

**ESTUDIO DE PRODUCCION, IDENTIFICACION Y PERDIDA DE CAUDALES EN LA
LAGUNA DE LIXIVIADOS DEL ECOPARQUE RELLENO SANITARIO “EL OJITO”.**



JOSE FRANCISCO CASTRO RUIZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2009**

**ESTUDIO DE PRODUCCION, IDENTIFICACION Y PERDIDA DE CAUDALES EN LA
LAGUNA DE LIXIVIADOS DEL ECOPARQUE RELLENO SANITARIO "EL OJITO".**

JOSE FRANCISCO CASTRO RUIZ

En modalidad de pasantía para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director de pasantía

Ing. LUIZ JORGE GONZALEZ MUÑOZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

POPAYÁN

2009

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, y las capacidades necesarias para salir adelante.

A mi madre por darme su apoyo incondicional, por siempre creer en mí, y por darme la fuerza para sentir que cada día es un nuevo comienzo para superarme.

A mi director de pasantía el ingeniero Luis Jorge González por su paciencia, y solidaridad en cada etapa de este trabajo.

A cada uno de nuestros profesores quienes a lo largo de la carrera nos brindaron su apoyo y sus conocimientos para que en el presente nos consolidáramos como profesionales honestos y responsables.

Al ingeniero ambiental Ronald Edison Cerón por su generosa ayuda en la realización del muestreo en el relleno.

A mis compañeros y amigos por su solidaridad y aliento en la realización de los diferentes proyectos emprendidos.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	3
NOTA DE ACEPTACION.....	4
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE FORMULAS.....	11
INTRODUCCION.....	12
2 RESUMEN.....	16
2.1 ABREVIATURAS.....	18
3 MARCO TEORICO.....	19
3.1 LIXIVIADOS.....	19
3.1.1 Producción de lixiviados en un relleno sanitario.....	21
3.2 RELLENOS SANITARIOS.....	25
3.2.1 Procesos y componentes principales.....	25
3.2.2 Manejo de lixiviados.....	28
3.2.3 Relleno sanitario tradicional.....	30
3.2.4 Bioquímica de los rellenos sanitarios.....	31
3.3 LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LIXIVIADOS.....	32
3.3.1 Estudios previos para el desarrollo de una laguna.....	33
3.3.2 Tipos de lagunas.....	34
3.3.2.1 Lagunas aeróbicas.....	34
3.3.2.2 Lagunas anaeróbicas.....	35
3.3.2.3 Lagunas facultativas.....	36
3.3.2.4 Lagunas de maduración.....	38
3.3.3 Tipos de factores presentes en una laguna.....	38
3.3.3.1 Factores que influyen en el funcionamiento de una laguna.....	38
3.3.3.2 Factores que influyen en las reacciones biológicas (no controladas	

por el hombre.....	39
3.3.3.3 Factores que influyen en las reacciones biológicas (controladas por el hombre).....	40
3.4 INFILTRACIONES.....	40
3.4.1 Definición de infiltraciones.....	40
3.4.2 Capacidad de infiltración.....	41
3.4.2.1 Factores que afectan la capacidad de infiltración.....	41
3.5 DIAGNOSTICO GENERAL.....	42
3.5.1 Ubicación del relleno sanitario Eco parque el “ojito”.....	42
3.5.2 Descripción del área de estudio.....	42
3.5.3 Temperatura media.....	43
4 ANTECEDENTES.....	44
5 JUSTIFICACION.....	46
6 OBJETIVOS.....	48
6.1 OBJETIVO GENERAL.....	48
6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	48
7 METODOLOGIA.....	49
7.1 SITIO DE MUESTREO.....	49
8 DATOS Y RESULTADOS.....	56
8.1 ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE LOS VERTEDEROS DE LA LAGUNA DE LIXIVIADOS.....	56
8.1.1 Vertedero de entrada a la laguna.....	56
8.1.1.1 Patronamiento por medio del método de mínimos cuadrados.....	56
8.1.2 Vertedero de salida de la laguna.....	60
8.1.2.1 Patronamiento por medio del método de mínimos cuadrados.....	60
8.2 APLICACIÓN DEL BALANCE HIDRICO Y DATOS DE CAUDALES DE INFILTRACION.....	63
9 TABLAS RESUMEN Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	68

10 CONCLUSIONES.....80
11 RECOMENDACIONES.....83
ANEXO A.....85
BIBLIOGRAFIA.....91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterizacion de los lixiviados	23
Tabla 2. Datos del metodo de minimos cuadrados para el vertedero de entrada.....	57
Tabla 3. Datos del metodod de minimos cuadrados para el vertedero de salida.....	60
Tabla 4. Dimensiones de la laguna de lixiviados.....	64
Tabla 5. Caudal en la entrada de la laguna y caudal de escorrentia	68
Tabla 6. Caudal de salida de la laguna	69
Tabla 7. Precipitacion en el area de la laguna	72
Tabla 8. Variacion de la precipitacion promedio en la ciudad de Popayan.....	73
Tabla 9. Evaporacion en el area de la laguna.....	76
Tabla 10. Caudal de infiltracion.....	77
Tabla 11. Caudales de infiltracion positivos.....	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ecoparque relleno sanitario de popayan "el ojito"	15
Figura 2. Filtros captadores de lixiviados	29
Figura 3. Control de lixiviados (brote de lixiviados)	29
Figura 4. Laguna de estabilizacion de lixiviados Ecoparque el "ojito"	32
Figura 5. Ubicación en plano y foto de la laguan de lixiviados del relleno sanitario.....	49
Figura 6. Instalacion del pluviometro.....	50
Figura 7. Instalacion del tanque evaporimetro	51
Figura 8. Toma de caudales en el afluente de la laguna.....	52
Figura 9. Toma de caudales en el efluente de la laguna.....	52
Figura 10. Delimitacion del area de escorrentia en la laguna de lixiviados	55
Figura 11. Curva por el metodo de minimos cuadrados.....	59
Figura 12. Curva de patronamiento para el vertedero de entrada	59
Figura 13. Curva por el metodo de minimos cuadrados.....	62
Figura 14. Curva de patronamiento para el vertedero de salida	62
Figura 15. Caudal de entrada y caudal de escorrentia	69
Figura 16. Caudal de salida de la laguna de lixiviados.....	70
Figura 17. Aportes laterales de caudal a la laguna de lixiviados.....	71
Figura 18. Aportes laterales de caudal a la laguna de lixiviados.....	71
Figura 19. Precipitacion en el area de la laguna de lixiviados	73
Figura 20. Lodos y sedimentos en el canal de lixiviados.....	75
Figura 21. Maleza presente en el canal	75
Figura 22. Canal sin presencia de lodos.....	75
Figura 23. Desmonte de maleza en la zona	75
Figura 24. Evaporacion en el area de la laguna de lixiviados.....	76
Figura 25. Caudal de infiltracion con y sin el caudal de escorrentia.....	77

Figura 26. Ubicación de la longitud del cauce y sus cotas.....	86
Figura 27. Ejecución del programa Hcanales y obtencion de resultados tramo 1	88
Figura 28. Ejecucion del programa Hcanales y obtencion de resultados tramo 2	89

LISTA DE FORMULAS

	Pág.
Formula (7.1). Área del pluviómetro.....	50
Formula (7.2). Caudal de escorrentía.....	53
Formula (7.3). Escorrentía real e infiltración potencial.....	53
Formula (8.1). Correlación lineal.....	56
Formula (8.2). Correlación lineal con variables (x,y).....	56
Formula (8.3). Determinación de las constantes a y m para la correlación lineal.....	56
Formula (8.4). Ecuación general de patronamiento de vertederos.....	56
Formula (8.5). Logaritmo de la ecuación de patronamiento.....	57
Formula (8.6). Factor de correlación R	58
Formula (8.7). Ecuación de patronamiento, vertedero de entrada.....	58
Formula (8.8). Expresión exponencial de mejor ajuste, vertedero de entrada.....	59
Formula (8.9). Ecuación de patronamiento, vertedero de salida.....	61
Formula (8.10). Expresión exponencial de mejor ajuste, vertedero de salida.....	62
Formula (8.11). Balance hídrico.....	63
Formula (8.12). Expresión para calcular el caudal de infiltración.....	63
Formula (11.1). Intensidad de lluvia para diferentes tiempos de retorno.....	85
Formula (11.2). Duración de la lluvia o tiempo de concentración.....	86
Formula (11.3). Determinación de la pendiente (S).....	89

INTRODUCCION

El sistema de recolección de lixiviados del relleno sanitario “El Ojito” funciona básicamente por gravedad, en el cual los líquidos generados por la descomposición de la basura son transportados por canales de drenaje hacia una laguna en la que se lleva a cabo un tratamiento anaerobio. Dichos lixiviados son el efluente líquido de la basura como consecuencia de la pérdida de la humedad por compactación y por la infiltración de líquidos al lecho de basuras, provocando la extracción de materiales disueltos o en suspensión.

Cuando no se controla la disposición de los desechos y éstos se dejan en botaderos a cielo abierto, la escorrentía y la lluvia provocan la lixiviación, generando flujos hacia las aguas superficiales más próximas. Estas corrientes rara vez corren superficialmente ya que se infiltran en la mayoría de los casos y contaminan los estratos que encuentren a su paso.

Las características y tasas de generación de los lixiviados son específicas para cada sitio, ya que dependen de la composición de los residuos sólidos dispuestos en el lugar, de la temperatura, la humedad y el pH de los mismos y de la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea que logra pasar hacia la zona donde se encuentra la basura.

Los lixiviados son líquidos altamente contaminantes en los que se han ensayado diferentes tratamientos, tanto biológicos (aerobios y anaerobios), como fisicoquímicos. Entre los procesos biológicos, se encuentran las lagunas de estabilización, el cual es un tratamiento de fácil manejo, económico y confiable. Las

lagunas proporcionan la reducción de los contaminantes en una forma que no necesite consumo de energía, además no se requiere de instalaciones que sean muy costosas¹.

Cuando llueve, una parte del agua se pierde en la escorrentía superficial por evapotranspiración, la restante se filtra a través de los residuos sólidos en descomposición lo que produce la lixiviación de materiales biológicos y compuestos químicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Este proceso da lugar a la aparición de unas corrientes líquidas características, principalmente por un gran número de sustancias con valores a menudo extremos de pH, alta carga orgánica y metales pesados, así como por un intenso mal olor. Estos lixiviados, al fluir, disuelven algunas sustancias y arrastran partículas con otros compuestos químicos. Los ácidos orgánicos formados en ciertas etapas de descomposición contenidos en el lixiviado (como ácido acético, láctico o fórmico), disuelven metales contenidos en los residuos, transportándolos con el lixiviado.

Con esto se da una idea de lo peligroso que son los lixiviados, al ponerse en contacto con fuentes de agua ya sean superficiales o subterráneas, al igual que en el suelo, dada su alta capacidad de degradación.

Particularmente, se propone para el eco Parque Relleno Sanitario “El Ojito”, la evaluación periódica del recurso agua teniendo en cuenta sus respectivas áreas de influencia. Cabe puntualizar que “El Ojito” como sitio de disposición final, funcionó durante doce años como botadero a cielo abierto (1986-1998), sin ningún manejo técnico de control, razón por la cual es evidente que los recursos agua, aire y suelo están ya impactados. No obstante, con la aplicación del Plan de Manejo Ambiental desde el año 2002, es de esperar la recuperación con el paso del tiempo de dichos recursos, en este caso encaminados a analizar la laguna de estabilización de lixiviados con lo cual se podrán implementar

¹ COLLAZOS, Héctor. Relleno sanitario, Empresas Municipales de Ipiales. Ipiales.1992

proyectos para lograr un funcionamiento mas eficaz, razón por la cual se elabora este informe.

Dado lo anterior se tiene que en la ciudad de Popayán una de las fuentes naturales de agua más importantes es el río Cauca, el cual se hace cada día mas vulnerable por la elevada cantidad de desechos en su mayoría orgánicos que recibe, debido principalmente al incremento de población la cual en su mayoría no se encuentra conectada con el sistema de tratamiento de aguas de la ciudad. Por este motivo, para protegerlo es de suma importancia coleccionar, tratar y disponer adecuadamente los lixiviados generados en el relleno sanitario de Popayán, puesto que finalmente estos líquidos ya tratados serán depositados en él, siendo el más afectado si no se hace un tratamiento adecuado.

Este trabajo fue desarrollado mediante un convenio entre la Universidad del Cauca y el Departamento de Aseo de la Secretaria de Infraestructura de la Alcaldía Municipal de Popayán, con el fin de hacer un estudio mediante un balance hídrico de los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Popayán a través de una laguna de estabilización, analizando la existencia de posibles caudales de infiltración.

Figura 1. Eco parque relleno sanitario de Popayán “El Ojito”.



2. RESUMEN

En la actualidad la disposición final de los residuos sólidos se hace en los rellenos sanitarios, donde estos se descomponen generando entre otros productos los lixiviados, los cuales son tratados de diferentes maneras, entre ellas las lagunas de estabilización, para después ser vertidos a fuentes naturales de agua, en el caso de Popayán, La Quebrada “El Ojito” la cual está ubicada en las instalaciones del relleno Sanitario que lleva su mismo nombre, es de gran importancia su estudio ya que mediante éste se puede determinar el impacto ambiental producido.

Históricamente, cuando el relleno era aún un botadero a cielo abierto la quebrada recibía parte de los lixiviados, siendo ya relleno Sanitario recibía un mínimo aporte de lixiviados maduros, que hoy se encuentran canalizados y por ende se infiere que dicha quebrada realiza una dilución la cual hace que no se produzca un impacto tan significativo en el momento de desembocar en el río Cauca.

En Colombia, el control de vertimientos de residuos líquidos a fuentes de agua está reglamentado por el Decreto 1594 de 1984, según el cual, los residuos líquidos deben verse con un mínimo de remoción del 80% en DBO y SST. En atención a ello, los lixiviados requieren ser tratados con sistemas que garanticen estos grados de remoción de contaminación, y los cuales no cuenten con caudales de infiltración los cuales puedan afectar de manera significativa corrientes de aguas subterráneas y alterar el suelo y demás parámetros biológicos, sin mencionar que la existencia de caudales de infiltración ya sean positivos o negativos da clara evidencia de que el sistema de tratamiento de lixiviados presenta deficiencias en cuanto a su funcionamiento, deficiencias que pueden ser producto de un mal diseño o de un mal mantenimiento.

La existencia de caudales de infiltración se infiere debido a las altas diferencias en los caudales de entrada y salida de dicha laguna, puesto que se establece que lo que entra debe ser igual a lo que sale en estos sistemas de tratamiento.

Dados estos argumentos el grupo de Aseo de la Secretaria de Infraestructura de la Alcaldía Municipal, y el profesional de apoyo del relleno sanitario el ojito, solicitó al programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca apoyo para realizar una identificación en cuanto a la presencia de infiltraciones en la laguna de estabilización del relleno sanitario de Popayán “EL Ojito“, el cual está encaminado a profundizar en el conocimiento del funcionamiento de la laguna de tratamiento de los lixiviados.

Con este trabajo se busca dar un conocimiento más extenso en cuanto al comportamiento de caudales de dicha laguna y verificar con datos concretos la existencia de posibles infiltraciones y ver las posibles afectaciones de este hecho.

El comportamiento en cuanto a los caudales en la laguna es muy irregular dado que se presentan valores muy diferentes tanto a la entrada como a la salida lo cual varía significativamente cuando llueve.

