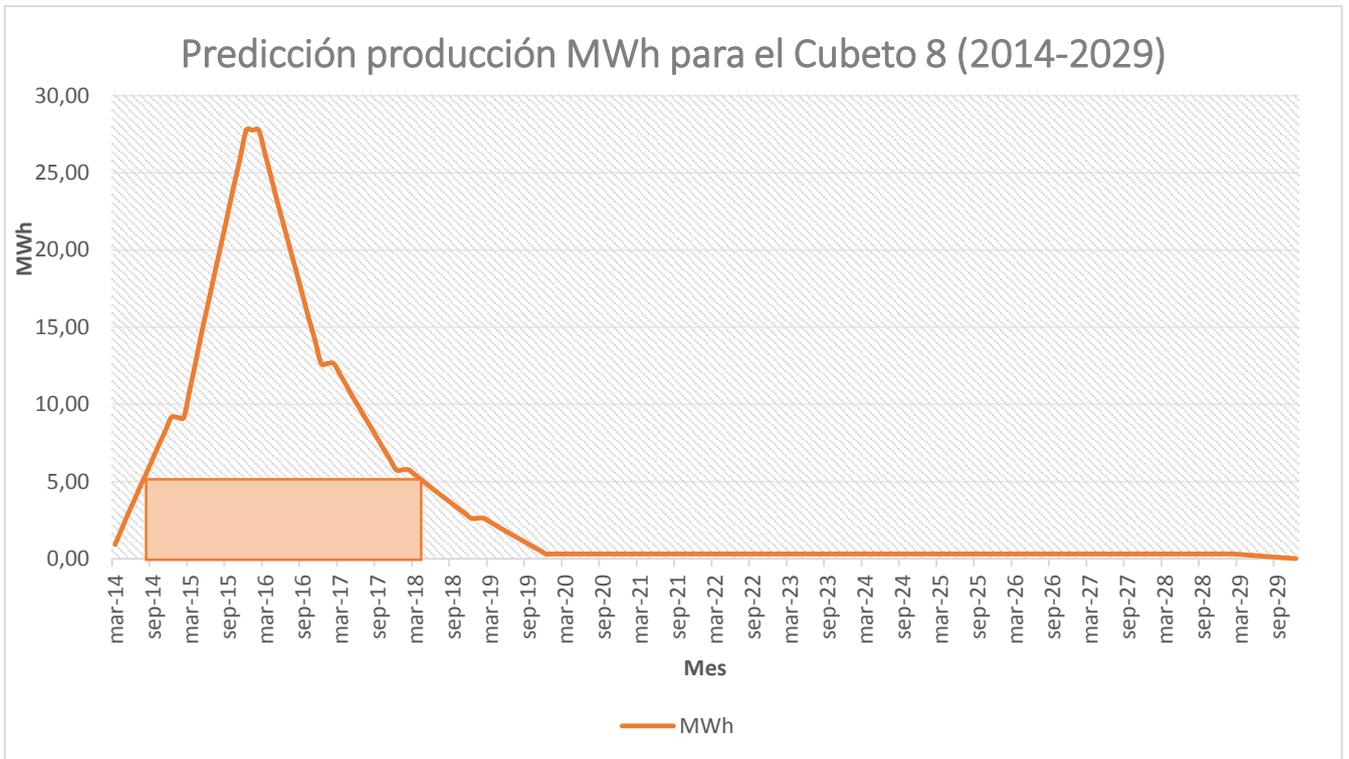


Gráfico 21: Predicción producción de MWh para el Cubeto 8 (2014-2029) del R.S-Q.
Fuente: Alejandra Díaz

El escenario descrito es reflejado en el análisis y cálculo del valor actual neto (Anexo 4), como resultado se obtuvo que la implementación de un proyecto para el aprovechamiento de biogás del R.S- Q, es sumamente beneficioso y altamente rentable, el flujo neto actualizado o también llamado valor actual neto (VAN) de capital durante los 16 años generarán ganancias que llegan a los 25'201.788,53 dólares, con una tasa interna de retorno (TIR) de 58% esto indica que la tasa de rentabilidad es superior a la tasa establecida en el país para una rentabilidad de una inversión en un año. Como es el caso de la tasa de descuento del Banco Central del Ecuador la cual posee el 8,81%, la misma que fue utilizada para el cálculo del flujo neto actualizado.

Como antes nombramos la esencia de un verdadero negocio rentable y sostenible, recae en un suministro de energía al menor coste y fiable, y que mejor si es un desecho, el proyecto básicamente estaría obteniendo dinero de la basura. El conseguir una buena y fiable proyección se basa en la veracidad de los datos con los que se alimenta al programa, entre más cercanos a la realidad sean los datos las proyecciones serán más certeras. Es importante el poder incluir dentro de un diseño pronósticos que solidifiquen las bases del mismo, de esa manera se eliminan en su mayoría los imprevistos que pueda ocurrir, tales son los casos de construcción y destrucción de piscinas para lixiviados, reforzamiento de taludes de las piscinas de lixiviados, la quema y pérdida de gas emitido del relleno sanitario, si se eliminaría este tipo de imprevistos se ahorraría millones de dólares que la empresa invierte cuando estos aparecen, mediante estas proyecciones se observan los futuros riesgos y beneficios que pueden suceder, y que mejor si se está preparado.

