



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**

## **UNIDAD DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE**

Tesis previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Desarrollo y Medio Ambiente.

#### **TEMA:**

**EFFECTOS GENERADOS POR LOS LIXIVIADOS DEL VERTEDERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE VALENCIA EN LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA. AÑO 2012. PROGRAMA DE MANEJO DE LIXIVIADOS.**

#### **AUTORA:**

**ING. ADRIANA GUADALUPE BONIFAZ ANDRADES**

#### **DIRECTOR:**

**ING. AGUSTIN LEIVA PÉREZ, Ph.D.**

**QUEVEDO –ECUADOR**

**2013**



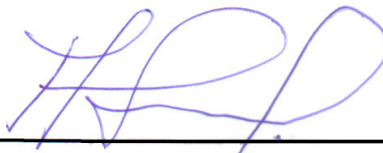
## CERTIFICACIÓN

Ing. Agustín Leiva Pérez Ph.D., en calidad de Director de Tesis, previa la obtención del grado Académico de Magister en Desarrollo y Medio Ambiente

CERTIFICA:

Que la tesis titulada: **“EFECTOS GENERADOS POR LOS LIXIVIADOS DEL VERTEDERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE VALENCIA EN LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA. AÑO 2012. PROGRAMA DE MANEJO DE LIXIVIADOS”**, de autoría de la ingeniera Adriana Guadalupe BonifazAndrades, ha sido revisada en todos sus componentes, por lo que se autoriza su presentación ante el Tribunal respectivo.

**15 de octubre del 2013**



---

Ing. Agustín Leiva Pérez, Ph. D.

## AUTORÍA

La Investigación, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, presentadas en la presente Tesis de Magíster en Desarrollo y Medio Ambiente, son de exclusiva responsabilidad de la Autora.



---

Ing. Adriana Guadalupe Bonifaz Andrades.

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios porque sin *Él* nada es posible.

A mis Padres:Sra. Juana Andrade y Sr. Miguel Ángel Bonifaz, por estar siempre pendientes de *mí* y brindarme el mejor regalo de autosuficiencia en la vida: la Educación.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más profundo agradecimiento a mis padres, y hermanos quienes me motivaron e inspiraron a terminar este trabajo de investigación.

Al ingeniero Jorge Neira Mosquera por su generosidad y disposición para compartir información y conocimientos, orientándome en todo momento con sus valiosas sugerencias, en especial durante el desarrollo de esta investigación.

Al doctor Agustín Leiva Pérez, Director de Tesis y amigo, por su direccionamiento para mejorar el documento.

Al ingeniero Patricio Lugmania, Director del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Valencia.

A mis compañeros, Helen Carranza y Edwin Jiménez.

Al Laboratorio de Aguas y Suelos de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

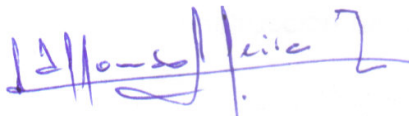
En general, a todos los que han contribuido de alguna forma en el desarrollo de los objetivos de este trabajo. *MUCHAS GRACIAS.*

## PRÓLOGO

Uno de los principales problemas de contaminación en los países en vías de desarrollo son los vertederos no controlados, es decir, aquellos que no fueron diseñados técnicamente para la disposición final de residuos, afectando seriamente el sistema suelo –agua – aire. La principal preocupación, de acuerdo a investigaciones efectuadas es el lixiviado, líquido contaminado que se genera debido a la descomposición y mezcla de los residuos y que pueden percolar o escurrir y contaminar fuentes de agua subterráneas y superficiales.

El contenido de esta investigación aborda la problemática del lixiviado generado en el vertedero municipal de la ciudad de Valencia y su incidencia en la calidad de las aguas subterránea y superficial del estero del mismo nombre. El aporte más significativo tiene que ver con la propuesta: Programa de Manejo de Lixiviados que consta de un sistema de tratamiento de lixiviado, establecimiento de puntos de muestreo para las aguas superficiales y subterráneas y determinación de parámetros indicadores de calidad del agua, mismos que permitirán evaluar el sistema propuesto.

La implementación de esta propuesta en sectores con condiciones similares a las de este estudio es económicamente viable, en contraste con el costo social, económico y ambiental que conllevaría la remediación ambiental de vertederos. Por tanto, esta investigación puede ser el camino que conlleve a solucionar problemas que afrontan municipios de las regiones costa y oriente del Ecuador.



**Ing. Jorge Neira Mosquera.**  
**PROFESOR UTEQ**

## RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación evaluó los efectos generados por los lixiviados del vertedero municipal de la ciudad de Valencia en la calidad del agua superficial y subterránea. Se consideraron catorce parámetros sugeridos por la literatura especializada para calidad de aguas superficiales y subterráneas, y quince para el lixiviado; se tomaron muestras representativas del estero Valencia, de un pozo artesiano de abastecimiento de agua ubicado a 210 m con fines domésticos y del lixiviado; previamente se realizaron seis aforos de gasto líquido que permitieron generar una ecuación de regresión lineal que explica la variación del caudal vs. Oxígeno disuelto en época seca en el estero Valencia; utilizando el criterio de cuencas homogéneas con información de estaciones circundantes, se generaron datos climatológicos para el área de estudio con la finalidad de realizar el balance hídrico y obtener la cantidad de lixiviado que se genera en el vertedero.