Los datos presentados en este informe se realizaron en los meses de junio, julio y agosto, meses en los cuales no se dio un verano intenso lo cual era propio de esta época, encontrándose entonces con un clima en su mayoría lluvioso en el cual había fluctuaciones de verano intermitente, es decir no se pudieron recolectar datos suficientes de verano dada las condiciones climáticas.

Los resultados de este trabajo sirven como aporte para el desarrollo de un estudio continuo del funcionamiento de la laguna de estabilización de lixiviados y serán una base para plantear posibles alternativas de optimización en el futuro.

2.1 ABREVIATURAS

mm:	Milímetros
m:	Metros
Q_{esc}	Caudal de escorrentía
cm:	Centímetros
sg:	Segundos
l:	Litros
P:	Precipitación
Q_{inf}:	Caudal de infiltración
km	Kilómetros
Q_{tot-ent}	Caudal total de entrada
ha	Hectáreas
Q_{tot}:	Caudal total

3. MARCO TEORICO

El diseño de un Relleno Sanitario debe considerar el control de las fuentes potenciales de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, del suelo y del aire; así como también, debe prevenir cualquier daño en los organismos vivos y en las personas que se encuentran presentes en la zona de influencia del sitio de disposición final de la basura.

La interrelación entre el contenido de humedad, tamaño de los trozos de basura, circulación de aire y temperatura es relativamente compleja. El efecto total de estos factores es lo que determina la evaporación y la producción de lixiviados de rellenos. Diversos estudios sobre lixiviados indican una amplia variación en su composición química y bioquímica de un sitio a otro, con el tiempo e incluso con el lugar de muestreo. Al ser el lixiviado un fenómeno cuya formación toma hasta varias décadas, se conoce muy poco sobre su comportamiento, ya que las observaciones continuas no rebasan el transcurso de 30 años.

3.1 LIXIVIADOS

Son líquidos residuales generados por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, o como resultado de la percolación de aguas a través de los residuos en proceso de degradación.

Muchas son las definiciones al respecto, y algunos autores toman como sinónimo de lixiviado a percolado, o filtrado, su aspecto es negro, de olor fuerte y penetrante, fluido y en zonas de acumulación y/o estancamiento, presentan una capa superficial de varios centímetros de espuma, como se ve en la laguna actual del eco parque el ojito.

La composición media de estos líquidos varía considerablemente según las áreas geográficas, edad del vertedero y tipo de residuo depositado en el mismo; pero todos coinciden en que están compuestos por una alta carga orgánica, su principal factor contaminante.

Actualmente, en muchos vertederos, los lixiviados no son controlados de un modo exhaustivo. A pesar de las revisiones periódicas, una fracción se filtra en el terreno, y contamina el suelo.

Los peligros de los lixiviados, son debidos a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal. Microorganismos patógenos y sustancias tóxicas que pueden estar presentes, son a menudo citadas como las más importantes, pero el contenido de microorganismos patógenos se reduce rápidamente en el tiempo en los Rellenos Sanitarios, aplicándose esto último al lixiviado fresco.

Otro factor de peligrosidad de los lixiviados es la carga orgánica de los percolados, cuantificada por el parámetro DBO (demanda bioquímica de oxígeno), que suele ser 100 veces superior al DBO que presentan los residuos de origen cloacal.

Estos últimos pueden diluirse con el agua de lluvia o ser vertidos en cursos de agua, ya que las bacterias aeróbicas presentes en esos cauces permite un rápido proceso de degradación biológica.

Pero el caso de los lixiviados es diferente: su carga orgánica desarrolla un sistema biológico tan sediento de oxígeno que sus bacterias terminan "tomándose" todo el aire presente en el curso de agua. Esto es porque tiene tendencia a consumir oxígeno con mayor rapidez a la que permite su capacidad de auto depuración. Es decir, en casos

extremos pueden convertir el sistema aeróbico del cauce en otro anaeróbico sin oxígeno.

3.1.1 Producción de lixiviados en un relleno sanitario

La cantidad de lixiviados producidos en un relleno sanitario está entre el 10% y 25% de la precipitación media anual del lugar y su calidad y cantidad dependen del sitio y están determinadas por factores como: régimen hidrológico, temperatura, composición de las basuras, altura de enterramiento, naturaleza del suelo (litología y concentración de materias orgánicas y de organismos vivos), escurrimiento superficial, evaporación, almacenamiento de agua por el suelo, topografía, geomorfología de cobertura, parámetros de manejo y operación del relleno, cantidad y calidad del reciclaje.

La calidad de los lixiviados producidos en un relleno sanitario eventualmente se puede reducir o controlar dependiendo del manejo que se de a los residuos, un método bastante empleado por su economía es captar los lixiviados a través de los drenajes y conducirlos hacia las lagunas de almacenamiento de donde son re circulados mediante un sistema de bombeo, sobre el mismo relleno, que en ocasiones puede estar sellado y contar con un bosque de absorción en el cual una parte se evapora, otra es absorbida por los árboles allí plantados y el resto se infiltra nuevamente en el relleno.

Es importante anotar que un manejo adecuado del sitio puede reducir la cantidad y concentración del lixiviado producido, pero no puede eliminarlo, se ha comprobado que hasta 50 años después de clausurado un relleno sanitario se produce este (Ehring, 1988).

En la producción de lixiviados influyen en primer lugar las reacciones fisicoquímicas tales como la solubilización, precipitación, oxido-reducción, intercambio iónico de gases de algunos materiales contaminantes y las reacciones de degradación biológica de materiales disueltos y suspendidos que se efectúan, según las condiciones del medio, por vía aerobia o anaerobia.

En un comienzo la degradación se da por vía aerobia, debido a la acción del oxígeno que se encuentra en el aire de los espacios o intersticios de los residuos y el viento, sin embargo cuando la altura de las capas de desecho se incrementa, la transformación por vía aerobia desaparece, dando lugar a la anaerobia.

Los ácidos grasos, el metano, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno son compuestos volátiles solubles en agua, por tal motivo se pueden escapar del relleno con el gas y ser arrastrados por los lixiviados. Con base en la composición del gas y del lixiviado, la fase anaerobia puede ser dividida en tres subfases: acetogénica, metano génica inestable y metano génica estable (Ramos, 1998).

- **Fase Acetogénica**

En esta fase los compuestos orgánicos hidrolizados son convertidos en ácidos grasos, hidrógeno y dióxido de carbono. El pH del lixiviado se encuentra en el rango 5.0 – 6.5 y la DBO y la DQO debido a la presencia de AGV presentan valores altos.

- **Fase metanogénica inestable**

La formación del metano se inicia después de cierto tiempo, el cual puede variar entre semanas y años de acuerdo con las condiciones. Los AGV se desdoblán en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), luego el hidrógeno (H_2) y el dióxido de carbono

(CO₂) también son convertidos a metano (CH₄). El pH del lixiviado se incrementa en un rango de (6.5 – 8.6), y la DBO y la DQO disminuyen, lo mismo sucede con el contenido de materia orgánica. Al comienzo, la formación de metano es llamada inestable porque el contenido de metano y dióxido de carbono se incrementan con el transcurso del tiempo.

- **Fase metano génica estable**

En esta fase se presenta un equilibrio global en la composición del lixiviado dentro del relleno sanitario, esta fase puede durar hasta décadas.

Para dar una idea de la composición de los lixiviados, en la tabla 1 se muestran los valores más representativos obtenidos de varios estudios, en los Estados Unidos, sobre los principales constituyentes de lixiviados en rellenos sanitarios.

Tabla 1. Caracterización de los lixiviados

PARÁMETRO	Intervalo representativo de concentración (mg/L)
Potasio (K)	200 a 999
Sodio (Na)	199 a 1200
Calcio (Ca)	100 a 3000
Magnesio (Mg)	100 a 1501
Cloruro (Cl)	300 a 3000
Alcalinidad	500 a 10000
Hierro total (Fe)	1 a 1000
Manganeso (Mn)	0.01 a 100
Cobre (Cu)	Menos de 10
Níquel (Ni)	0.01 a 1.01
Zinc (Zn)	0.01 a 100.1
Plomo (Pb)	Menos de 5
Mercurio (Hg)	Menos de 0.2
Nitrógeno amoniacal (NH)	10 a 999
Fósforo (P) como fosfato	1 a 100.1

Nitrógeno orgánico	10 a 1000
Carbono orgánico disuelto total	300 a 30000
Demanda química de oxígeno (DQO)	900 a 90000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	20000 a 35000
Sólidos totales disueltos	4000 a 40000
Potencial de hidrógeno (pH)	3.5 a 8.5

Fuente: ESTADOS UNIDOS. George Tchobanoglous, Hilary Theisen. Rolf Eliassen, *Gestión integral de residuos sólidos*, McGraw HUI Book Company, 1994.

Los contaminantes bacteriológicos se pueden filtrar después de varios metros de viaje a través del suelo; no así los cloruros, nitratos y sólidos suspendidos que después de una larga trayectoria pueden contaminar un acuífero. Se cree que con el tiempo decrece la cantidad de contaminantes en un lixiviado. Con respecto al movimiento de lixiviados, diversos estudios concuerdan en que la distancia recorrida por los contaminantes depende de la composición y permeabilidad del suelo, así como del tipo de contaminante.

El tratamiento de lixiviados en las lagunas de oxidación es una combinación de operaciones físicas, de procesos biológicos y químicos. Existen dos grandes tipos de actividades biológicas que ejecutan los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica de los lixiviados: la oxidación aeróbica y la oxidación anaerobia, reacciones que permiten la transformación de compuestos orgánicos altamente tóxicos en compuestos menos tóxicos o no tóxicos, minimizando así el problema ambiental.

En este caso la laguna de estabilización de lixiviados del relleno sanitario de Popayán se comporta de forma anaerobia según el estudio realizado por el departamento de química en el 2006 teniendo en cuenta el alto contenido de materia orgánica (DBO₅ y DQO) del afluente. Por lo tanto se puede esperar que se comporte de esa manera, dado que es casi imposible que haya oxígeno disuelto y microorganismos aerobios.

Las cargas volumétricas encontradas en el afluente de la laguna fueron en general inferiores a 400 g DBO₅/m³/día, valores que según el autor [Duncan Mara] cumple con los requisitos de una laguna anaerobia.

3.2 RELLENOS SANITARIOS

La composición física y química de los residuos que se disponen en el relleno tiene importancia desde el punto de vista de operación del mismo ya que afecta el volumen de lixiviados y la composición de los gases que se generan durante la vida útil del relleno; igualmente sirve para estimar las cantidades de subproductos luego del tratamiento y/o separación, tales como compost, material reciclable y basura a descomponer, por lo tanto se debe considerar que la composición física de residuos de una comunidad tiene relación con las condiciones socioeconómicas de la población.

La disposición de desechos municipales en rellenos sanitarios es una de las prácticas más comunes y económicas.

Los procesos más importantes que se generan dentro de los rellenos están íntimamente relacionados con la degradación de la materia orgánica.

Mediante la degradación de la materia orgánica, esta se convierte en líquidos (lixiviados) y gases (biogás). Los líquidos tienen la tendencia de fluir hacia el fondo del relleno, y los gases fluyen hacia la atmósfera.

3.2.1 Procesos y componentes principales

En un relleno sanitario se trata de aislar los desechos, controlar los lixiviados y biogás que se generan, ya que estos tienden a fluir fuera del relleno, generando impactos ambientales adversos.

Se llaman lixiviados a los líquidos que se generan a raíz de la degradación de la materia orgánica (de origen bioquímico) y los líquidos que se originan de la infiltración de agua en el relleno (de origen hidrológico). En la mayoría de los rellenos la recolección de lixiviados funciona básicamente por gravedad en el cual los líquidos generados por la descomposición de la basura son transportados por canales de drenaje hacia una laguna en la que se lleva a cabo un tratamiento anaeróbico. Se realizan muestreos en los que se analizan parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de la laguna, lo que permite determinar la eficiencia del tratamiento. Los gases generados a raíz de la degradación de la materia orgánica se suelen llamar "biogás," gases que cuando se forman en ambientes sin oxígeno contienen principalmente metano, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

Como muchos rellenos sanitarios en el mundo, estos se diseñan con los siguientes elementos físicos de aislamiento y de control:

- Una base conformada por suelos y materiales sintéticos de baja permeabilidad para evitar la migración de los lixiviados generados dentro del relleno hacia los acuíferos profundos.
- Un sistema de drenaje en el fondo del relleno para conducir los lixiviados hacia sitios de almacenamiento.
- Un sistema de tratamiento de los lixiviados recolectados.

- Capas o niveles de desechos municipales conformados durante la operación del relleno.
- Capas de suelo que se compactan encima de los desechos con el objeto de evitar los efectos ambientales adversos que producen las basuras expuestas.
- Un sistema de manejo de los gases generados dentro del relleno, que consisten en la instalación de una serie de chimeneas verticales con el propósito de conducir los gases hacia la atmósfera (extracción pasiva) o con tecnologías más modernas como la extracción forzada de gas y su posterior destrucción térmica para controlar los efectos de emisiones.
- Un sistema de impermeabilización en la superficie o cobertura final.

La recolección y disposición de residuos sólidos es un área en la ingeniería de rápido desarrollo.

En la medida que los espacios y las tierras disponibles se reducen, las legislaciones ambientales son más estrictas; el estudio, diseño y construcción de rellenos sanitarios se convierte en un elemento vital en el manejo de residuos sólidos. No se puede olvidar que los rellenos sanitarios son los centros de acopio de todos los desechos que se generan a diario en ciudades y comunidades. Las características de calidad y químicas de estos materiales no pueden ser totalmente controladas, como tampoco puede ser controlada en una forma deseada y viable económicamente su biodegradación. Lo que sí se puede controlar y aislar es el relleno mismo y los productos que generan.

Esta ha sido una labor de ingeniería que se está aplicando extensivamente a los rellenos sanitarios desde hace varias décadas. Existe conocimiento, experiencia y normatividad para determinar la correcta operación de los rellenos sanitarios para estimar la producción de gases y lixiviados, con el propósito de diseñar y construir sistemas adecuados de drenaje para el manejo de esta clase de residuos.

La forma de clausura de un relleno sanitario está íntimamente ligada a la utilización futura de la tierra. Bajo las normas de Re-desarrollo de tierras previamente contaminadas, se han desarrollado tecnologías que permiten no solo el control ambiental y geotécnico de los rellenos sanitarios, sino la utilización de las tierras para usos como parques, centros comerciales, teatros, sitios de almacenamiento, y campos de golf.

Los rellenos sanitarios continuarán siendo el aspecto más importante en el manejo de residuos sólidos ya que su economía y facilidad de adecuación no ha sido sobrepasada por otros sistemas de disposición de residuos.

3.2.2 Manejo de lixiviados

La alternativa planteada para el manejo de los lixiviados del relleno sanitario funciona por gravedad, recolectándolos y transportándolos por unos filtros diseñados para tal fin, hasta entregarlos a un tanque de almacenamiento; de allí los lixiviados serán transportados por medio de tubería hasta una laguna de oxidación que podrá almacenar el caudal de lixiviados por un período de tiempo establecido y que será ubicada en el área destinada para la planta de tratamiento, de ser esta implementada.

La evaluación de la opción de capa de cobertura propuesta es un factor importante a la hora de definir el sistema de drenaje de las aguas superficiales ya que se proyecta con el fin de interceptar, absorber y conducir el agua lluvia.