Capítulo 5

Conclusiones

- * El pronósticos del modelo Corenostós V3 es aplicable para el Relleno Sanitario Q del Distrito Metropolitano de Quito, que se ha constatado mediante el cálculo del error absoluto y relativo los cuales son muy bajos, en base al volumen de lixiviados producidos en promedio de un cubeto del Relleno Sanitario Q en el año 2014 (datos obtenidos gracias la colaboración de EMGIRS-EP) comparados con el volumen de lixiviados en promedio pronosticado por el modelo computacional Corenostós V3 para el año 2014.
- * No se pudieron comparar los resultados obtenidos de la proyección de gases ya que el sistema de captación del Relleno Sanitario no garantiza la captación absoluta o total de biogás generado, sería errado tratar de comparar datos que no son representativos a la realidad.
- * El uso o aplicación del modelo en el diseño de rellenos sanitarios puede disminuir en términos monetarios los imprevistos a los que se puede enfrentar un relleno sanitario, generando un adecuado diseño, en donde se conozca el volumen de lixiviados que se necesitará tratar, de tal manera que se pueda garantizar la mejor selección del sistema y equipo de tratamiento evitando gastos innecesarios. Incluso ayudaría a que el diseño del propio relleno sanitario sea ordenado y se pueda contar con el área necesaria de disposición de los residuos sólidos, fundamentando una base sólida para evitar repercusiones como pasivos ambientales, que es una de las realidades que en la actualidad EMGIRS-EP enfrenta.
- * Es importante incluir en la construcción y diseño de rellenos sanitarios al menos un tipo de modelo computacional con bases teórico-científicas sólidas para un diseño analítico, y no únicamente diseños empíricos como se ha venido manejando el campo de construcción de rellenos sanitarios a nivel nacional.
- * El modelo podría ser aplicado en más provincias del país siempre y cuando los datos con los que el programa sea alimentado sean fiables, Corenostós V3 es un programa basado en la metodología de la EPA para el balance hídrico y de descomposición de los residuos sólidos, además ha sido analizado y corregido para el su uso en América Latina, ya que se conoce que el problema del manejo adecuado de residuos sólidos es mucho más social que técnico. Usualmente las

tasas de producción de gas y lixiviados de rellenos sanitarios son superiores en países en vías de desarrollo, de países desarrollados, por lo que no se puede decir que la basura en América Latina no es la misma que la Norte Americana.

- * El presente estudio puede ser factible para un posteriores estudios de eficiencia de métodos de captación de gases y el sistema de drenaje de lixiviados generados, diseño analítico del cubeto 9 y diseño de turbinas de generación eléctrica con el aprovechamiento del biogás pronosticado, incluso conocer los períodos en donde el aprovechamiento es completamente efectivo generará una fuerte ganancia de capital. Y primordialmente el diseño analítico del cierre técnico del Relleno Sanitario Q que no se ha realizado hasta el momento en ningún relleno a nivel nacional.

Recomendaciones

Público en general que requiera del uso del modelo computacional Corenostós V3 para el diseño analítico de un Relleno Sanitario.

- Se recomienda obtener datos certeros de las características de composición y humedad de los Residuos sólidos urbanos que se vayan a disponer en el relleno sanitario, aun mejor si se obtiene datos certeros por compuesto de carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre de los residuos.
- Se recomienda el uso de datos geotécnicos y meteorológicos lo más cercanos a la realidad del área donde se planifica y construirá el relleno sanitario, así también como los datos del tonelaje dispuesto en el relleno sanitario.
- Se recomienda tomar los datos de proyección de lixiviados y gases, para el diseño de las piscinas y tratamiento que se empleará con los lixiviados obtenidos, e incluso la selección del método más eficiente de captación de gases.
- El autor del modelo Corenostós V3, recomienda que la ubicación para un relleno sanitario sea un área que tenga una profundidad mayor de nueve metros desde la superficie hasta alcanzar el suelo con la roca dura, que sea un suelo con una pendiente del paisaje edáfico entre 3 y 12 %; que la permeabilidad sea baja, menor que 10^{-5} cm/s; que sea un suelo de arena gruesa, que tenga un pH >que 6,0 es decir alcalino; que no se inunde y que no tienda a sufrir deslizamientos ni asentamientos. Se debe considerar el mejor de los escenarios en el caso de que la naturaleza del lugar no presente todas las consideraciones antes nombradas.

La Empresa Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Quito (EMGIRS-EP).

- Se recomienda realizar el estudio de Análisis de Riesgos del Relleno Sanitario Q, ya que la construcción, operación y cierre técnico de un relleno sanitario representa un gran riesgo ambiental y social, además del riesgo que representan los sustratos en el callejón interandino en donde se ubica el DMQ, debido a su naturaleza la tendencia a sufrir deslizamiento es considerar el mejor lugar para la disposición. El incluir planes de contingencia en caso de incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos graves y derrames accidentales de combustibles no estarían demás.
- El autor del modelo Corenostós V3 recomienda que en rellenos sanitarios con alturas mayores de quince metros con respecto a la base del cubeto, es necesario hacer estudios hidráulicos para el manejo de las presiones piezométricas y evitar el aumento de la presión de poros dentro de la masa de basura que puede causar problemas de inestabilidad. El realizar la presente recomendación serviría incluso, para potenciar los beneficios que representa la técnica de recirculación de lixiviados a través de los cubetos nuevos y viejos del R.S-Q, como método utilizado en el tratamiento de lixiviados.
- El método de recirculación de lixiviados que propone la reducción de los costes en cuanto a recolección y disposición de lixiviados, y el incremento de la calidad y cantidad de gas obtenido del relleno es de gran valor, aún más cuando el espacio es limitado tal como se aprecia en el R.S-Q en donde han sido ocupadas 48 hectáreas y no falta mucho para el término de las 54 hectáreas destinada para la disposición final de los RSU del DMQ.
- Se recomienda el uso del programa para la simulación y construcción del próximo cubeto 9 del Relleno Sanitario Q, enmarcando el beneficio que representa su uso,

en términos monetarios y ambientales. Inclusive para conocer el tiempo de la vida activa que posee el relleno sanitario para fortalecer el estudio para su próximo cierre técnico y su posterior método de aprovechamiento como la creación de espacios verdes o campos deportivos.

La ciudadanía del Distrito Metropolitano de Quito

- Se recomienda clasificar la basura desde la fuente y disminuir los hábitos de consumo, ya que estas soluciones, serían óptimas para el fortalecimiento de las capacidades técnicas y operativas de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito. La optimización de servicios de recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos son parte de las metas del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) del Ministerio de Ambiente del 2013. Disminuir la magnitud de 2000 toneladas diarias de disposición de basura es un compromiso para todos los ciudadanos. En varios lugares a nivel nacional e internacional se conoce que la participación y concientización de la ciudadanía es indispensable para el actual mejoramiento de gestión de integral de residuos sólidos.
- Es recomendable tomar en cuenta la clasificación de desechos sólidos incluso por el bienestar público, y debido a la realidad que afronta el Relleno Sanitario Q, en donde ya no resta mucho espacio para la disposición. Incluso tomar como ejemplo las medidas que tienen otros países para el fortalecimiento de la gestión integral de residuos sólidos, como la instalación de plantas de compostaje, instauración de leyes que contribuyan a la clasificación de desechos, entre otros.