Se debe tener presente que la infraestructura de drenaje de aguas lluvias deberá estar en capacidad de captar toda esta precipitación que escurrirá sobre el vertedero, la cual se drenará a través de la interface entre las capas de cobertura, hechos que se ven en las figuras 2 y 3.

Figura 2. Filtros captadores de lixiviados

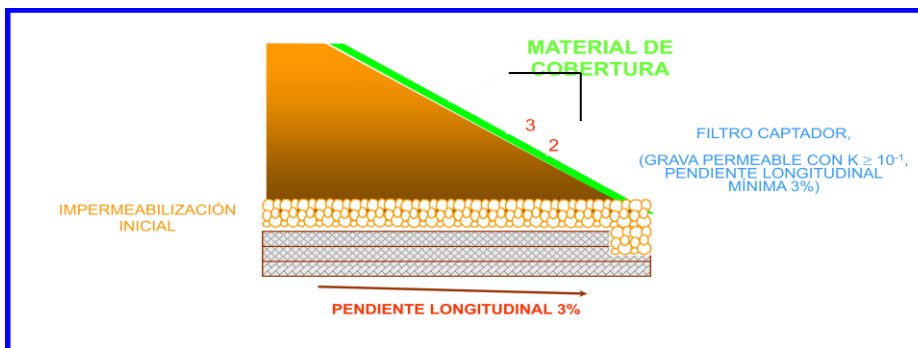
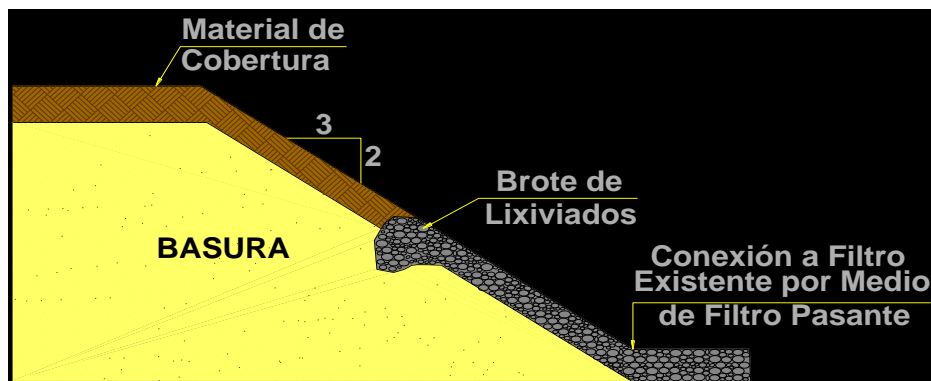


Figura 3. Control de lixiviados (brote de lixiviados)



Fuente: Línea base Ambiental Relleno sanitario "El ojito". Secretaria de infraestructura y mantenimiento vial, división de aseo. 2003.

3.2.3 Relleno Sanitario Tradicional

Esta tecnología consiste en la disposición final de los residuos sólidos generados por comunidades rurales y urbanas a nivel municipal de tal forma que la disposición final en el suelo no cause perjuicio al medio ambiente y molestias o peligros para la salud y seguridad pública, tanto de sus operarios como de los sectores aledaños.

En esta tecnología se coloca la basura en celdas o en capas compactadas, cubiertas con tierra arcillosa, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogenización y compactación. Es posible usar una membrana inferior (geomembrana) que es una lámina de plástico (generalmente polietileno) de alta densidad, o se compacta el suelo existente que debe ser del tipo de arcilla el cual cuenta con una baja permeabilidad. Al mismo tiempo, se construyen obras adyacentes de control y monitoreo como pozos de venteo, de observación del agua subterránea e instalaciones para la recolección y tratamiento de lixiviados. El sistema de colección de líquidos consiste en caños emplazados en el fondo del relleno. El líquido ingresa dentro de estos caños, debido a la inclinación del terreno y por gravedad es dirigido hacia el sistema de tratamiento de lixiviados.

El municipio de Popayán cuenta con un relleno sanitario tradicional, en el que se da la disposición final de los residuos sólidos no aprovechables que produce la población, estos residuos generalmente son domiciliarios, ya que el municipio no cuenta con un gran desarrollo industrial y los residuos hospitalarios y peligrosos son depositados en una celda especial dentro del relleno sanitario. En el relleno diariamente se reciben los residuos, son dispuestos, compactados, cubiertos y es aquí donde se realiza el control ambiental, de tal manera que se produzca el mínimo daño al ambiente y a la salud de la población sometida al riesgo de sus efluentes.

3.2.4 Bioquímica de los rellenos sanitarios

La materia orgánica constituyente de la basura es transformada en los rellenos sanitarios por bacterias facultativas y anaerobias mediante una serie de reacciones que dan por resultado la formación de metano (55%), dióxido de carbono (40%), vapor de agua y otros (5%) (Mezcla gaseosa comúnmente conocida como biogás).

Materia orgánica + bacterias anaerobias = CO₂ + H₂O + CH₄ + NH₃ + productos finales reducidos.

El proceso anterior no sólo tiene lugar en los rellenos sanitarios, sino también en los vertederos a cielo abierto, aunque en menor escala, como era el caso del relleno sanitario de Popayán.

Los factores que influyen en la producción de biogás en un relleno sanitario pueden dividirse en dos: la composición de la basura y los factores físicos ambientales.

La basura depositada en los rellenos sanitarios en los países en desarrollo tiende a estabilizarse en un periodo de 10 a 15 años, ya que el alto contenido de material de rápida biodegradación se equilibra aceleradamente, en tanto que los rellenos con alto contenido de papel y cartón tardan 20 años o más, sin contar los plásticos.

Dentro de los factores físicos que influyen en el proceso en cuestión está el contenido de humedad dentro del relleno, la temperatura, el pH y la ausencia de aire. La humedad es esencial para el metabolismo celular de las bacterias responsables del proceso, así como del transporte de los nutrientes dentro del relleno, esta depende del grado de infiltración de aguas lluvias y de las posibles fuentes subterráneas y, en mucho menor escala, del total de agua producida durante el proceso.

La temperatura y el pH también afectan el crecimiento y la actividad de las bacterias dentro del relleno. Las temperaturas imperantes generalmente están comprendidas entre 25° y 40°C, estas temperaturas pueden existir sin ningún problema, independientemente de las existentes en el exterior del relleno. En tanto que el pH debe ubicarse entre valores de 6.8 y 7.2, pues valores de pH inferiores a 6.5 generan acumulación excesiva de ácidos orgánicos, dando por resultado la caída aún mayor del pH, que puede conducir a la interrupción de la producción de biogás durante meses o años.

Un relleno sanitario es un sistema de conversión o estabilización de la basura en el que existe la generación de biogás y lixiviados durante el proceso de conversión; este biogás y los lixiviados deben capturarse y controlarse para evitar la contaminación del suelo, del agua y del aire.

3.3 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LIXIVIADOS

Figura 4. Laguna de estabilización de lixiviados Eco parque “el ojito”.



En las lagunas de estabilización se dan procesos en los cuales la materia orgánica que ingresa se halla en estado de sólidos sedimentables y sólidos en suspensión, éstos a su vez en estado coloidal y diluido. Los sólidos sedimentables y coloidales floculados, sedimentan en el fondo de la laguna y particularmente en la zona de ingreso. En cambio, el resto de la materia orgánica permanece en la masa líquida. Los sólidos biodegradables depositados son estabilizados por las bacterias formadoras de ácidos y de metano que en condiciones anaeróbicas producen gases que escapan a la atmósfera, y compuestos solubles en la masa líquida.

3.3.1 Estudios previos para el desarrollo de una laguna

- Terreno: compresibilidad de la tierra, contenido de humedad y otros factores. El suelo removido debe ser adecuado para la compactación y mantener una cohesión para soportar el tránsito de rodados y operarios durante el colado de la capa impermeable.
- Vientos: es muy importante considerar los vientos, dado que su acción provoca olas erosivas de costas y la fricción causada en la superficie del lago, incide en la mezcla y difusión del oxígeno fotosintético.
- Tratamiento de aguas: el mantenimiento de la masa de agua en condiciones óptimas se logrará únicamente por medios naturales y mecánicos. No se puede aplicar químicos porque afectan el hábitat de bacterias y otro tipo de microorganismos que mantiene el equilibrio entre los factores encargados de la degradación de la materia orgánica.
- Taludes: el talud no cumple solo la función de "dique" para contener las aguas, sino que también protege de los vientos y constituye las costas del lado

húmedo. Consecuentemente es vital el diseño de las pendientes y textura de los taludes.

- Costas: en esta área se debe considerar una textura resistente a la erosión, cuidando que el material no facilite la retención de material flotante (grasas, basuras, etc.).
- Coronación: Definir la coronación con una geométrica curva que evite la acumulación del agua de lluvia.

3.3.2 Tipos de lagunas

Existen varios tipos de lagunas de estabilización entre ellas:

3.3.2.1 Lagunas aeróbicas

Como su nombre lo indica son lagunas que operan en presencia del aire, son de poca profundidad, de 1.20 a 0.80 metros, lo que propicia la proliferación de algas que suministran una buena parte del oxígeno necesario. Se logran eficiencias de DBO de 65% a 75%. En las lagunas aeróbicas las sustancias biodegradables suspendidas y disueltas son estabilizadas por la flora aeróbica microbiana.

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso, en el que participan **bacterias aerobias o facultativas**, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aerobias. Existe pues una simbiosis entre bacteria y algas que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. El

desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales.

A través de estos procesos bioquímicos en presencia de oxígeno disuelto las bacterias logran el desdoblamiento aerobio de la materia orgánica. El oxígeno consumido es parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Las algas logran, a través de procesos inversos a los anteriores, en presencia de la luz solar, utilizar los compuestos inorgánicos para sintetizar materia orgánica que incorporan a su protoplasma. A través de este proceso, conocido como fotosíntesis, las algas generan gran cantidad de oxígeno disuelto. En las lagunas de estabilización el agua residual no se clarifica como en las plantas de tratamiento convencional pero se estabiliza, pues las algas son materia orgánica viva que no ejerce DBO.

Las ventajas de estos sistemas son el área de terreno reducida que se emplea para su construcción, la alta eficiencia en remoción de sólidos y nutrientes, el control efectivo de los olores y la obtención de un efluente muy clarificado. Sin embargo posee aspectos desfavorables como la poca eficiencia en remoción de patógenos por lo cual el proceso debe ser complementado con desinfección.

3.3.2.2 Lagunas anaerobias

Son lagunas con carga orgánica tan alta que no poseen zona aeróbica, excepto, posiblemente en su superficie. Típicamente son usadas como lagunas primarias para residuales domésticas y municipales así como para tratamiento de aguas industriales con DBO mayor de 1000 mg/L. Trabaja con una carga orgánica de 160-800 kg DBO /m³d. El tiempo de retención es de 20-50d y generalmente hay olores y el efluente requiere de tratamiento adicional.

Generalmente se usan como una primera depuración o pre-tratamiento, se puede considerar como un digestor ya que se le aplican cantidades de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen, de tal manera que prevalezcan las condiciones anaeróbicas, es decir la ausencia de oxígeno. La eficiencia esperada con este tipo de lagunas varía con el tiempo de retención hidráulica; con tiempos de 1 a 10 días se obtiene una eficiencia de remoción de DBO de 20 al 60%. Una desventaja de este tipo de lagunas es la producción de malos olores que impide su localización en lugares cercanos (500 m) de zonas habitadas. Generalmente son estanques de 3 a 5 metros de profundidad.

Las reacciones anaerobias son más lentas y los productos pueden originar malos olores, estas condiciones se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto. El desdoblamiento de la materia orgánica sucede en una forma más lenta y se generan malos olores por la producción de sulfuro de hidrógeno. En la etapa final del proceso anaerobio se presentan las cinéticas conocidas como acetogénica y metanogénica.

Las ventajas que tienen estos sistemas de tratamiento son: el área que se requiere para su construcción es reducida, es una tecnología atractiva para desechos de altas concentraciones y desechos industriales biodegradables. Los aspectos desfavorables que presenta esta tecnología, es que son procesos muy sensibles a factores ambientales, las tasas de mortalidad bacteriana son reducidas, presentan malos olores en su operación y mantenimiento.

3.3.2.3 Lagunas facultativas

Son lagunas o estanques de tratamiento con una sección superior aerobia y una inferior anaerobia de modo tal que los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos se produzcan en forma simultánea. En la parte superior se da una fase aerobia y en la inferior una anaerobia donde se ubican los sedimentos que se van produciendo en la estabilización. El aporte de oxígeno necesario se produce por la acción fotosintética de las algas que conviven en el estanque con las bacterias y microorganismos que degradan la materia orgánica.

En el resultado final, en la zona aerobia de una laguna facultativa se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica putrescible (muerta) originalmente presente en las aguas residuales, la cual se transforma en materia orgánica (viva) incorporada protoplasma de las algas.

El proceso que se lleva a cabo en las lagunas facultativas es diferente del que ocurre en las lagunas anaerobias. Sin embargo, ambas son efectivas para estabilizar la materia orgánica y reducir los organismos patógenos de las aguas residuales. Se diseñan con una profundidad variando normalmente entre 1.5 a 2.0 metros y una cantidad de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen que permita el crecimiento de organismos aeróbicos y facultativos (estos últimos pueden reproducirse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno). Es el tipo de lagunas más usado por su flexibilidad; requieren menos terreno que las aerobias y no producen los posibles olores de las anaerobias.

Como en todos los procesos biológicos, el factor que afecta su eficiencia es la temperatura. Las eficiencias esperadas en estas lagunas van desde el 60% hasta el 85% en remoción de DBO. La eficiencia en la remoción de bacterias, especialmente del grupo coliforme, puede alcanzar valores del 99.99%, debido a los tiempos de retención hidráulicos tan prolongados.

Son las lagunas más usadas, para cargas mínimas puede ser predominantemente aeróbica. Su afluente puede ser agua residual cruda y efluentes primarios o tratados en otros procesos previos. Se recomienda diseñar las lagunas facultativas para cargas orgánicas menores de 300 Kg DBO/ha/día, teniendo en cuenta que el límite de carga para estas lagunas aumenta con la temperatura.

3.3.2.4 Lagunas de Maduración

Se usan para la desinfección de las aguas residuales e incluye la destrucción de patógenos, virus, parásitos y demás organismos perjudiciales. Se construyen generalmente con tiempos de retención de 3-10 días.

3.3.3 Tipos de factores y su influencia en las lagunas de maduración

3.3.3.1 Factores que influyen en el funcionamiento de una laguna

En el funcionamiento de las lagunas de estabilización influyen diversos factores, sobre todo de tipo físico y químico, que tienen determinada incidencia en el mismo:

Físicos:

- **Temperatura:** cuando es mayor de 30 °C la actividad de las algas decrece, las bacterias consumen más oxígeno y hay mayor producción de gases en el fondo.
- **Iluminación:** las algas utilizan entre 2- 9 % de la luz solar.
- **Vientos:** favorecen el intercambio de oxígeno en la superficie.

- **Infiltración y evaporación:** si son grandes, el nivel de la laguna baja y no hay efluente (se afecta la actividad de las algas y bacterias)
- **Precipitación:** su valor equivale aproximadamente al de la evaporación

Químicos:

- **Nutrientes:** el más utilizado por las algas es el CO₂ libre.
- **Oxígeno disuelto:** depende de la actividad microbiana y varía con la temperatura.
- **pH:** relativamente estable, en condiciones anaeróbicas hay reducción.
- **Compuestos orgánicos:** algunos ofrecen resistencia a la oxidación.