Bibliografía

- ✓ Chapra, S y Canale, R. (2007). Métodos Numéricos para Ingenieros. 5^{ta} Edición. Mc-Graw-Hill/Interamericana Editores. S.A. de C.V. México D.F.
- ✓ Collazos, H. (2001). Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. 1^{era} Edición. Editorial Carrera 7^a. Ltda. Bogotá-Colombia.
- ✓ Collazos, H y Echeverry, J. (2002). Diseño y Operación de rellenos Sanitarios: Modelo Corenostós V3. Editorial escuela Colombiana de Ingeniería. Cali – Colombia.
- ✓ Consorcio Ambiental y de Servicios S.A. (1999). Proyecto de Ejecutivo del Relleno Sanitario Metropolitano Poniente “Picachos”. Municipio de Guadalajara. México.
- ✓ Crisanto, L. (2013). Estudio de Factibilidad para implementar una Central Eléctrica aprovechando el Biogás Generado por el Relleno Sanitario del Inga. Trabajo Inédito. Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador.
- ✓ Dávila, A. (2013). Estudio de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de Lago Agrio. (Trabajo Inédito). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito-Ecuador.
- ✓ Delgado, C. (2008). Hidrología y Modelación del Acuífero Pifo-El Quinche. (Trabajo Inédito). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Quito-Ecuador.
- ✓ Darquea, M. (2013). *Termás del Ilaló: Relación de la Arquitectura con el contexto natural.* (Trabajo Inédito). Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Arquitectura y Diseño Interior. Ecuador.
- ✓ EMGIRS-EP. (2015). Visita técnica al relleno Sanitario Q. Oficio N° UISEK-FCA-063-2015. Quito-Ecuador.
- ✓ EMGIRS-EP. (2015). Empresa Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Distrito Metropolitano de Quito. Ecuador. Disponible en: www.emgirs.gob.ec/index.php/operaciones/relleno-sanitario
- ✓ EMGIRS EP. (2014). Informe de Rendición de Cuentas 2014. Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos-EMGIRS EP.
- ✓ Estévez, J y Gavilán, P. (2008). Procedimiento de Validación de Datos de estaciones meteorológicas Automáticas. Aplicación a la Red de información Agroclimática d Andalucía. Universidad de Córdoba. Instituto de Investigación y formación Agraria y pesquera. España.
- ✓ FAO. (2011). Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Global Environmental Facility. Gobierno de Chile Ministerio de Energía. Santiago de Chile.
- ✓ Fonseca Naranjo, C. (2005). Análisis espacial del Manejo de Residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito. (Trabajo Inédito) Pontificia Universidad

Católica del Ecuador. Facultad de Ciencias Humanas. Departamento de Geografía. Quito-Ecuador.

- ✓ Gallardo, G. (2006). Evaluación Técnica, Socio-Ambiental y Económica del Relleno Sanitario Inga Bajo. (Trabajo Inédito). Unoversidad San Francisco de Quito. Maestría en Gestión Ambiental. Colegio de Graduados. Quito-Ecuador.
- ✓ Giraldo, E. (1997). Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. Revista UNIANDES. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. (pp. 45-51). Colombia.

- ✓ Gonzáles de Vallejo, L; Ferrer, M; Ortuño, L y Oteo, C. (2005). Ingeniería Geológica. Person Educatio, S.A. Madrid-España.
- ✓ Greenleaf Cía.Ltda. (2008). Proyecto de Generación de energía eléctrica con el biogás producido en el Relleno Sanitario “El Inga”I y II DEL Dsitrito Metropolitano de Quito. Estudio de Impacto ambiental Definitivo. Greenleaf Ambiental Company Cía. Ltda. Quito-Quito-Ecuador.

- ✓ Jaramillo, J. (2002). Guía de Residuos: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Universidad de Antioquia. Colombia.
- ✓ Mazzilli, A. (2014). Validación del método de cuantificación del porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas contenido en los Residuos Sólidos Urbanos del Distrito Metropolitano de Quito, 2013. (Trabajo Inédito). Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Ambientales. Quito-Ecuador.
- ✓ Melendez, B y Fuster, J. (2003). Geología. 9^{na} Edición. Thomson Editores Spain. Paraninfo, S.A. España
- ✓ Noguera, A. (2007). Desarrollo de un Manual básico (Evaluación Hidrológica de Rellenos para la Ejecución del Modelo HELP). (Trabajo Inédito). Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Ambientales. Quito-Ecuador.
- ✓ Pisarczyk, Kenneth S. and Rossi, Laurie A. (1992). “Sludge Odor Control and Improved Dewatering with Potassium Permanganate.” Presented at the 55th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation. St.Louis, Missouri.

- ✓ Romero, W. (2014). Análisis de la Aplicación de una Política Pública Local de Saneamiento Ambiental en la Parroquia Cojitambo con la Implementación del Relleno Sanitario Chapte-Toray durante el período 2010-2013. (Trabajo Inedito). Universidad de Cuenca. Programas Interdisciplinario de Población y Desarrollo Local Sustentable. Cuenca-Ecuador
- ✓ Solíz, M. (2011). MIDUVI, Censo de Agua Potable, Alcantarillado y Residuos Sólidos, Quito-Ecuador, 2009. Actualizado por investigación de Tesis Doctoral “Metabolismo en la determinación socio-ambiental de la salud”. Universidad Andina Simón Bolívar. Quito-Ecuador.