3.3.3.2 Factores que influyen en las reacciones biológicas (no controlables por el hombre)

- **Radiación solar:** En las lagunas facultativas es fundamental la fotosíntesis realizada por las algas para producir el oxígeno requerido por las bacterias aeróbicas. La radiación solar que se produce durante el día interviene en forma directa en la fotosíntesis.
- **Temperatura del agua en las lagunas:** Es un factor fundamental en el diseño de la laguna. Los procesos de reducción de la materia orgánica por acción bacteriana son dependientes de la temperatura. Un aumento de 4 – 5 °C en la temperatura puede aumentar enormemente la eficiencia de la laguna.

•**Vientos:** Influyen en la aireación y homogenización de los líquidos de las lagunas, además de regular la temperatura. Los vientos además favorecen la mezcla y rotura de la estratificación térmica.

3.3.3.3 Factores que influyen en las reacciones biológicas (controlables por el hombre)

1. • **Carga orgánica superficial** (kg DBO/d.hab).
2. • **Profundidad de la laguna** (m).
3. • **Distribución del ingreso de la carga hidráulica.**
4. • **Período de detención hidráulica** (d).
5. • **Operación en serie o en paralelo.**

3.4 INFILTRACIONES

El análisis de la infiltración en el ciclo hidrológico es de importancia básica en la relación entre la precipitación y el escurrimiento, por lo que a continuación se introducen los conceptos que la definen, los factores que la afectan, los métodos que se usan para medirla y el cálculo de dicha componente en grandes cuencas.

3.4.1 Definición de infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en

una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

3.4.2 Capacidad de infiltración.

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

3.4.2.1 Factores que afectan la capacidad de infiltración: Influyen en el proceso de infiltración:

Entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido.

- Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo.
- Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.
- Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.

- Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo –arenoso, arcilloso-, la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

3.5 DIAGNOSTICO GENERAL

El Municipio de Popayán, fundado por Sebastián de Belalcázar el 13 de enero de 1537, se encuentra en la jurisdicción del Departamento del Cauca, localizado al sur occidente del País. La capital del Departamento del Cauca denominada ciudad de Popayán, y además está conformado por 23 corregimientos y dos resguardos indígenas correspondientes a Quintana y Poblazón. La ciudad de Popayán se ubica a los 02° 26'36" de latitud norte y a los 76° 36' 17" de longitud oeste, sobre los 1738 msnm y cubre un área de 512 Km².

3.5.1 ubicación del relleno sanitario Eco-Parque el “ojito”

Ubicado en la carretera que conduce a El Tambo, a 3 Km del perímetro urbano de Popayán, Departamento del Cauca, se tiene acceso por una vía que tiene un ancho promedio de 7m, pasa por la parte occidental del relleno.

3.5.2 descripción del área de estudio

Los lixiviados producidos por la totalidad del relleno (desde que ocurrió su transición) son recolectados en una laguna de estabilización mediante una tubería

corrugada de 6", la cual está ubicada en la zona oriental del relleno, con coordenadas 02° 27' 51,09" de latitud Norte y 76° 39' 10,1" de latitud Oeste.

Esta laguna tiene aproximadamente 14 m de ancho, 76,5 m de largo y una profundidad promedio de 1,60 m. Se toman muestras a la entrada (tubo de PVC que canaliza los lixiviados provenientes del bloque 1 (antiguo) y bloque 2 (joven)) y a la salida (tubo de PVC que tiene malla para no permitir el paso de sedimentos a la descarga).

3.5.3 Temperatura Media.

La zona de interés para este estudio es la ciudad de Popayán, la que cuenta con una altura de 1738 msnm y una temperatura anual promedio que oscila entre 16 y 20°C correspondiente a la Tierra Templada de acuerdo con la clasificación de Caldas Lang. La precipitación anual varía entre 2000 y 2300 mm aproximadamente.

Los meses con mayor promedio de lluvias son Octubre y Noviembre, se presenta una disminución en Enero, Marzo y Abril y los meses con menor promedio de lluvias son Junio, Julio y Agosto.

4. ANTECEDENTES

El sitio de disposición final de residuos sólidos viene funcionando desde el año 1986. En el año 1997 se mejora el cubrimiento de residuos y se diseña y construye parcialmente un sistema para el manejo de gases. La CRA reclasifica el botadero como enterramiento (resolución 30 de 1997)

En el año 1998 se continúa con enterramiento, riego de cal, construcción de zanjas perimetrales y afirmado de vías.

En el año 1999 el municipio contrata al Ing. Héctor Collazos para realizar el plan de manejo que convierta el sitio de disposición en un relleno sanitario. Este plan de manejo se remite a la CRC en octubre del 2000.

En el año 2001 mediante resolución 0633 del 27 de agosto de 2001, la CRC establece “el plan de manejo” para el relleno sanitario.

En los años comprendidos entre 2001,2002: se inician actividades importantes para la operación como relleno sanitario, entre ellas:

- 1.** Sensibilización de recicladores
- 2.** Inicio de impermeabilización con geomembrana de alta densidad
- 3.** Construcción de filtros para lixiviados
- 4.** Construcción de laguna anaerobia para descontaminar lixiviados.
- 5.** Construcción de caseta para bombeo y recirculación de lixiviados.
- 6.** Construcción del sistema de evacuación de gases por medio de chimeneas mixtas.
- 7.** Construcción y reparación de cercos perimetrales
- 8.** Revegetalización de taludes

9. Implementación del sistema de monitoreo de lixiviados y gases
10. Elaboración de la línea Base para establecer la calidad del recurso agua y aire
11. Estudios Geofísicos para determinar la estabilidad de taludes.

En la actualidad y dada la nueva administración el relleno sanitario cuenta con un nuevo plan de manejo el cual lo sitúa como el **Eco parque** relleno sanitario el “ojito”.

Es de notar que un trabajo como este en el cual se involucra el cálculo de un balance hídrico, y el estudio y patronamiento del los vertederos ubicados en la laguna de lixiviados del relleno en cuestión no se han realizado hasta el presente informe.

5. JUSTIFICACIÓN

Los lixiviados producidos por el Eco-parque relleno sanitario “El Ojito” son recolectados en una Laguna de Estabilización mediante una tubería corrugada de 6”, la cual está ubicada en la zona oriental del relleno, Esta laguna tiene aproximadamente 14 m de ancho, 76.5 m de largo y una profundidad promedio de 1,60 m. Según los estudios más recientes que se han realizado en esta zona.

En el año 2006 con unos datos de Sólidos Totales del orden de 23872 mg/L, la laguna se colmató y hubo la necesidad de vaciarla con el fin de limpiarla y modificar la hidráulica del sistema, razón por la que es necesario evaluar su sistema de tratamiento, realizando diferentes pruebas que permitan conocer cuál es su comportamiento hidráulico actual, es por esto que se hace importante el cálculo de caudales de infiltración, los cuales en el caso de ser evidenciados en este estudio indicarían una falla en el sistema, el cual puede repercutir en serios problemas de contaminación hídrica, como es el caso de las aguas subterráneas, puesto que la mayor parte de los yacimientos se encuentran a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico y consecuentemente se puede dar una contaminación en aguas superficiales aledañas al relleno, ya que el agua subterránea puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, o puede ser extraída mediante pozos. En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez, el agua subterránea es preferible porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos y pueden ser utilizadas tanto para el consumo humano como el de animales, o para ser usada en las diferentes practicas agrícolas.

Para hallar los posibles caudales de infiltración en la laguna se hace necesaria la medición de parámetros climatológicos los cuales serán recogidos mediante la

instalación de ciertos equipos como el pluviómetro y un tanque evaporímetro en el área de influencia puesto que las condiciones del clima en ese sitio varían con respecto a la zona urbana de la ciudad de Popayán.

También se realizará un estudio detallado de caudales tanto a la entrada como a la salida de la laguna de estabilización en donde se evaluarán los incrementos de dichos caudales debido a la precipitación y al área de captación ya que se cuenta con dos vertederos triangulares los cuales aun no han sido patronados, labor que se llevara a cabo en el transcurso de este proyecto.

Hasta el momento no se tienen datos del incremento de caudales de lixiviados por las lluvias y su registro, análisis que se tendrá en cuenta al momento de registrar dichos caudales.

En consecuencia con lo anterior, es de gran importancia un estudio de producción, identificación y pérdida de caudales de lixiviado dado que esto puede ayudar a una mejor estructuración de la laguna y por ende proporcionar datos concretos en papel para futuros estudios. En general evaluaciones como estas en el relleno sanitario son una herramienta necesaria para llevar a cabo el seguimiento del proyecto, conocer la efectividad de las medidas correctivas aplicadas en el Plan de Manejo Ambiental, y acumular información, ya que también se contará con datos climatológicos concretos para futuros proyectos similares y otros que se desarrollen en la zona.

6. OBJETIVOS

6.1 GENERAL

- ✿ Identificar y cuantificar la presencia de infiltraciones en la laguna de estabilización de lixiviados del eco parque relleno sanitario “el ojito” de Popayán

6.2 ESPECIFICOS

- ✿ Medir parámetros climatológicos como evaporación y precipitaciones diarias.
- ✿ Calibrar los vertederos de entrada y salida de la laguna.
- ✿ Aforar caudales de entrada y salida de la laguna de lixiviados.
- ✿ Calcular el incremento de caudales debido a la precipitación y el área de captación.
- ✿ Aportar las recomendaciones necesarias para optimizar el funcionamiento de la laguna de estabilización de dicho relleno.

7. METODOLOGIA

7.1 SITIO DE MUESTREO

El relleno sanitario “Eco parque el Ojito” se encuentra ubicado en el kilómetro 7 vía Popayán-El Tambo en el municipio de Popayán-Cauca. Comprende aproximadamente 11.18 hectáreas y se encuentra a una altura de 1.773 metros sobre el nivel del mar.

Figura 5. Ubicación en plano y foto de la laguna de lixiviados del relleno sanitario de Popayán.



Se pretende hallar un caudal de infiltración, el cual se determina por medio de un balance hídrico en la zona de la laguna de lixiviados del relleno.

También se determinara el incremento de los caudales de lixiviados por las lluvias y su relación con la concentración de los diferentes componentes de los mismos.

Para lograr dicho objetivo se instaló en el área de estudio un pluviómetro de tubo de PVC el cual es de fabricación manual, y cuenta con una probeta en su interior, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Instalación del pluviómetro



El pluviómetro cuenta con un diámetro de recolección de 10.1cm y la probeta es de 250 ml con estos valores se haya el área del aparato dada la formula:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (7.1)$$

Donde:

A = Área del pluviómetro

π = símbolo Pi

D = diámetro de recolección del pluviómetro.

Con lo anterior y obteniendo el dato diario de volumen en la probeta se hace una relación de volumen sobre área y se obtiene la altura de la lluvia que se precipitó en la zona en cuestión.

Se instalo un tanque evaporímetro el cual fue llenado con el lixiviado de la misma laguna, obteniendo así su evaporación potencial. Ya que las características físicas y químicas son diferentes al agua en condiciones naturales, además que la laguna mantiene una capa superficial de grasas y espumas y la evaporación es inversamente proporcional al peso específico del agua, el tanque se instalo cerca del pluviómetro y siempre se llenó hasta alcanzar una altura igual a 10 cm. La instalación se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Instalación del tanque evaporímetro



Se realizaron los aforos de los caudales para lo cual se hicieron mediciones periódicas tanto a la entrada como a la salida de la laguna teniendo en cuenta las épocas de verano e invierno, utilizando el método volumétrico como se muestra en las Figuras 8 y 9.

Figura 8. Toma de caudales en el afluente de la laguna



Figura 9. Toma de caudales en el efluente de la laguna



Se instaló en la laguna una regla de 2.50 metros la cual sirvió para medir los niveles iniciales y finales de la laguna lo cual se registrará a diario.

Teniendo en cuenta la cantidad de lixiviado que entra, el que sale, lo que se pierde por evaporación y lo que se gana por la precipitación y estableciendo los niveles de lixiviado en la laguna, se logro determinar mediante un balance hídrico, el caudal de infiltración el cual es un dato que se obtuvo a diario.

Dado que la laguna de lixiviados se encuentra en una zona donde recibe un aporte por escorrentía importante se recurrió al mapa del lugar y se hallo el área de escorrentía por medio de autocad. El caudal de escorrentía está dado por:

$$Q_{esc} = Q * A \quad (7.2)$$

Donde:

Q_{esc} = caudal de escorrentía, adoptando el siguiente método.

Q = escorrentía real dado por El SOIL CONSERVATION SERVICE (1972) el cual desarrolló un método para calcular dicho caudal en una lluvia.

A = área de escorrentía.

En donde la escorrentía real está dada por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (7.3)$$

Donde:

P = precipitación total de cada día en mm

CN = Relación suelo cobertura, valor que depende del uso, tipo, pendiente y condiciones de humedad del suelo.

S = infiltración potencial dada por la expresión $S = \frac{2540}{CN} - 25.4 = mm$.

Se determinó un valor de CN de 75 el cual corresponde a un suelo con textura franco arcilloso, con pastizales como uso de la tierra y con una característica topográfica de zona montañosa, en donde se cuenta con una condición hidrológica regular, esto en cuanto a las condiciones de humedad.

Se adopto un coeficiente de escorrentía para este análisis de 0.6 dado que el terreno presenta características de malezas y pastizales en su cobertura, su característica topográfica es de zona montañosa, posee una pendiente entre 10 y 30%, y se tiene presencia de arcillas².

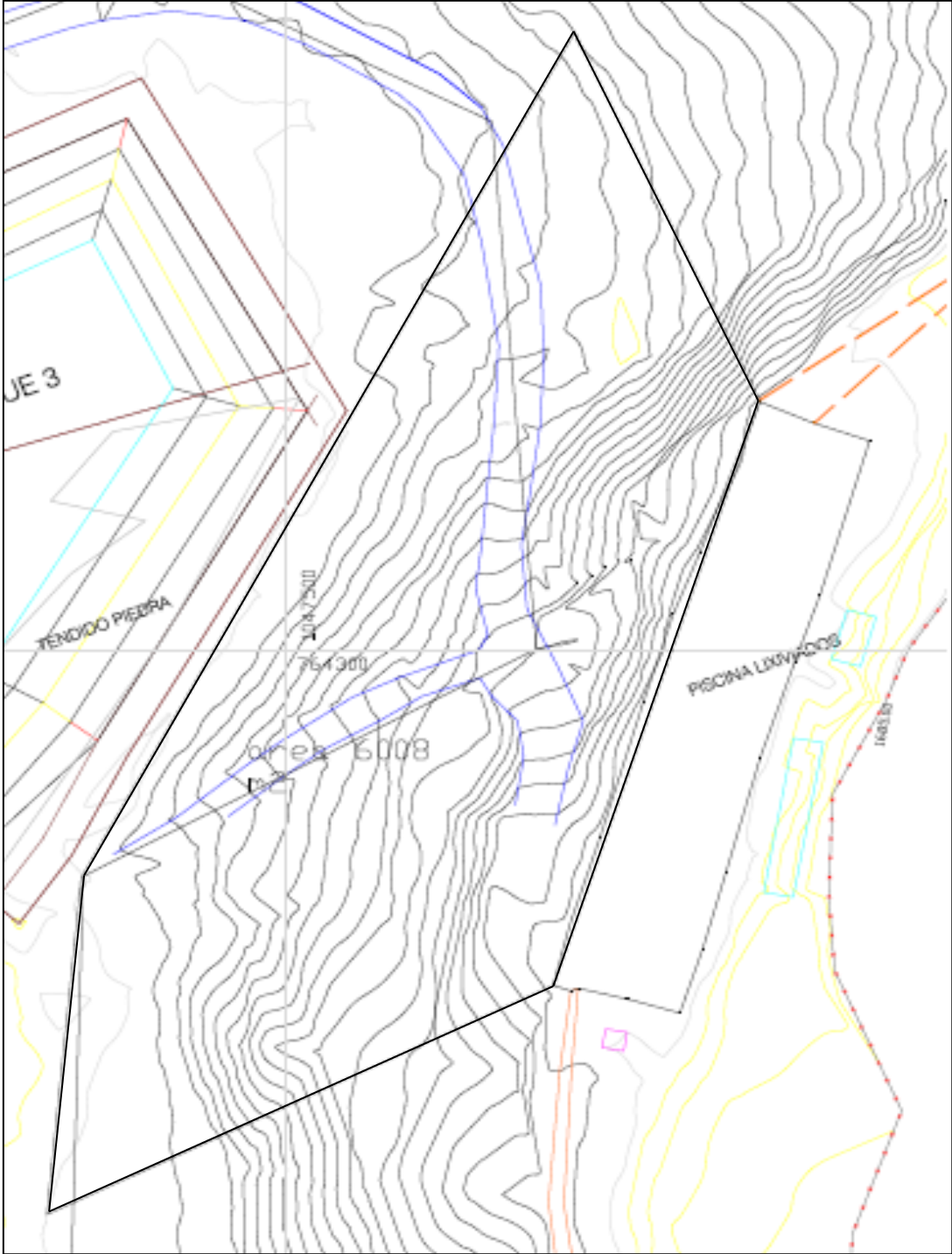
Se determina dicho caudal en las unidades necesarias, el cual se le suma al caudal de entrada a la laguna.