- ✓ Vallejo, M. (2012). La Psicología y su relevancia en la publicidad. (Trabajo Ined

- ✓ ito). Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Comunicación y artes contemporáneas. Quito-Ecuador.
- ✓ Vida para Quito. (2015). Corporación Vida para Quito. Disponible: viniociovasquez.com
- ✓ WALSH. (2009). Estudio de Imapcto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para la construcción y Operación de Facilidades de Recepción, Almacenamiento y Distribución de Combustibles en el Nuevo Aeropuesrto Internacional de Quito (NAIQ). Servicio de Aviación Allied Ecuatoriana C.L. WALSH Environmental Scientist and Engineers. Quito-Ecuador.

Anexo 1

Resultados de la Proyección para el Cubeto 8 según el Programa Corenostós V3

Proyección Cubeto 8							
Fecha	Basura	Mes	Lixiviados basura	Gas basura	Espesor de la cobertura	Precipitación Media Mensual	Evaporación Potencial Media Mensual
	ton / mes		m3 / mes	m3	cm	m m / mes	mm/ mes
mar-14	57.207,00	1	97,57	109.446,50	35	116,82	115,26
abr-14	58.384,00	2	197,15	221.144,79	35	119,60	107,39
may-14	60.742,00	3	300,75	337.354,33	35	74,43	118,15
jun-14	55.348,00	4	395,15	443.244,26	35	26,80	147,10
jul-14	57.277,00	5	492,84	552.824,68	35	14,32	173,11
ago-14	55.215,00	6	587,02	658.460,15	35	17,75	188,09
sep-14	57.165,00	7	684,52	767.826,29	35	56,01	151,40
oct-14	57.441,00	8	782,49	877.720,47	35	104,90	125,81
nov-14	53.514,00	9	873,76	980.101,65	35	105,81	115,29
dic-14	57.422,00	10	971,70	1.089.959,48	35	73,52	122,58
ene-15		11	971,70	1.089.959,48	0	66,61	130,13
feb-15		12	971,70	1.089.959,48	0	79,46	114,88
mar-15		13	1.170,30	1.312.731,27	0	116,82	115,26
abr-15		14	1.372,98	1.540.086,47	0	119,60	107,39
may-15		15	1.583,86	1.776.624,03	0	74,43	118,15
jun-15		16	1.776,00	1.992.156,63	0	26,80	147,10
jul-15		17	1.974,85	2.215.201,01	0	14,32	173,11
ago-15		18	2.166,53	2.430.215,69	0	17,75	188,09
sep-15		19	2.364,99	2.652.823,93	0	56,01	151,40
oct-15		20	2.564,40	2.876.506,95	0	104,90	125,81
nov-15		21	2.750,18	3.084.897,70	0	105,81	115,29
dic-15		22	2.949,53	3.308.506,74	0	73,52	122,58
ene-16		23	2.949,53	3.308.506,74	0	66,61	130,13
feb-16		24	2.949,53	3.308.506,74	0	79,46	114,88
mar-16		25	2.788,21	3.127.552,75	0	116,82	115,26
abr-16		26	2.623,57	2.942.875,75	0	119,60	107,39
may-16		27	2.452,28	2.750.740,05	0	74,43	118,15
jun-16		28	2.296,20	2.575.666,36	0	26,80	147,10
jul-16		29	2.134,68	2.394.490,95	0	14,32	173,11
ago-16		30	1.978,98	2.219.837,95	0	17,75	188,09
sep-16		31	1.817,78	2.039.016,82	0	56,01	151,40
oct-16		32	1.655,80	1.857.322,66	0	104,90	125,81
nov-16		33	1.504,89	1.688.050,17	0	105,81	115,29
dic-16		34	1.342,97	1.506.416,11	0	73,52	122,58
ene-17		35	1.342,97	1.506.416,11	0	66,61	130,13
feb-17		36	1.342,97	1.506.416,11	0	79,46	114,88
mar-17		37	1.269,52	1.424.024,87	0	116,82	115,26
abr-17		38	1.194,55	1.339.938,47	0	119,60	107,39
may-17		39	1.116,56	1.252.456,01	0	74,43	118,15

jun-17		40	1.045,50	1.172.742,15	0	26,80	147,10
jul-17		41	971,96	1.090.250,09	0	14,32	173,11
ago-17		42	901,06	1.010.727,78	0	17,75	188,09
sep-17		43	827,66	928.397,02	0	56,01	151,40
oct-17		44	753,91	845.668,76	0	104,90	125,81
nov-17		45	685,20	768.596,28	0	105,81	115,29
dic-17		46	611,47	685.895,39	0	73,52	122,58
ene-18		47	611,47	685.895,39	0	66,61	130,13
feb-18		48	611,47	685.895,39	0	79,46	114,88
mar-18		49	578,03	648.381,33	0	116,82	115,26
abr-18		50	543,90	610.095,45	0	119,60	107,39
may-18		51	508,39	570.263,28	0	74,43	118,15
jun-18		52	476,03	533.968,29	0	26,80	147,10
jul-18		53	442,55	496.408,33	0	14,32	173,11
ago-18		54	410,27	460.200,55	0	17,75	188,09
sep-18		55	376,85	422.714,03	0	56,01	151,40
oct-18		56	343,27	385.046,53	0	104,90	125,81
nov-18		57	311,98	349.954,20	0	105,81	115,29
dic-18		58	278,41	312.299,16	0	73,52	122,58
ene-19		59	278,41	312.299,16	0	66,61	130,13
feb-19		60	278,41	312.299,16	0	79,46	114,88
mar-19		61	253,71	284.588,36	0	116,82	115,26
abr-19		62	228,50	256.307,44	0	119,60	107,39
may-19		63	202,27	226.884,31	0	74,43	118,15
jun-19		64	178,37	200.074,01	0	26,80	147,10
jul-19		65	153,63	172.329,31	0	14,32	173,11
ago-19		66	129,79	145.583,43	0	17,75	188,09
sep-19		67	105,10	117.892,98	0	56,01	151,40
oct-19		68	80,30	90.068,84	0	104,90	125,81
nov-19		69	57,19	64.146,92	0	105,81	115,29
dic-19		70	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-20		71	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-20		72	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-20		73	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-20		74	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-20		75	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-20		76	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-20		77	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-20		78	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-20		79	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-20		80	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-20		81	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-20		82	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-21		83	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-21		84	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88