Dado lo anterior se tiene una mayor precisión para determinar el caudal de infiltración y de esta manera cumplir con los objetivos propuestos en el estudio.

En la Figura 10 se muestra el mapa correspondiente a la laguna de lixiviados del relleno y la delimitación del área de escorrentía la cual es de 6008 m².

² GONZALEZ Muñoz. Luis Jorge. Manual para hidrología. Universidad del Cauca. Departamento de Hidráulica. Pág. 213.

Figura 10. Delimitación del área de escorrentía en la laguna de lixiviados



8. DATOS Y RESULTADOS

8.1 ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE LOS VERTEDEROS DE LA LAGUNA DE LIXIVIADOS.

8.1.1 VERTEDERO DE ENTRADA A LA LAGUNA

8.1.1.1 Patronamiento por medio del método de mínimos cuadrados

Se escogió este método dado la gran cantidad de variables que este maneja, lo cual hace que la ecuación de patronamiento resultante sea mas acorde con los datos obtenidos.

Para este método se utiliza una correlación lineal de la forma $Y = a + mX$, para este tipo de correlación las ecuaciones cuadráticas normales son:

$$y = a n + m x \quad (8.1)$$

$$(xy) = a x + mx^2 \quad , n: \text{número de datos disponibles } (x, y) \quad (8.2)$$

La solución para las constantes a y m está dada por:

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad m = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (8.3)$$

Para obtener este tipo de correlación es necesario sacarle el logaritmo a la ecuación de patronamiento (8.4), para obtener una ecuación lineal

$$Q = KH^m \quad (8.4)$$

Donde:

Q : caudal.

K : constante de calibración.

H : carga hidráulica con relación a la cresta del vertedor.

m : exponente.

$$\text{Log } Q = \text{Log } KH^m = \text{Log } K + m \text{ Log } H \quad (8.5)$$

Donde, $Y = \text{Log } Q$, $a = \text{Log } K$ y $X = \text{Log } H$

Para obtener el valor de K se le saca el antilogaritmo al valor de a , $K = 10^a$ y se despeja el valor de C_d de la ecuación del vertedero.

Tabla 2. Datos del método de mínimos cuadrados.

N	Q	H	$\text{Log } Q$	$\text{Log } H$			
	cm^3/s	cm	Y	X	XY	X^2	Y^2
1	301,0000	3,5000	2,479	0,544	1,349	0,296	6,143
2	620,0000	4,5000	2,792	0,653	1,824	0,427	7,797
3	250,0000	3,3000	2,398	0,519	1,243	0,269	5,750
4	311,6000	3,6000	2,494	0,556	1,387	0,309	6,218
5	389,3000	3,8000	2,590	0,580	1,502	0,336	6,710
6	570,6000	4,2000	2,756	0,623	1,718	0,388	7,597
7	914,9300	5,3000	2,961	0,724	2,145	0,525	8,770
8	981,3000	6,3000	2,992	0,799	2,391	0,639	8,951
9	1298,7000	6,6000	3,114	0,820	2,552	0,672	9,694
10	2756,9000	7,5200	3,440	0,876	3,015	0,768	11,836

		TOTAL	28,016	6,695	19,125	4,629	79,467
--	--	--------------	--------	-------	--------	-------	--------

$$a = 1,12$$

K =	13,07
m =	2,52
r =	0,976708546

El factor de correlación, R, está dado por:

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (8.6)$$

El factor de correlación $R = 0.9767$ lo que significa que la recta esta bien ajustada, incluso cuando los valores se tomaron de un vertedero en pésimas condiciones.

Ecuación de patronamiento:

$$Q = 13.07 H^{2.52} \quad (8.7)$$

Donde:

Q = caudal (cm³/sg)

H = altura (cm).

Figura 11. Curva por el método de mínimos cuadrados

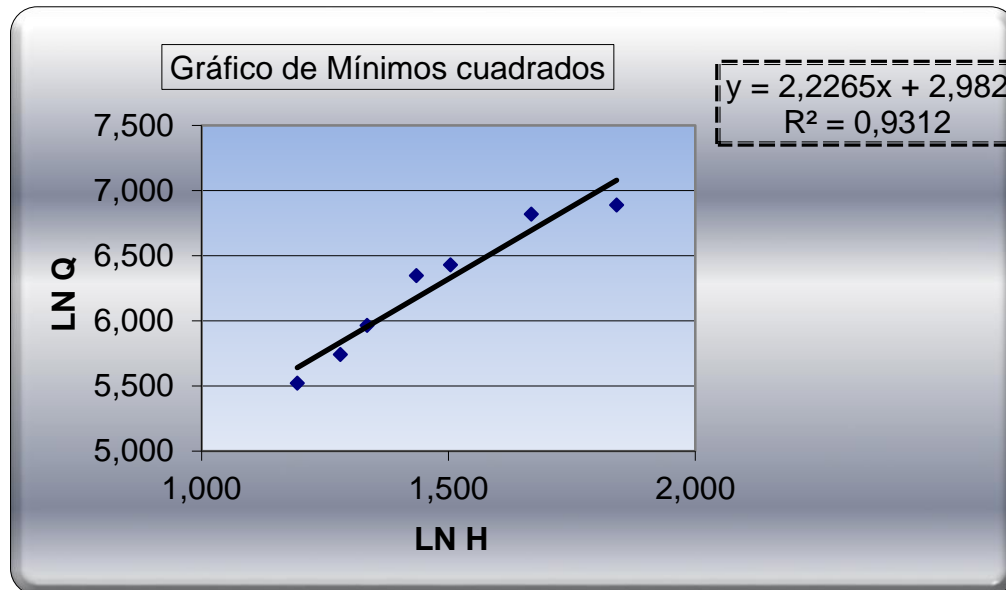
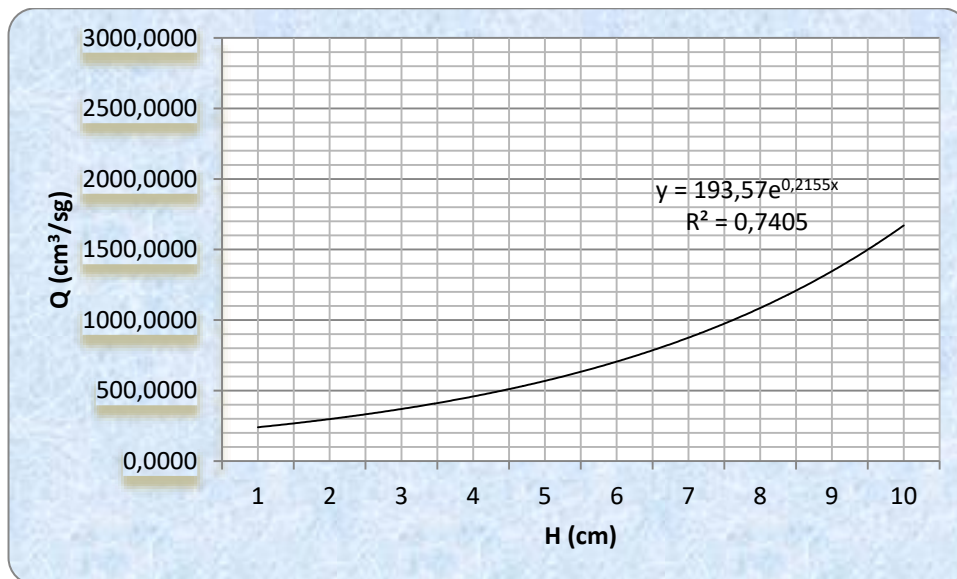


Figura 12. Curva de patronamiento para el vertedero de entrada



La curva que mejor se ajusta es una expresión exponencial, dada por:

$$Y = 193.5e^{0.215x}$$

(8.8)

Donde:

Y = caudal de lixiviado de entrada

X= altura del liquido sobre el vertedero de entrada

Cuyo factor de correlación es **R = 0.86**, lo que significa que es una curva bien ajustada.

8.1.2 VERTEDERO DE SALIDA A LA LAGUNA

8.1.2.1 Patronamiento por medio del método de mínimos cuadrados

Tabla 3. Datos del método de mínimos cuadrados.

<i>N</i>	<i>Q</i>	<i>H</i>	<i>Log Q</i>	<i>Log H</i>			
	<i>cm³/s</i>	<i>cm</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>XY</i>	<i>X²</i>	<i>Y²</i>
1	235,7000	3,2000	2,372	0,505	1,198	0,255	5,628
2	380,9000	3,6000	2,581	0,556	1,436	0,309	6,661
3	426,7000	3,8000	2,630	0,580	1,525	0,336	6,918
4	485,2000	4,0000	2,686	0,602	1,617	0,362	7,214
5	727,4800	4,4000	2,862	0,643	1,841	0,414	8,190
6	805,9600	4,6000	2,906	0,663	1,926	0,439	8,447
7	901,4000	5,7000	2,955	0,756	2,234	0,571	8,732
8	1452,2000	6,9000	3,162	0,839	2,652	0,704	9,998
9	1243,2200	6,6000	3,095	0,820	2,536	0,672	9,576
10	2722,3700	9,1420	3,435	0,961	3,301	0,924	11,799
		TOTAL	28,684	6,925	20,267	4,987	83,162

a =	1,41
K =	25,56
m =	2,11
r =	0,980652184

El factor de correlación, R, está dado por:

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

El factor de correlación $R = 0.9806$, lo que significa que la recta esta bien ajustada, incluso cuando los valores se tomaron de un vertedero también en pésimas condiciones.

Ecuación de patronamiento:

$$Q = 25.56 H^{2.11} \tag{8.9}$$

Donde:

Q = caudal (cm³/sg)

H = altura (cm)

Figura 13. Curva por el método de mínimos cuadrados

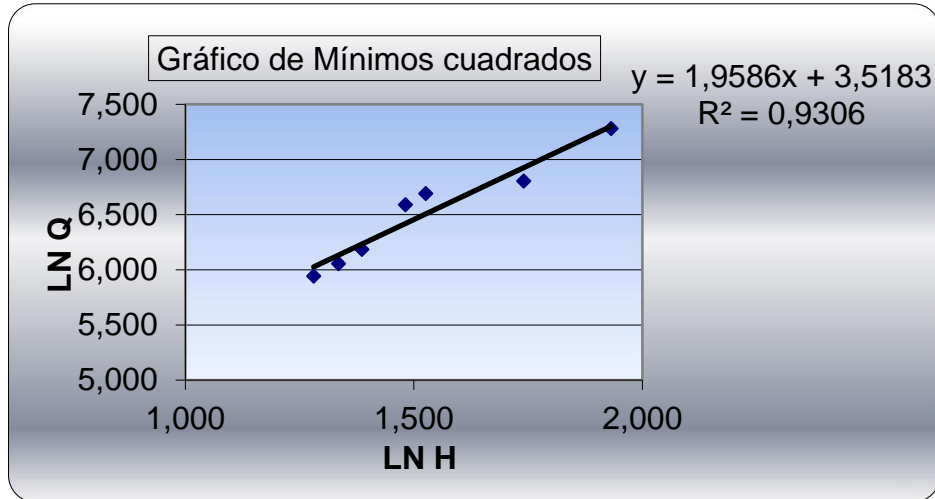
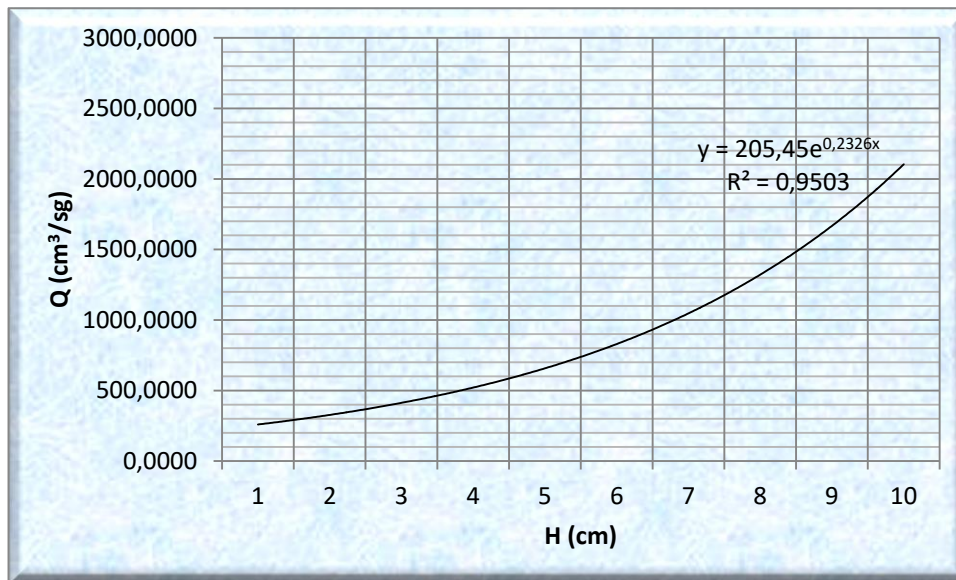


Figura 14. Curva de patronamiento para el vertedero de salida



La curva que mejor se ajusta es una expresión exponencial, dada por:

$$Y = 205.4 e^{0.232x} \quad (8.10)$$

Donde:

Y= caudal de lixiviado de salida

X= altura del liquido sobre el vertedero de salida

Y cuyo factor de correlación es $R = 0.9747$ lo que significa que es una curva bien ajustada.