mar-21		85	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-21		86	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-21		87	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-21		88	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-21		89	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-21		90	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-21		91	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-21		92	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-21		93	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-21		94	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-22		95	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-22		96	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-22		97	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-22		98	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-22		99	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-22		100	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-22		101	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-22		102	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-22		103	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-22		104	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-22		105	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-22		106	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-23		107	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-23		108	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-23		109	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-23		110	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-23		111	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-23		112	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-23		113	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-23		114	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-23		115	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-23		116	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-23		117	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-23		118	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-24		119	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-24		120	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-24		121	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-24		122	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-24		123	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-24		124	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-24		125	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-24		126	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-24		127	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-24		128	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-24		129	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29

dic-24		130	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-25		131	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-25		132	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-25		133	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-25		134	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-25		135	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-25		136	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-25		137	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-25		138	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-25		139	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-25		140	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-25		141	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-25		142	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-26		143	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-26		144	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-26		145	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-26		146	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-26		147	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-26		148	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-26		149	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-26		150	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-26		151	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-26		152	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-26		153	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-26		154	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-27		155	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-27		156	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-27		157	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-27		158	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-27		159	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-27		160	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-27		161	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-27		162	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09
sep-27		163	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-27		164	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-27		165	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-27		166	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-28		167	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-28		168	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-28		169	32,39	36.331,98	0	116,82	115,26
abr-28		170	32,39	36.331,98	0	119,60	107,39
may-28		171	32,39	36.331,98	0	74,43	118,15
jun-28		172	32,39	36.331,98	0	26,80	147,10
jul-28		173	32,39	36.331,98	0	14,32	173,11
ago-28		174	32,39	36.331,98	0	17,75	188,09

sep-28		175	32,39	36.331,98	0	56,01	151,40
oct-28		176	32,39	36.331,98	0	104,90	125,81
nov-28		177	32,39	36.331,98	0	105,81	115,29
dic-28		178	32,39	36.331,98	0	73,52	122,58
ene-29		179	32,39	36.331,98	0	66,61	130,13
feb-29		180	32,39	36.331,98	0	79,46	114,88
mar-29		181	29,14	32.683,77	0	116,82	115,26
abr-29		182	25,82	28.960,49	0	119,60	107,39
may-29		183	22,36	25.086,84	0	74,43	118,15
jun-29		184	19,22	21.557,17	0	26,80	147,10
jul-29		185	15,96	17.904,49	0	14,32	173,11
ago-29		186	12,82	14.383,31	0	17,75	188,09
sep-29		187	9,57	10.737,77	0	56,01	151,40
oct-29		188	6,31	7.074,63	0	104,90	125,81
nov-29		189	3,26	3.661,93	0	105,81	115,29
dic-29		190	0,00	0,00	0	73,52	122,58
Sumatoria				77.735,73			
Promedio de Lixiviados anuales (m3/año)				4.572,69			

Anexo 2

Resultados de la Proyección para el Cubeto 8 según el Programa Corenostós V3

Proyección Cubeto 9							
Fecha	Basura	Mes	Lixiviados basura	Gas basura	Espesor de la cobertura	Precipitación Media Mensual	Evaporación Potencial Media Mensual
	ton / mes		m3 / mes	m3	cm	m m / mes	mm/ mes
ene-16	55.508,86	1	94,67	106.197,67	35	66,61	130,13
feb-16	55.508,86	2	189,35	212.395,34	35	79,46	114,88
mar-16	55.508,86	3	284,02	318.593,01	35	116,82	115,26
abr-16	55.508,86	4	378,70	424.790,68	35	119,60	107,39
may-16	55.508,86	5	473,37	530.988,35	35	74,43	118,15
jun-16	55.508,86	6	568,05	637.186,01	35	26,80	147,10
jul-16	55.508,86	7	662,72	743.383,68	35	14,32	173,11
ago-16	55.508,86	8	757,40	849.581,35	35	17,75	188,09
sep-16	55.508,86	9	852,07	955.779,02	35	56,01	151,40
oct-16	55.508,86	10	946,75	1.061.976,69	35	104,90	125,81
nov-16	55.508,86	11	1.041,42	1.168.174,36	35	105,81	115,29
dic-16	55.508,86	12	1.136,10	1.274.372,03	35	73,52	122,58
ene-17	55.508,86	13	1.423,48	1.596.728,69	35	66,61	130,13
feb-17	55.508,86	14	1.710,86	1.919.085,36	35	79,46	114,88
mar-17	55.508,86	15	1.998,24	2.241.442,03	35	116,82	115,26
abr-17	55.508,86	16	2.285,62	2.563.798,69	35	119,60	107,39
may-17	55.508,86	17	2.573,00	2.886.155,36	35	74,43	118,15
jun-17	55.508,86	18	2.860,38	3.208.512,02	35	26,80	147,10
jul-17	55.508,86	19	3.147,76	3.530.868,69	35	14,32	173,11
ago-17	55.508,86	20	3.435,14	3.853.225,35	35	17,75	188,09
sep-17	55.508,86	21	3.722,52	4.175.582,02	35	56,01	151,40
oct-17	55.508,86	22	4.009,90	4.497.938,69	35	104,90	125,81
nov-17	55.508,86	23	4.297,28	4.820.295,35	35	105,81	115,29
dic-17	55.508,86	24	4.584,66	5.142.652,02	35	73,52	122,58
ene-18	55.508,86	25	4.715,51	5.289.426,17	35	66,61	130,13
feb-18	55.508,86	26	4.846,36	5.436.200,32	35	79,46	114,88
mar-18	55.508,86	27	4.977,21	5.582.974,48	35	116,82	115,26
abr-18	55.508,86	28	5.108,06	5.729.748,63	35	119,60	107,39
may-18	55.508,86	29	5.238,91	5.876.522,78	35	74,43	118,15
jun-18	55.508,86	30	5.369,76	6.023.296,94	35	26,80	147,10
jul-18	55.508,86	31	5.500,61	6.170.071,09	35	14,32	173,11
ago-18	55.508,86	32	5.631,45	6.316.845,24	35	17,75	188,09
sep-18	55.508,86	33	5.762,30	6.463.619,40	35	56,01	151,40
oct-18	55.508,86	34	5.893,15	6.610.393,55	35	104,90	125,81
nov-18	55.508,86	35	6.024,00	6.757.167,70	35	105,81	115,29
dic-18	55.508,86	36	6.154,85	6.903.941,86	35	73,52	122,58
ene-19		37	6.119,75	6.864.572,81	0	66,61	130,13
feb-19		38	6.084,65	6.825.203,77	0	79,46	114,88
mar-19		39	6.049,56	6.785.834,72	0	116,82	115,26

abr-19		40	6.014,46	6.746.465,67	0	119,60	107,39
may-19		41	5.979,36	6.707.096,63	0	74,43	118,15
jun-19		42	5.944,27	6.667.727,58	0	26,80	147,10
jul-19		43	5.909,17	6.628.358,54	0	14,32	173,11
ago-19		44	5.874,07	6.588.989,49	0	17,75	188,09
sep-19		45	5.838,97	6.549.620,44	0	56,01	151,40
oct-19		46	5.803,88	6.510.251,40	0	104,90	125,81
nov-19		47	5.768,78	6.470.882,35	0	105,81	115,29
dic-19		48	5.733,68	6.431.513,31	0	73,52	122,58
ene-20		49	5.473,43	6.139.584,78	0	66,61	130,13
feb-20		50	5.213,17	5.847.656,26	0	79,46	114,88
mar-20		51	4.952,92	5.555.727,74	0	116,82	115,26
abr-20		52	4.692,67	5.263.799,21	0	119,60	107,39
may-20		53	4.432,41	4.971.870,69	0	74,43	118,15
jun-20		54	4.172,16	4.679.942,17	0	26,80	147,10
jul-20		55	3.911,90	4.388.013,65	0	14,32	173,11
ago-20		56	3.651,65	4.096.085,12	0	17,75	188,09
sep-20		57	3.391,40	3.804.156,60	0	56,01	151,40
oct-20		58	3.131,14	3.512.228,08	0	104,90	125,81
nov-20		59	2.870,89	3.220.299,55	0	105,81	115,29
dic-20		60	2.610,64	2.928.371,03	0	73,52	122,58
ene-21		61	2.482,94	2.785.136,80	0	66,61	130,13
feb-21		62	2.355,25	2.641.902,57	0	79,46	114,88
mar-21		63	2.227,56	2.498.668,34	0	116,82	115,26
abr-21		64	2.099,86	2.355.434,11	0	119,60	107,39
may-21		65	1.972,17	2.212.199,87	0	74,43	118,15
jun-21		66	1.844,48	2.068.965,64	0	26,80	147,10
jul-21		67	1.716,79	1.925.731,41	0	14,32	173,11
ago-21		68	1.589,09	1.782.497,18	0	17,75	188,09
sep-21		69	1.461,40	1.639.262,95	0	56,01	151,40
oct-21		70	1.333,71	1.496.028,72	0	104,90	125,81
nov-21		71	1.206,01	1.352.794,49	0	105,81	115,29
dic-21		72	1.078,32	1.209.560,26	0	73,52	122,58
ene-22		73	1.021,90	1.146.271,56	0	66,61	130,13
feb-22		74	965,48	1.082.982,85	0	79,46	114,88
mar-22		75	909,06	1.019.694,15	0	116,82	115,26
abr-22		76	852,63	956.405,45	0	119,60	107,39
may-22		77	796,21	893.116,75	0	74,43	118,15
jun-22		78	739,79	829.828,05	0	26,80	147,10
jul-22		79	683,37	766.539,35	0	14,32	173,11
ago-22		80	626,95	703.250,65	0	17,75	188,09
sep-22		81	570,52	639.961,95	0	56,01	151,40
oct-22		82	514,10	576.673,25	0	104,90	125,81
nov-22		83	457,68	513.384,55	0	105,81	115,29
dic-22		84	401,26	450.095,85	0	73,52	122,58

ene-23		85	377,29	423.207,63	0	66,61	130,13
feb-23		86	353,32	396.319,41	0	79,46	114,88
mar-23		87	329,35	369.431,19	0	116,82	115,26
abr-23		88	305,38	342.542,97	0	119,60	107,39
may-23		89	281,41	315.654,74	0	74,43	118,15
jun-23		90	257,43	288.766,52	0	26,80	147,10
jul-23		91	233,46	261.878,30	0	14,32	173,11
ago-23		92	209,49	234.990,08	0	17,75	188,09
sep-23		93	185,52	208.101,86	0	56,01	151,40
oct-23		94	161,55	181.213,64	0	104,90	125,81
nov-23		95	137,58	154.325,42	0	105,81	115,29
dic-23		96	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-24		97	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-24		98	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-24		99	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-24		100	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-24		101	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-24		102	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10
jul-24		103	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-24		104	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-24		105	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40
oct-24		106	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-24		107	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-24		108	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-25		109	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-25		110	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-25		111	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-25		112	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-25		113	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-25		114	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10
jul-25		115	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-25		116	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-25		117	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40
oct-25		118	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-25		119	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-25		120	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-26		121	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-26		122	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-26		123	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-26		124	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-26		125	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-26		126	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10
jul-26		127	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-26		128	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-26		129	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40

oct-26		130	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-26		131	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-26		132	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-27		133	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-27		134	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-27		135	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-27		136	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-27		137	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-27		138	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10
jul-27		139	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-27		140	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-27		141	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40
oct-27		142	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-27		143	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-27		144	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-28		145	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-28		146	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-28		147	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-28		148	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-28		149	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-28		150	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10
jul-28		151	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-28		152	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-28		153	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40
oct-28		154	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-28		155	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-28		156	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-29		157	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-29		158	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-29		159	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-29		160	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-29		161	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-29		162	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10
jul-29		163	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-29		164	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-29		165	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40
oct-29		166	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-29		167	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-29		168	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-30		169	113,61	127.437,20	0	66,61	130,13
feb-30		170	113,61	127.437,20	0	79,46	114,88
mar-30		171	113,61	127.437,20	0	116,82	115,26
abr-30		172	113,61	127.437,20	0	119,60	107,39
may-30		173	113,61	127.437,20	0	74,43	118,15
jun-30		174	113,61	127.437,20	0	26,80	147,10