8.2 APLICACIÓN DEL BALANCE HIDRICO Y DATOS DE LOS CAUDALES DE INFILTRACION

Formula del balance hídrico:

$$P + Q_{ent} = Evap + Q_{sale} +/- \Delta \text{ nivel laguna} +/- Q_{inf} \quad (8.11)$$

De la anterior se despeja el caudal de infiltración y queda:

$$+/- Q_{inf} = P + (Q_{ent} - Q_{sale}) - Evap +/- \Delta \text{ nivel laguna.} \quad (8.12)$$

Donde:

P = Precipitación

Q_{ent} = Caudal de entrada a la laguna

Evap = Evaporación en el área de la laguna

Q_{sale} = Caudal que sale de la laguna

+/- Δ nivel = Nivel en la laguna dependiendo si este disminuye o aumenta

+/- Q_{inf} = Caudal de infiltración.

Datos Especiales

Tabla 4. Dimensiones de la laguna de lixiviados.

<i>AREA LAGUNA</i>	<i>ANCHO</i>	<i>LARGO</i>
1071 m ²	14 m	76,5 m

DATO 1

CALCULOS:

PRECIPITACION:

Pluviómetro:

Diámetro pluviómetro = 10.1cm

Volumen de agua lluvia recolectada en la probeta dentro del pluviómetro = 20cm³

$$\text{Área pluviómetro} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(10.1\text{cm})^2}{4} = 80.12\text{cm}^2$$

Determinación de la cantidad de agua lluvia recolectada en la probeta del

$$\begin{aligned} \text{pluviómetro} &= \frac{20\text{cm}^3}{80.12\text{cm}^2} = 0,249 \text{ cm/día} \\ &= 0,25 \text{ cm/día} \\ &= 2,5 \text{ mm/día} \\ &= 2,5 \times 10^{-3} \text{ m/día} \end{aligned}$$

Conversión (1):

Dado que se necesitan datos de $\frac{\text{milímetros}}{\text{segundo}}$ se tiene: $\frac{\text{milímetros}}{\text{día} \cdot 86400 \frac{\text{segundos}}{\text{día}}}$

$$\begin{aligned} \text{Por tanto: } \frac{2,5\text{mm}}{86400\text{sg}} &= 2.9 \times 10^{-5} \text{ mm/sg} \\ &= 2.9 \times 10^{-8} \text{ m/sg} \end{aligned}$$

Al multiplicar por el área de la laguna se tiene $\Rightarrow 2.9 \times 10^{-8} \text{ m/sg} * 1071\text{m}^2$

$$= 3.01 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$= 30100 \text{ mm}^3/\text{sg}$$

$$= 3.01 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg}.$$

CAUDALES :

$$Q_{\text{escorrentia}} = Q * A$$

Donde **Q** es la escorrentia real dada en la formula (7.3) dado el método de SOIL CONSERVATION SERVICE (1972) por tanto:

$$I = \frac{\left(2,5 - 0,2 * \left(\left(\frac{2540}{75}\right) - 25,4\right)\right)^2}{\left(2,5 + 0,8 * \left(\left(\frac{2540}{75}\right) - 25,4\right)\right)} = 0.0701\text{mm/dia}$$

$$= 7,01 \times 10^{-3} \text{ cm/dia}$$

$$= 8,12 \times 10^{-8} \text{ cm/sg}$$

$$= 8,12 \times 10^{-10} \text{ m/sg}$$

Así:

$$Q_{\text{escorrentia}} = 8,12 \times 10^{-10} \text{ m/sg} * 6008\text{m}^2$$

$$= 4,879 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$= 4,879 \text{ cm}^3/\text{sg}$$

CAUDAL ENTRANTE :

$$Q_{\text{ent}} : 812 \text{ cm}^3 / \text{sg}$$

$$Q_{\text{tot-ent}} = 812 \text{ cm}^3 / \text{sg} + 4,879 \text{ cm}^3 / \text{sg}$$

$$= 816.88 \text{ cm}^3 / \text{sg}$$

CAUDAL DE SALIDA :

$$Q_{sal} : 796.8 \text{ cm}^3/\text{sg}$$

$$(Q_{totent} - Q_{sal}) : 20,08 \text{ cm}^3/\text{sg}$$

Conversion (2)

$$1\text{m}^3 = 1000000\text{cm}^3$$

$$\text{Por lo que } 20,08 \text{ cm}^3/\text{sg} = 2,008 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg}$$

EVAPORACIÓN:

En el tanque evaporímetro que se instaló la altura se niveló siempre en 10cm.

$$= 10 \text{ cm de Altura}$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$= 0,1 \text{ m}$$

Para este dato no se presentó evaporación puesto que la lectura al día siguiente de la instalación marcó los mismos 10cm

0m³/sg de evaporación según registros.

Dado lo anterior la evaporación se explicará más en detalle con el dato número 3, como sigue:

Nivel tanque: 10,5cm

$$= 105\text{mm}, \text{ a lo que se le resta el valor de la lluvia para ese día.}$$

$$= 105\text{mm} - 5,2 \text{ mm}$$

$$= 99.8\text{mm}, \text{ valor que se resta a los 100mm iniciales contenidos en el tanque.}$$

$$= 100\text{mm} - 99.8\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.2\text{mm} \\
&= 2.5 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{sg} \\
&= 0.216 \text{ m}^3/\text{dia}
\end{aligned}$$

▲ NIVEL LAGUNA

La laguna se dejó a un nivel determinado el día anterior y luego al día siguiente se verificaba nuevamente el nivel para determinar cuanto este baja o sube.

$$\begin{aligned}
\text{Subió } 2 \text{ mm} &= \frac{2\text{mm}}{\text{dia} \cdot 86400 \frac{\text{sg}}{\text{dia}}} = 2.32 \times 10^{-5} \text{mm}/\text{sg} \\
&= \frac{2.32 \times 10^{-5} \text{mm} \cdot 1\text{m}}{\text{sg} \cdot 1000\text{mm}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2.32 \times 10^{-8} \text{ m}/\text{sg} \quad * \quad 1071\text{m}^2 \\
&= 2.4847 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg} \text{ como subió, en la formula de caudal} \\
&\text{de infiltración pasa con signo (-).} \\
&= 2.32 \times 10^{-5} \text{ mm}/\text{sg} \quad * \quad 1071.000.000 \text{ mm}^2 \\
&= 24847,2 \text{ mm}^3/\text{sg}
\end{aligned}$$

El Qinf para este Primer Dato seria.

$$\begin{aligned}
+/- \text{ Qinf (m}^3/\text{sg)} &= 3,01 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg} + 2,008 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg} - 0 \text{ m}^3/\text{sg} - \\
&2,4847 \times 10^{-5} \\
+/- \text{ Qinf} &= 2.62 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sg} \\
&= 0.0262 \text{ l}/\text{sg}
\end{aligned}$$

Los demás 26 datos recolectados en este informe siguen el mismo patrón anteriormente descrito y los resultados se resumen en las tablas del apartado 9.

9. TABLAS RESUMEN Y DISCUSION DE RESULTADOS

La toma de muestras se realizó durante un periodo de tres meses comprendiendo los meses de junio, julio y agosto los cuales advierten en su normalidad una época de verano, la cual no se presentó nunca de forma continua, por lo que los datos tomados se realizaron en presencia de lluvias intermitentes con pocos días de verano absoluto.

A pesar de lo descrito anteriormente, se pudo establecer diferencias en cuanto al comportamiento del caudal y los datos de infiltración en presencia y ausencia de lluvias, todo lo anterior teniendo en cuenta el caudal de escorrentía aportado por la pendiente arriba de la laguna como se representa en la Figura 15.

Tabla 5. Caudal en la entrada de la laguna y caudal de escorrentía.

Junio				Julio				Agosto			
Dat o	Qent cm ³ /sg	Qesc cm ³ /sg	Qtot-ent cm ³ /sg	Dat o	Qent cm ³ /sg	Qesc cm ³ /s g	Qtot-ent cm ³ /sg	Dat o	Qent cm ³ /s g	Qesc cm ³ /s g	Qtot-ent cm ³ /s g
1	812	4,88	816,88	9	762	29,44	791,44	19	563,2	24,79	587,99
2	903	45,59	948,59	10	981,3	110,46	1091,76	20	570,6	29,44	600,04
3	1225	71,42	1296,42	11	866,8	27,07	893,87	21	562,4	29,44	591,84
4	1501	7,44	1508,44	12	902,6	1,70	904,30	22	570	27,07	597,07
5	1480	54,79	1534,79	13	827	9,18	836,18	23	506,6	29,44	536,04
6	1348	34,34	1382,34	14	889,12	10,47	899,59	24	393	26,15	419,15
7	1412	155,32	1567,32	15	726,2	4,33	730,53	25	516,5	0,31	516,81
8	1211	29,44	1240,44	16	920,3	71,42	991,72	26	583	136,58	719,58
				17	975,5	4,33	979,83	27	720	72,81	792,81
				18	582,2	29,44	611,64				
ANALISIS ESTADISTICO											
VALOR MAX	1501	155,32	1567,32		981,3	110,46	1091,76		600,4	136,58	792,81
VALOR MIN	812	4,88	816,88		582,2	1,70	611,64		393	0,31	419,15

VALOR PROM	1236,5	50,40	1286,9		843,3	29,78	873,09		540,6	41,78	595,7
------------	--------	-------	--------	--	-------	-------	--------	--	-------	-------	-------

Figura 15. Caudal de entrada y caudal de escorrentia

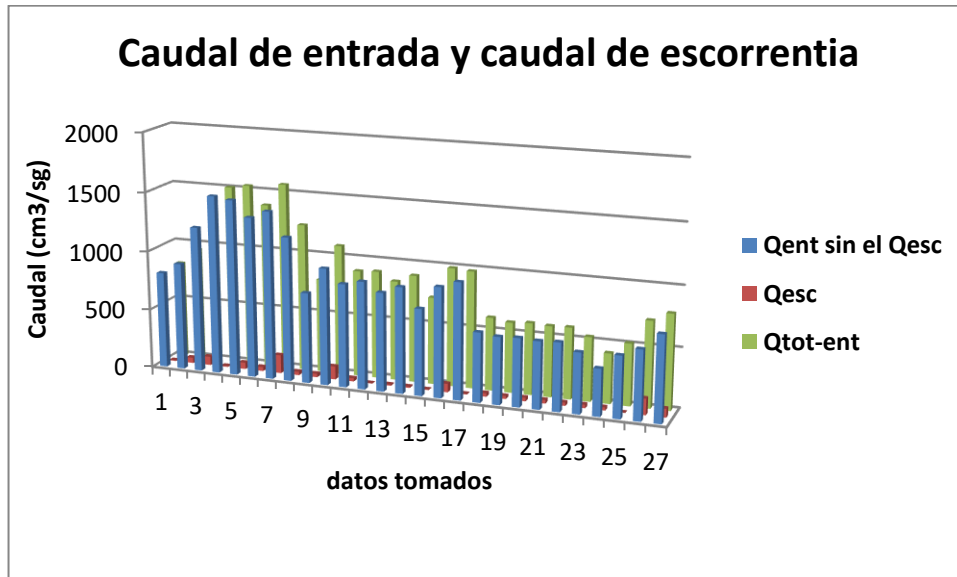
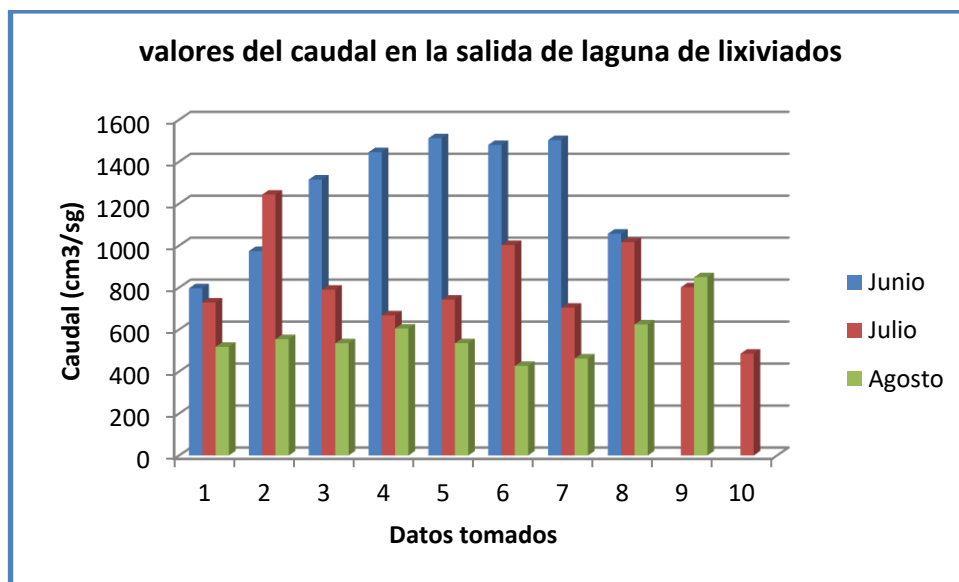


Tabla 6. Caudal de salida de la laguna.

Junio		Julio		Agosto	
Dato	Q _{sal} (cm ³ /sg)	Dato	Q _{sal} (cm ³ /sg)	Dato	Q _{sal} (cm ³ /sg)
1	796,8	1	728,7	1	517,7
2	973,72	2	1243,1	2	554
3	1315	3	790	3	534,5
4	1445,4	4	667,5	4	604,8
5	1512	5	742	5	535
6	1480	6	1002,5	6	426,7
7	1503	7	703,8	7	462,3
8	1056,7	8	1016,2	8	624,3
		9	801,2	9	849,5

		10	485,2		
ANÁLISIS ESTADÍSTICO					
VALOR MAX	1512		1243,1		849,5
VALOR MIN	796,8		485,2		426,7
VALOR PROM	1260,3		818,02		567,6

Figura 16. Caudal de salida de la laguna de lixiviados



Teniendo en cuenta la información presente en los informes del relleno sanitario “Eco parque el ojito” del 2006 y 2007 realizador por medio de contrataciones por parte de la alcaldía y lo descrito en la línea base ambiental del mismo, el sistema de tratamiento de la laguna se diseñó para tratar un caudal máximo de 3000cm³/sg, el cual no se evidencia en el presente estudio ya que los factores climáticos que se presentaron fueron irregulares dada la época en que se tomaron los datos, encontrando valores máximos de caudal de entrada de 1501cm³/sg y 1512cm³/sg en el caudal de salida.

Con los datos reportados en las tablas 6 y 7 y con lo expuesto en las figuras 17 y 18 se evidencian aportes de caudales laterales en la laguna, lo cual puede de cierta manera explicar la diferencia en cuanto a los caudales de entrada y salida.

Figuras 17-18. Aportes laterales de caudal a la laguna de lixiviados



Según lo evidenciado en las figuras anteriores y analizando los valores promedio del caudal de entrada y salida reportados en las tablas 5 y 6 se tiene:

Junio:

Se presento una ganancia de caudal de 0,8%, lo que depende de todos los factores a considerar en este estudio tales como la evaporación, precipitación y caudales de infiltración. El caudal de escorrentía le concede un aporte al caudal de entrada del 1,25%.

Julio:

Teniendo en cuenta el caudal de escorrentía la pérdida de caudal es de 6,5% esto a pesar que el promedio de caudales tanto de entrada como de salida es menor a los

reportados en el mes de junio. El caudal de esorrentía le concede al caudal de entrada un aporte del 2,1%.