jul-30		175	113,61	127.437,20	0	14,32	173,11
ago-30		176	113,61	127.437,20	0	17,75	188,09
sep-30		177	113,61	127.437,20	0	56,01	151,40
oct-30		178	113,61	127.437,20	0	104,90	125,81
nov-30		179	113,61	127.437,20	0	105,81	115,29
dic-30		180	113,61	127.437,20	0	73,52	122,58
ene-31		181	110,45	123.897,28	0	66,61	130,13
feb-31		182	107,30	120.357,36	0	79,46	114,88
mar-31		183	104,14	116.817,44	0	116,82	115,26
abr-31		184	100,99	113.277,51	0	119,60	107,39
may-31		185	97,83	109.737,59	0	74,43	118,15
jun-31		186	94,67	106.197,67	0	26,80	147,10
jul-31		187	91,52	102.657,75	0	14,32	173,11
ago-31		188	88,36	99.117,82	0	17,75	188,09
sep-31		189	85,21	95.577,90	0	56,01	151,40
oct-31		190	82,05	92.037,98	0	104,90	125,81
nov-31		191	78,90	88.498,06	0	105,81	115,29
dic-31		192	75,74	84.958,14	0	73,52	122,58
ene-32		193	72,58	81.418,21	0	66,61	130,13
feb-32		194	69,43	77.878,29	0	79,46	114,88
mar-32		195	66,27	74.338,37	0	116,82	115,26
abr-32		196	63,12	70.798,45	0	119,60	107,39
may-32		197	59,96	67.258,52	0	74,43	118,15
jun-32		198	56,80	63.718,60	0	26,80	147,10
jul-32		199	53,65	60.178,68	0	14,32	173,11
ago-32		200	50,49	56.638,76	0	17,75	188,09
sep-32		201	47,34	53.098,83	0	56,01	151,40
oct-32		202	44,18	49.558,91	0	104,90	125,81
nov-32		203	41,03	46.018,99	0	105,81	115,29
dic-32		204	37,87	42.479,07	0	73,52	122,58
ene-33		205	34,71	38.939,15	0	66,61	130,13
feb-33		206	31,56	35.399,22	0	79,46	114,88
mar-33		207	28,40	31.859,30	0	116,82	115,26
abr-33		208	25,25	28.319,38	0	119,60	107,39
may-33		209	22,09	24.779,46	0	74,43	118,15
jun-33		210	18,93	21.239,53	0	26,80	147,10
jul-33		211	15,78	17.699,61	0	14,32	173,11
ago-33		212	12,62	14.159,69	0	17,75	188,09
sep-33		213	9,47	10.619,77	0	56,01	151,40
oct-33		214	6,31	7.079,84	0	104,90	125,81
nov-33		215	3,16	3.539,92	0	105,81	115,29
dic-33		216	0,00	0,00	0	73,52	122,58

Anexo 3

Potencial Eléctrico Neto de los datos mensuales obtenidos para la proyección del Cubeto 8

	Vol. Gas	Potencial eléctrico	Potencial eléctrico (neto)	Precio
	m3	kWh	kWh	cUSD
mar-14	109.446,50	580.066,44	220.425,25	24.356,99
abr-14	221.144,79	1.172.067,41	445.385,61	49.215,11
may-14	337.354,33	1.787.977,98	679.431,63	75.077,20
jun-14	443.244,26	2.349.194,57	892.693,93	98.642,68
jul-14	552.824,68	2.929.970,79	1.113.388,90	123.029,47
ago-14	658.460,15	3.489.838,79	1.326.138,74	146.538,33
sep-14	767.826,29	4.069.479,36	1.546.402,16	170.877,44
oct-14	877.720,47	4.651.918,51	1.767.729,04	195.334,06
nov-14	980.101,65	5.194.538,75	1.973.924,72	218.118,68
dic-14	1.089.959,48	5.776.785,24	2.195.178,39	242.567,21
ene-15	1.089.959,48	5.776.785,24	2.195.178,39	242.567,21
feb-15	1.089.959,48	5.776.785,24	2.195.178,39	242.567,21
mar-15	1.312.731,27	6.957.475,75	2.643.840,79	292.144,41
abr-15	1.540.086,47	8.162.458,27	3.101.734,14	342.741,62
may-15	1.776.624,03	9.416.107,35	3.578.120,79	395.382,35
jun-15	1.992.156,63	10.558.430,11	4.012.203,44	443.348,48
jul-15	2.215.201,01	11.740.565,35	4.461.414,83	492.986,34
ago-15	2.430.215,69	12.880.143,14	4.894.454,39	540.837,21
sep-15	2.652.823,93	14.059.966,81	5.342.787,39	590.378,01
oct-15	2.876.506,95	15.245.486,83	5.793.285,00	640.157,99
nov-15	3.084.897,70	16.349.957,82	6.212.983,97	686.534,73
dic-15	3.308.506,74	17.535.085,70	6.663.332,57	736.298,25
ene-16	3.308.506,74	17.535.085,70	6.663.332,57	736.298,25
feb-16	3.308.506,74	17.535.085,70	6.663.332,57	736.298,25
mar-16	3.127.552,75	16.576.029,59	6.298.891,24	696.027,48
abr-16	2.942.875,75	15.597.241,47	5.926.951,76	654.928,17
may-16	2.750.740,05	14.578.922,28	5.539.990,47	612.168,95
jun-16	2.575.666,36	13.651.031,68	5.187.392,04	573.206,82
jul-16	2.394.490,95	12.690.802,05	4.822.504,78	532.886,78
ago-16	2.219.837,95	11.765.141,15	4.470.753,64	494.018,28
sep-16	2.039.016,82	10.806.789,16	4.106.579,88	453.777,08
oct-16	1.857.322,66	9.843.810,12	3.740.647,84	413.341,59
nov-16	1.688.050,17	8.946.665,91	3.399.733,05	375.670,50
dic-16	1.506.416,11	7.984.005,40	3.033.922,05	335.248,39
ene-17	1.506.416,11	7.984.005,40	3.033.922,05	335.248,39
feb-17	1.506.416,11	7.984.005,40	3.033.922,05	335.248,39
mar-17	1.424.024,87	7.547.331,79	2.867.986,08	316.912,46
abr-17	1.339.938,47	7.101.673,88	2.698.636,08	298.199,29
may-17	1.252.456,01	6.638.016,84	2.522.446,40	278.730,33
jun-17	1.172.742,15	6.215.533,39	2.361.902,69	260.990,25
jul-17	1.090.250,09	5.778.325,46	2.195.763,67	242.631,89
ago-17	1.010.727,78	5.356.857,22	2.035.605,74	224.934,43
sep-17	928.397,02	4.920.504,21	1.869.791,60	206.611,97
oct-17	845.668,76	4.482.044,43	1.703.176,88	188.201,05
nov-17	768.596,28	4.073.560,30	1.547.952,91	171.048,80

dic-17	685.895,39	3.635.245,55	1.381.393,31	152.643,96
ene-18	685.895,39	3.635.245,55	1.381.393,31	152.643,96
feb-18	685.895,39	3.635.245,55	1.381.393,31	152.643,96
mar-18	648.381,33	3.436.421,06	1.305.840,00	144.295,32
abr-18	610.095,45	3.233.505,88	1.228.732,23	135.774,91
may-18	570.263,28	3.022.395,40	1.148.510,25	126.910,38
jun-18	533.968,29	2.830.031,91	1.075.412,13	118.833,04
jul-18	496.408,33	2.630.964,14	999.766,37	110.474,18
ago-18	460.200,55	2.439.062,90	926.843,90	102.416,25
sep-18	422.714,03	2.240.384,38	851.346,07	94.073,74
oct-18	385.046,53	2.040.746,62	775.483,72	85.690,95
nov-18	349.954,20	1.854.757,26	704.807,76	77.881,26
dic-18	312.299,16	1.655.185,53	628.970,50	69.501,24
ene-19	312.299,16	1.655.185,53	628.970,50	69.501,24
feb-19	312.299,16	1.655.185,53	628.970,50	69.501,24
mar-19	284.588,36	1.508.318,33	573.160,96	63.334,29
abr-19	256.307,44	1.358.429,42	516.203,18	57.040,45
may-19	226.884,31	1.202.486,84	456.945,00	50.492,42
jun-19	200.074,01	1.060.392,24	402.949,05	44.525,87
jul-19	172.329,31	913.345,33	347.071,22	38.351,37
ago-19	145.583,43	771.592,18	293.205,03	32.399,16
sep-19	117.892,98	624.832,81	237.436,47	26.236,73
oct-19	90.068,84	477.364,86	181.398,65	20.044,55
nov-19	64.146,92	339.978,68	129.191,90	14.275,70
dic-19	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-20	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57

nov-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-21	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-22	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-23	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-24	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57

oct-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-25	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-26	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-27	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
abr-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
may-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jun-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
jul-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ago-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
sep-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
oct-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
nov-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
dic-28	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
ene-29	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
feb-29	36.331,98	192.559,51	73.172,61	8.085,57
mar-29	32.683,77	173.223,96	65.825,10	7.273,67
abr-29	28.960,49	153.490,59	58.326,43	6.445,07
may-29	25.086,84	132.960,24	50.524,89	5.583,00
jun-29	21.557,17	114.253,02	43.416,15	4.797,48
jul-29	17.904,49	94.893,81	36.059,65	3.984,59
ago-29	14.383,31	76.231,55	28.967,99	3.200,96

sep-29	10.737,77	56.910,20	21.625,87	2.389,66
oct-29	7.074,63	37.495,56	14.248,31	1.574,44
nov-29	3.661,93	19.408,22	7.375,12	814,95
dic-29	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo 4

Cálculo del Valor Actualizado

Tasa de descuento	9%
TIR	0,582861269

		Años- Captación 80% Medio /diario																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Ganancia venta de Biogas	Ingresos		5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	5.107.008,29	
Inversión Inicial	Permisos y Concesiones	-6.130,00																	
	Costos de equipos y auxiliares mayores	4.397.410,92																	
	Costos de construcción de obra civil	-92.240,00																	
	Costos de construcción de obra eléctrica	-171.080,00																	
	Costos deservicio e insumos estimados	-210.490,41																	
	Costos de puesta en marcha	-116.971,13																	
	Imprevistos	-249.664,62																	
	Mano de obra directa	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00	-139.860,00
Mano de obra indirecta	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	-204.198,00	
Suministros	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	-89.781,00	
Costos de operación	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	-792.963,00	
Mantenimiento	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	-65.149,27	
Mantenimiento Mayor											-123.500,00	-123.500,00	-123.500,00	-123.500,00	-123.500,00	-123.500,00	-123.500,00	-123.500,00	
Flujo Neto		6.535.938,35	3.815.057,02	3.815.057,02	3.815.057,02	3.815.057,02	3.815.057,02	3.815.057,02	3.815.057,02	3.815.057,02	3.691.557,02	3.691.557,02	3.691.557,02	3.691.557,02	3.691.557,02	3.691.557,02	3.691.557,02	3.691.557,02	Sumatoria
Valor del Dinero en el Tiempo		6.535.938,35	3.506.163,98	3.222.281,02	2.961.383,16	2.721.609,38	2.501.249,31	2.298.731,10	2.112.610,15	1.941.558,82	1.726.594,24	1.586.797,39	1.458.319,45	1.340.243,96	1.231.728,66	1.131.999,50	1.040.345,10	956.111,66	25.201.788,53
Valor del Dinero en el Tiempo		6.535.938,35	2.410.228,30	1.522.703,44	961.994,25	607.756,52	383.960,70	242.573,81	153.250,21	96.818,47	59.186,67	37.392,20	23.623,17	14.924,35	9.428,71	5.956,75	3.763,28	2.377,52	0,00