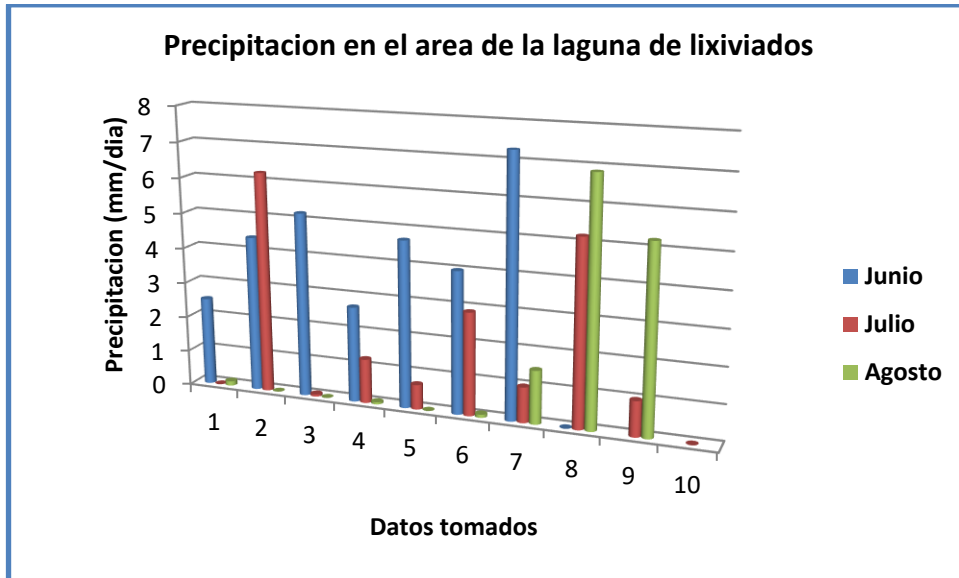
Agosto:

Incluyendo el caudal de esorrentía a la entrada de la laguna, se tiene una ganancia de caudal del 1,6%. El caudal de esorrentía le concede al caudal de entrada un aporte del 4,04%, lo que indica de cierto modo un aporte lateral.

Tabla 7. Precipitacion en el área de la laguna.

Junio		Julio		Agosto	
Dato	Precipitacion (mm/dia)	Dato	Precipitación (mm/dia)	Dato	Precipitación (mm/dia)
1	2,5	1	0,0	1	0,125
2	4,4	2	6,24	2	0,0
3	5,2	3	0,062	3	0,0
4	2,7	4	1,25	4	0,062
5	4,7	5	0,7	5	0,0
6	4,0	6	2,9	6	0,087
7	7,3	7	0,998	7	1,5
8	0,0	8	5,2	8	6,87
		9	0,998	9	5,24
		10	0,0		
ANÁLISIS ESTADISTICO					
VALOR MAX	7,3		6,24		6,87
VALOR MIN	0,0		0,0		0,0
VALOR PROM	3,85		1,835		1,547

Figura 19. Precipitación en el área de la laguna de lixiviados.



Dado que se tomaron valores de Precipitación y se estableció un promedio por mes según la tabla 8 y según Los datos de precipitación que se obtuvieron en la estación meteorológica IDEAM (tabla 9), ubicada en el aeropuerto Guillermo Valencia de Popayán. Los cuales corresponden al promedio de las precipitaciones que se presentaron en cada uno de los meses.

Tabla 8. Variación de precipitación promedio en la ciudad de Popayán para el año 2002

MES	Junio	Julio	Agosto
Precipitación (mm)	0.43	0.05	1.4

Fuente: Estación meteorológica, Aeropuerto Guillermo Valencia de Popayán.

Se tiene lo siguiente:

Para el mes de Junio se tiene un incremento de 3.42mm en la precipitación, lo que representa un aumento del 88.8% con respecto a esos valores reportados.

En cuanto al mes de Julio el incremento es del 1.285mm lo que representa un aumento del 96,4% con respecto al tiempo que se tomaron esos datos, la proporción es muy alta y tiene lógica dado los cambios climáticos los cuales se evidenciaron en el 2008 puesto que no se presentó una época de verano característica en estos meses.

Para el mes de Agosto la variación en la precipitación no es tan alta, puesto que solo se produjo un incremento en 0.15mm lo que representa un aumento en 9,6% lo cual no es tan significativo puesto que se evidencia que las condiciones de precipitación no eran tan diferentes en estas épocas.

Aunque no se presentó una época de verano completa se pudieron tomar datos en los cuales la lluvia fue nula, con lo cual se logró tomar algunos datos importantes de evaporación, la cual se evidenciaría en el nivel de la laguna puesto que es de esperar que si llueve este aumente, y si no se presenta precipitación este disminuye de acuerdo a sus dimensiones, pero dado los diversos factores que inciden en la parte de los canales de transporte de lixiviados como lo son la acumulación de lodos y sedimentos, a lo cual se le suma la presencia de maleza en sus alrededores que crece sin control alguno, todo esto causa que en el momento de tomar los datos estos sean incoherentes, por lo que en algunos días de tomas de muestras estos datos no fueron tomados en cuenta y se desecharon.

Esto se evidencia en las siguientes figuras:

Figura 20. Lodos y sedimentos en el canal



figura 21. Maleza presente en el canal



La toma de muestras se reanudo, luego de que contando con la ayuda del profesional de apoyo se realizo un desmonte de los alrededores del canal y se efectuó un mejor control de lodos y sedimentos como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 22. Canal sin presencia de lodos



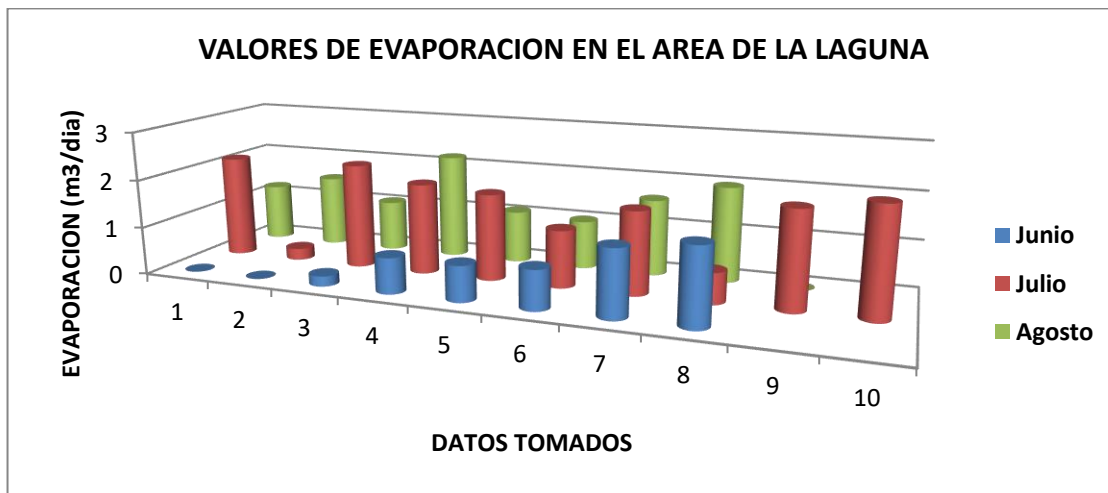
figura 23. Desmonte de maleza en la zona



Tabla 9. Evaporación en el área de la laguna.

Junio		Julio		Agosto	
Dato	Evaporación (m ³ /dia)	Dato	Evaporación (m ³ /dia)	Dato	Evaporación (m ³ /dia)
1	0,0	1	2,143	1	1,21
2	0,0	2	0,246	2	1,51
3	0,216	3	2,2	3	1,07
4	0,752	4	1,9	4	2,2
5	0,75	5	1,81	5	1,1
6	0,83	6	1,2	6	1,02
7	1,4	7	1,73	7	1,6
8	1,6	8	0,65	8	1,99
		9	2,03	9	0,0
		10	2,25		
ANÁLISIS ESTADISTICO					
VALOR MAX	1,6		2,25		2,2
VALOR MIN	0,0		0,246		0,0
VALOR PROM	0,92		1,62		1,3

Figura 24. Evaporación en el área de la laguna de lixiviados.

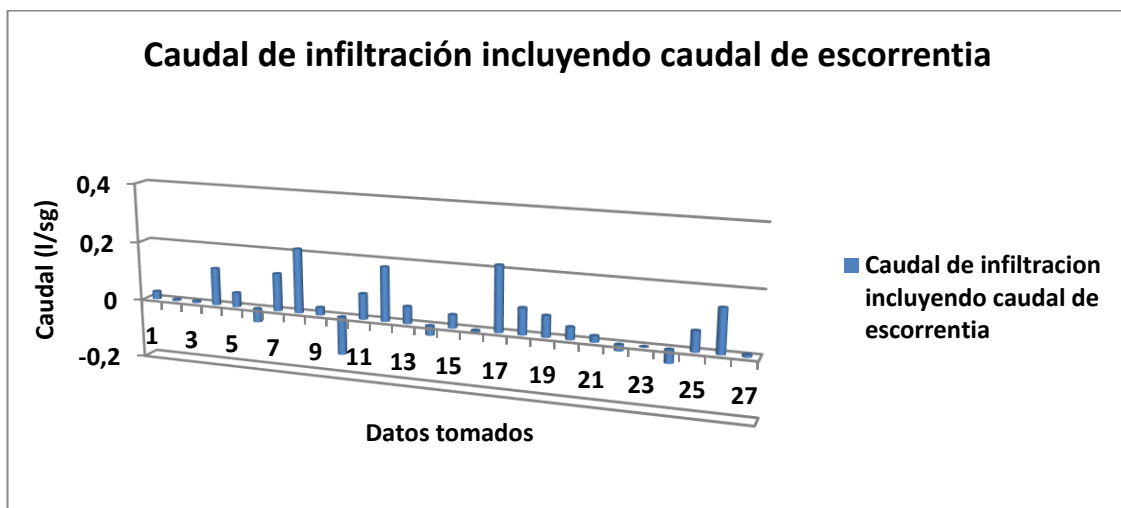


Según la anterior grafica los valores de mayor evaporación se presentaron en julio y agosto, y los de menor valor se presentaron en junio, según los valores promedio reportados.

Tabla 10. Caudales de infiltración

Junio		Julio		Agosto	
Dato	Caudal de infiltración (l/sg)	Dato	Caudal de infiltración (l/sg)	Dato	Caudal de infiltración (l/sg)
1	0,0262	9	0,0255	19	0,0702
2	0,0046	10	-0,1268	20	0,0410
3	0,0062	11	0,0854	21	0,0202
4	0,1250	12	0,1803	22	-0,0200
5	0,0479	13	0,0569	23	0,0007
6	-0,0453	14	-0,0313	24	-0,0431
7	0,1262	15	0,0441	25	0,0670
8	0,2152	16	-0,0047	26	0,1450
		17	0,2175	27	0,0083
		18	0,0880		

Figura 25. Caudales de infiltración con y sin caudal de escorrentía



Dado lo anterior cabe especificar que los caudales de infiltración positivos hacen referencia a una infiltración de lixiviados, en el subsuelo de la laguna, y los valores negativos representan infiltración de aguas lluvias en la laguna de oxidación del relleno.

Es de recordar que los datos especificados en la tabla 11 fueron tomados teniendo en cuenta la delimitación que se realizo para hallar el caudal de escorrentía, por lo que el valor negativo puede ser causado por algún aporte de caudal proveniente de algún talud adyacente al área de laguna.

Tabla 11. Caudales de infiltración positivos

Junio		Julio		Agosto	
Dato	Caudal de infiltración (+) (l/sg)	Dato	Caudal de infiltración (+) (l/sg)	Dato	Caudal de infiltración (+) (l/sg)
1	0,0262	1	0,0255	1	0,0702
2	0,0046	2	0,0880	2	0,0410
3	0,0062	3	0,1803	3	0,0202
4	0,1250	4	0,0569	4	0,0007
5	0,0479	5	0,0441	5	0,067
6	0,1262	6	0,2175	6	0,145
7	0,2152	7	0,0854	7	0,0083
Valor promedio	0,079		0,0997		0,05

El valor de la infiltración positiva en promedio para este estudio es de **0.0762l/sg** la cual es igual a **76,2cm³/sg**, equivalente a los 3 meses de estudio teniendo en cuenta que no era periódico el análisis, ya que se tenía que preparar el equipo un día antes y al día siguiente tomar el dato.

El valor de infiltración negativa en este estudio es de **0,0452l/sg** lo cual es igual a **45,2cm³/sg**, lo que indica que se infiltra agua a la laguna, la cual es proveniente de la escorrentía del área adyacente.

Lo anterior demuestra que se tiene un valor de infiltración de lixiviado en el subsuelo y aunque no parece ser tan significativo, este podría afectar las aguas subterráneas presentes en el área de la laguna. Al registrarse un caudal de infiltración de agua en la laguna, se hace necesaria la construcción de un canal perimetral revestido.

10. CONCLUSIONES

- La toma de muestras de Junio a Agosto en la laguna de estabilización, sirvió para caracterizar parámetros como la Precipitación, la cual nunca se había tomado en el área, la evaporación y observar el comportamiento del nivel de la laguna el cual se destaca por la alta variabilidad, debido a las condiciones de vegetación y lodos presentes en el canal de entrega de lixiviados los cuales solo son proporcionales al mantenimiento de estos por medio de los operarios del relleno.
- Mediante los valores de los parámetros determinados en el análisis de la laguna de estabilización, se pueden establecer dos tipos de caudales de infiltración, una infiltración positiva la cual se presenta, en su mayoría cuando la Precipitación registrada en la zona es muy pequeña o nula, y una infiltración negativa la cual es muy característica de días en que la precipitación es muy alta, teniendo en cuenta que los valores recolectados son muy variables dadas las defectuosas condiciones de la laguna.
- El caudal de escorrentía afecta de manera directa en el caudal de infiltración, puesto que este se le adiciona al caudal de entrada, y al registrarse un valor alto, influye en la formula de balance hídrico y por ende en los valores de la infiltración.
- En trabajos realizados anteriormente en la laguna del relleno sanitario “El ojito” reportaron pérdidas de caudales entre 5 y 20%, teniendo en cuenta la época de invierno y de verano, y sin incluir en el estudio los caudales de escorrentía. Este informe se realizó en presencia de lluvias constantes en la cual solo se tuvieron alrededor de 9 datos con lluvias mínimas o nulas y se

encontró que la pérdida de caudales no supera el 7%, y que la ganancia de caudales se encuentra entre el 1.25% y 4%, lo que indica infiltraciones positivas y negativas no tan altas pero sí significativas con el tiempo.

- El valor de la infiltración en el subsuelo fue de $76,2\text{cm}^3/\text{sg}$, promediando los tres meses de muestreo, lo que nos da una idea de todo el caudal infiltrado en el tiempo que lleva la laguna sin un mantenimiento adecuado, teniendo en cuenta que el estudio se llevo a cabo en presencia de lluvias constantes.
- Teniendo en cuenta que los equipos utilizados en el desarrollo de esta pasantía no son de última tecnología, se puede establecer que los datos caben dentro de lo establecido, pues coinciden con las fluctuaciones en cuanto a datos tomados en presencia de altas y bajas precipitaciones.
- De los datos analizados en las tablas 6 y 7, se puede inferir que la diferencia en cuanto a los caudales de entrada y salida de la laguna se deben a dos factores, el primero al talud adyacente a la laguna el cual aporta un caudal de escorrentía, esto sin mencionar otros aportes que se escapan a la extensión de este estudio. Otro factor que se cataloga como pérdida del caudal es el caudal de infiltración el cual aumenta a través del tiempo.
- la alta colmatación de lodos que presenta la laguna, influye en el valor de la infiltración ya que esta se hace más lenta cuanto más lodo se deposite en el fondo de dicha laguna.
- La laguna de lixiviados del ecoparque relleno sanitario el ojito presenta una falla seria en cuanto a su funcionalidad hidráulica puesto que de acuerdo a lo propuesto por Collazos que recomienda una profundidad de 2,5, lo cual no se

cumple dado que dicha laguna presenta alturas variables en su profundidad siendo su promedio de 1,5, según el último estudio realizado, lo cual se explica por la alta concentración de lodos, ya que no se cuenta con un mantenimiento adecuado por parte de los operarios del relleno, influyendo de manera negativa en el funcionamiento de esta.

- En cuanto al patronamiento de los vertederos de entrada y salida de la laguna, estos dada su similitud en cuanto a ángulo, altura y longitud presentan una tendencia similar en su curva de patronamiento dando un buen factor de correlación lo que indica un buen ajuste de sus valores, esto a pesar que ambos vertederos se encuentran en malas condiciones dada la corrosión que enfrentan por el contenido de los lixiviados y la falta de un mantenimiento adecuado.
- El estudio de los vertederos es esencial para establecer las condiciones en las que un flujo debe realizar su recorrido dependiendo del lugar, de la topografía y el contenido de dichos vertimientos para así evitar saturaciones cuando se presenten altas cargas hidráulicas en épocas de alta precipitación, teniendo en cuenta que recientemente la pluviosidad del área está en constante fluctuación.
- Dado todo lo anterior se infiere que la geomembrana que cubre el fondo de la laguna de lixiviados y sus paredes laterales se encuentra en condiciones defectuosas, por lo que permite que se filtren lixiviados en la capa de suelo bajo esta, afectando posibles fuentes subterráneas, las cuales pueden alimentar ciertas fuentes de aguas superficiales.

11. RECOMENDACIONES

- Hacer un mantenimiento periódico en el área de la laguna, lo que incluye la limpieza de los canales de transporte de lixiviados, en cuanto al contenido de lodos, sedimentos y basuras y a el desmonte de la maleza adyacente a estos para que no interfiera con el caudal real que llega a dicha laguna y así se puedan obtener resultados con una alta confiabilidad.
- Se hace necesaria la construcción de un canal perimetral revestido, próximo al área de la laguna el cual recoja de manera eficiente el caudal de escorrentía proveniente de los taludes adyacentes a esta, el diseño de este canal se muestra en el anexo (A).
- Es recomendable un monitoreo constante de los lixiviados, y de los factores externos que afectan su transporte, acumulación y tratamiento con el fin de analizar su comportamiento a través del tiempo, como lo es el caudal de infiltración de dicho lixiviado en la membrana del fondo de la laguna, dada su influencia e impacto en aguas superficiales cercanas al relleno sanitario.
- Debido a que la producción de basuras en la ciudad aumenta constantemente se hace necesario la adecuación de nuevas celdas de disposición de estas en el relleno, lo cual aumenta de manera progresiva el caudal de lixiviados, acortando por ende la vida útil de la laguna, es por esto que se hace necesario un estudio para la adecuación de la laguna y la implementación de un tratamiento previo de dichos lixiviados.
- En la laguna se presenta una capa espesa de grasas y espumas la cual no se retira con la periodicidad requerida, además de la basura flotante que se

acumula en la salida, lo cual interfiere con los procesos microbiológicos que se presentan en esta.

- El ingreso de lixiviados a la laguna en estudio, presenta una entrada la cual está por encima de su superficie, posición que no es recomendable por que puede causar un rápido flujo hacia la salida generando que solo una pequeña parte del caudal del lixiviado este por un tiempo largo, lo cual interfiere con los procesos microbiológicos que se llevan a cabo en la laguna.

ANEXO A

Para el diseño del canal se llevo a cabo la siguiente metodología:

Tramo 1

Se diseñó el canal por medio del programa **Hcanales** en el cual se introdujeron datos tales como:

- I. Caudal (m^3/sg), el cual se calculó siguiendo el lineamiento del caudal de escorrentía así:

$$Q_{\text{escorrentia}} = C * I * A \quad \text{donde :}$$

$$C = 0.6$$

$$A = 6008m^2$$

En donde el valor de la intensidad de la lluvia se calculó teniendo en cuenta el programa de Excel (curvas de hidrología para diferentes tiempos de retorno), de la siguiente manera :

$$i = \frac{K * T_R^a}{d^b} \quad \text{Donde:} \quad (11.1)$$

i = intensidad de la lluvia (mm/h)

$$K = 92,187$$

T_R = tiempo de retorno en años

d = duración de la lluvia (min), el cual equivale a T_c .

$$a = 0,286$$

$$b = 0,5$$

Para el valor de d se utilizó la fórmula de California (Kirpich), como sigue :

$$d = \left(\frac{0.87 * L^3}{\Delta H} \right)^{0.385} \text{ donde :} \quad (11.2)$$

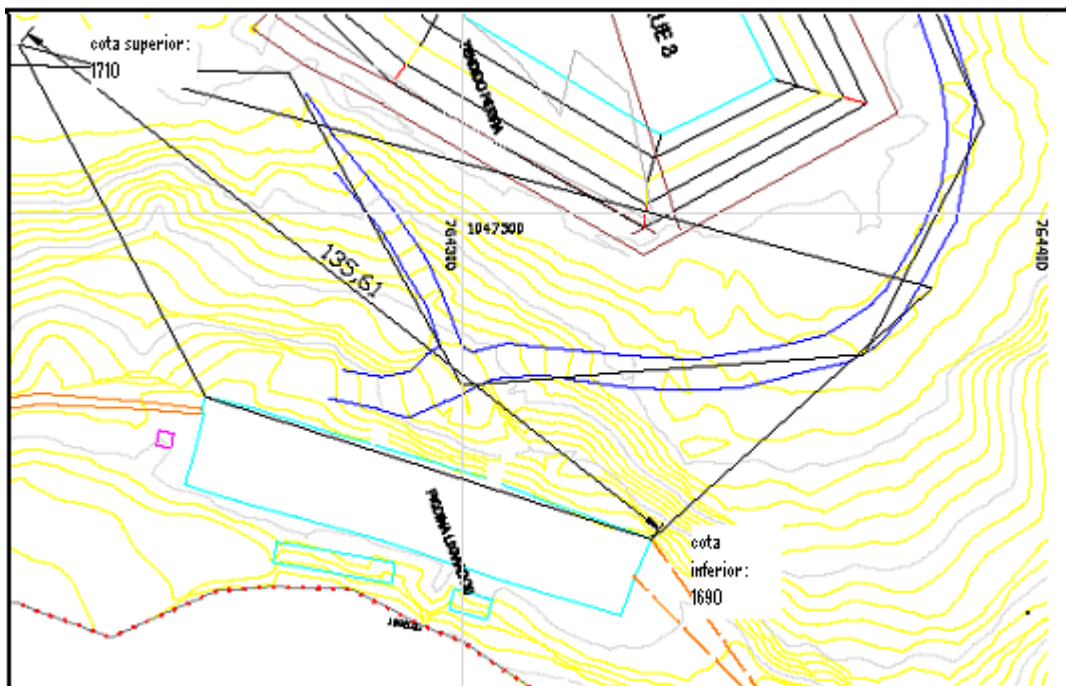
d = Tc tiempo de concentración en horas

L = longitud en kilómetros del cauce principal de la cuenca

ΔH = diferencia de nivel entre la salida de la cuenca y el punto hidráulicamente más alejado en metros.

Los valores se registran en la figura 26.

Figura 26. Ubicación de la longitud del cauce y sus cotas



Por tanto

$$d = \left(\frac{0.87 * (0.1356)^3}{20} \right)^{0.385}$$

$$d = 0.03 \text{ horas}$$

$$d = 1.8 \text{ minutos}$$

Al reemplazar este valor en (11.1) con un tiempo de retorno de 5 años, se tiene:

$$i = \frac{92.187 * (5)^{0.286}}{1.8^{0.5}}$$

$$i = 109 \text{ mm/h}$$

$$i = 3,03 \times 10^{-5} \text{ m/sg}$$

Al reemplazar en la fórmula de caudal de escorrentía se tiene:

$$\begin{aligned} Q_{\text{escorrentia}} &= 0.6 * 3,03 \times 10^{-5} \text{ m/sg} * 6008 \text{ m}^2 \\ &= 0.11 \text{ m}^3/\text{sg} \end{aligned}$$

II. Ancho de la solera (b) en metros:

Según la disposición de espacio para el canal en el área de la laguna, se adopta para este diseño un valor de 0.35m, ya que el valor mínimo permitido es de 0.4m.

III. Talud (z):

Aquí se tuvo en cuenta el tipo de material, el cual corresponde a arcilla firme para canales pequeños con Vertical (V): Horizontal (H), así: 1:1,5

IV. Rugosidad (n):


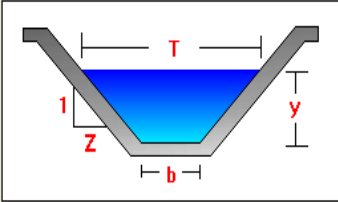
Dado que el canal esta revestido en concreto se adoptó un valor de 0.015.

V. Pendiente:

Para el cálculo de la pendiente se tuvo en cuenta la distancia que alcanza el canal y las cotas de dicha longitud, por lo que se pudo inferir que en este tramo la pendiente es nula por lo tanto se asumió un valor de 0.5%, el cual es el valor mínimo, dado que la pendiente longitudinal en canales no debe ser inferior a 0.5% ni superior al 2.0%, por tanto $S = 0.005$.

Al introducir los anteriores datos al programa se tiene:

Figura 27. Ejecución del programa y obtención de resultados, tramo 1

Lugar: Relleno sanitario "el Ojito"	Proyecto: canales perimetrales	
Tramo: 1	Revestimiento: concreto	Calculadora
Datos:		
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.11"/> m ³ /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.35"/> m	
Talud (Z):	<input type="text" value="1.5"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.005"/> m/m	
Resultados:		
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.1707"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="0.9654"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1034"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1071"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.8621"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="1.0634"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.9802"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.2283"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>	

El valor del borde libre se puede obtener en función del caudal, ya que el caudal de diseño se encuentra entre 0.05 y 0.25m³/sg y el canal es revestido se recomienda un borde libre de 10cm.

La longitud del canal en su primer tramo es de 90m.

Tramo 2

Para el cálculo del segundo tramo del canal todo es igual lo único que cambia es el valor de la pendiente la cual es función de la longitud del tramo y de las cotas presentes, de la siguiente manera:


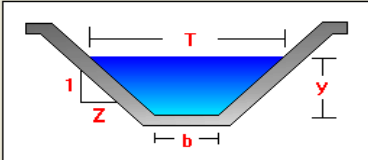
$$S = \frac{\text{diferencia de nivel (m)}}{\text{longitud del tramo (m)}} \quad (11.3)$$

$$S = \frac{1680 - 1665}{70}$$

$$S = 0.21$$

El resultado se evidencia en las figuras 29 y 30

Figura 28. Ejecución del programa y obtención de resultados, tramo 2

Lugar: Relleno sanitario "El ojito"	Proyecto: Canales perimetrales	
Tramo: 2	Revestimiento: concreto	Calculadora
Datos:		
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.11"/> m3/s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.35"/> m	
Talud (Z):	<input type="text" value="1.5"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.21"/> m/m	
Resultados:		
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0618"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="0.5728"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0274"/> m2	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.0478"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.5354"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="4.0213"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="5.6800"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.8860"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>	

Se tiene una longitud total del canal de 160m, en donde en su segundo tramo la pendiente está dada por la topografía del terreno en donde el flujo de la escorrentía se mueve prácticamente por gravedad, y en donde su destino final es la quebrada el ojito.

Dado que la pendiente es muy alta en el segundo tramo, se recomienda la construcción de unos disipadores de energía al final del tramo, en forma de escalera, esto para mermar en parte la alta velocidad del agua en la entrega.

BIBLIOGRAFIA

- ✿ COLLAZOS, C.J. y VEGA, J. Tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario doña Juana en un reactor UASB. Disponible en Internet: www.ing.unal.edu.co/pdigitales/libros/tratabilidad.pdf.
- ✿ COLLAZOS, Héctor. Manual de Monitoreo Relleno Sanitario “El Ojito” municipio de Popayán, 2000.
- ✿ Grupo de Aseo de la Secretaria de Infraestructura de la Alcaldía Municipal. Mmonitoreó de Agua y Aire del Relleno Sanitario “El Ojito” Municipio de Popayán, 2006.
- ✿ GARCES P. Leticia. Mmonitoreó de Agua y Aire del Relleno Sanitario “El Ojito” Municipio de Popayán, 2007.
- ✿ Laguna. Diseño. Parámetros de control y diseño. Lagunas anaerobias. Tecnologías convencionales. Máster en ingeniería del agua. (Citado julio de 2005).
- ✿ MUNICIPIO DE POPAYÁN SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA Y MANTENIMIENTO VIAL DIVISIÓN DE ASEO. Elaboración de la línea base ambiental relleno sanitario “el ojito”. Margarita Rosa Sepúlveda franco. Química – especialista en ingeniería sanitaria y ambiental.
- ✿ Resumen de los impactos ambientales y sobre la salud de los rellenos sanitarios. Greenpeace. Argentina 2004, p 2, 5-7. [Citado marzo 2005] disponible en internet.: [www.greenpeace.org/ar/media/informes/3941.pdf].

- ✿ SEPÚLVEDA, Margarita Rosa. Elaboración de la línea base ambiental relleno sanitario “El Ojito” .2003.
- ✿ FORTUNECITY. Residuos sólidos. Actividad biológica en el relleno sanitario. Chile.2000. (Citado junio 2005). Disponible en internet. www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html.
- ✿ CARDENAS Jorge Alonso. Manual de calidad de aguas para estudiantes. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- ✿ Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental. Lagunas de estabilización. 3ª edición. Sao Paulo. 1994.28p. (Citado mayo 2005). Disponible en internet: www.cepis.ops.oms.org/eswww/proyecto/repidisc/pública/repindex/inpri57.
- ✿ Dirección de Investigación Agroindustrial Management & Consulting S.A. Biorecuperación de Lixiviados en rellenos sanitarios. División de proyectos ALS. [Citado septiembre de 2004]: Disponible en internet: www.agroindustria-amc.com/servicios.asp
- ✿ ROMERO Rojas. Jairo Alberto. Acuitratamiento por lagunas de estabilización Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera edición. Santa Fé de Bogotá.199
- ✿ BUENO J.L, H. SAS, AG. Lavín. Contaminación e Ingeniería Ambiental. Contaminación de las aguas. Volumen 3. Editorial FICYT. Oviedo 1997.

- ✿ YANEZ. Lagunas de estabilización. Diseño y mantenimiento. Cuenca Ecuador. Ed. Monsalve. Ecuador: 1993.

- ✿ Lagunas de estabilización. Condiciones generales para el diseño y criterios de dimensionamiento. Lagunas anaeróbicas. Citado septiembre 14 de 2005. disponible en internet.: www.ingenieroambiental.com/.

- ✿ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS. Bogotá, 2000.

- ✿ GONZALEZ Muñoz. Luis Jorge. Manual para hidrología. Universidad del Cauca. Departamento de Hidráulica. Pág. 213.

- ✿ LABORATORIO DE HIDRAULICA, MANUAL INSTRUCTIVO PARA LAS PRÁCTICAS. Facultad de ingeniería civil, Departamento de Hidráulica. Popayán, 2004.