La caracterización de las aguas superficiales y subterráneas permitió determinar el grado de afectación en su composición debido a la migración de los lixiviados. Los parámetros que incumplen la normativa ambiental vigente son: Oxígeno disuelto, pH, Amonio, Hierro, Cadmio y Plomo. Todo lo ya indicado sirvió para realizar la verificación de la hipótesis: “El lixiviado generado en el vertedero municipal de Valencia afecta negativamente a la calidad del agua superficial y subterránea del sector”

Con base a los resultados se elaboró la propuesta “Programa de Manejo de Lixiviados” que contempla una Red de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas y un Sistema de Manejo de Lixiviados considerando la relación DBO/DQO obtenida que indica que es fácilmente tratable. Este sistema de manejo de lixiviados considera la construcción de un filtro grueso dinámico, cámara zeolítica y fosa de infiltración.

## SUMMARY

This investigation evaluated the effects generated by municipal landfill leachate from Valencia City in the surface water and groundwater quality. We considered fourteen parameters suggested by the specialized literature for water quality and fifteen for the leachate. Representative samples of water was take from Valencia stream, artesian well-located 210 m with domestic purposes and the leachates.

Previously were six spending gauging liquid for to generate a lineal regression equation that explains the variation of the flow vs. Oxygen dissolved in dry time of year. Using the Watershed Homogeneous Criteria, with climatological data information of surrounding stations, was generate for the study area the water balance and get the amount of leachate generated in the landfill.

The characterization of surface water and groundwater allowed determine the affectation degree in its composition due to the migration of leachate. The parameters out of the environmental normative are: Dissolved oxygen, pH, Ammonium, Iron, Cadmium and Lead. The above served to verify the hypothesis: "The leachate from a municipal landfill of Valencia City affects negatively to the surface water and groundwater quality of the sector"

From the results obtained are elaborate the proposal: "Leachate Management Program" that contemplate: a Monitoring Red for surface water and groundwater quality; and a System of Leachate Management to considering the relationship DBO/DQO of leached indicate that easily treatable; This system contemplates the construction of dynamic thickfilter, zeolitic camera and infiltration grave.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	iii
AUTORÍA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
PROLOGO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	viii
SUMMARY.....	ix
INDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO IMARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	2
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA.....	4
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.6 CAMBIOS ESPERADOS CON LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.7 OBJETIVOS.....	8
1.7.1 General.....	8
1.7.2 Específicos.....	8
CAPITULO IIMARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.1 ANTECEDENTES.....	10
2.2 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL.....	11
2.2.1 Desecho sólido.....	11
2.2.2 Residuos sólidos urbanos (RSU).....	12
2.2.3 Caracterización de un desecho.....	12
2.2.4 Contaminación.....	12
2.2.5 Vertedero.....	12
2.2.6 Lixiviado.....	13
2.2.7 Calidad del agua.....	13
2.2.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO.....	13
2.2.9 Demanda Química de Oxígeno DQO.....	14
2.2.10 Nivel freático.....	14
	x

2.2.11	Agua superficial .....	14
2.2.12	Agua subterránea .....	14
2.2.13	Agua de escorrentía .....	14
2.2.14	Mineralización .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.2.15	Monitoreo .....	15
2.3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	15
2.3.1	Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	15
2.3.2	Composición de los Residuos Sólidos Urbanos.....	15
2.3.3	Sistema de Relleno Sanitario.....	19
2.3.4	Lixiviados.....	20
2.3.5	Características del Lixiviado .....	21
2.3.6	Factores que afectan la producción de lixiviado y otros contaminantes.....	24
2.3.7	Cantidad de lixiviado .....	25
2.3.8	Evaluación de la generación de lixiviados.....	26
2.3.9	Efectos de los lixiviados en el agua .....	29
2.3.10	Manejo Ambiental de los lixiviados .....	31
2.3.11	Clinoptilolita (zeolita) en procesos de descontaminación y purificación de agua.....	31
2.3.12	Calidad de Agua .....	32
2.3.13	Indicadores de calidad del agua .....	33
2.3.14	Análisis multivariante .....	35
2.3.15	Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	35
2.3.16	Análisis Factorial (AF).....	36
2.3.17	Análisis de Clúster (AC).....	37
2.3.18	Métodos multivariantes como herramienta para la determinación de calidad de aguas superficiales .....	38
2.4	FUNDAMENTACIÓN LEGAL .....	38
2.4.1	Constitución de la República del Ecuador 2008.....	38
2.4.2	Codificación de la Ley de Gestión Ambiental N 19 .....	40
2.4.3	Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA).....	41
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		43
3.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1.1	Métodos .....	44
3.1.2	Técnicas.....	45
3.2	CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.3	ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO.....	47

3.4	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA.....	48
3.4.1	Población.....	48
3.4.2	Muestra .....	48
3.4.3	Procedimiento .....	49
3.5	DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	56
3.6	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	57
3.7	CONSTRUCCIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN.....	57
CAPÍTULO IVANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LAS HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....		59
4.1	ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS.....	60
4.2	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA PERTINENTE A LA HIPÓTESIS.....	60
4.2.1	Variable independiente:Lixiviadogenerado .....	60
4.2.2	Variable dependiente: Calidad de agua superficial y subterránea.....	61
4.3	DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN RELACIÓN A LA NATURALEZA DE LA HIPÓTESIS .....	64
4.3.1	Variable independiente: Lixiviado generado .....	64
4.3.2	Variable dependiente: Calidad del agua superficial y subterránea.....	76
4.3.3	Comprobación / Disprobación de la Hipótesis .....	95
CAPÍTULO VCONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		97
5.1	CONCLUSIONES.....	98
5.2	RECOMENDACIONES.....	99
CAPÍTULO VIPROPUESTA ALTERNATIVA .....		100
6.1	TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	101
6.2	JUSTIFICACIÓN .....	101
6.3	FUNDAMENTACIÓN.....	101
6.4	OBJETIVOS .....	102
6.4.1	Objetivo General.....	102
6.4.2	Objetivos Específicos .....	102
6.5	IMPORTANCIA.....	103
6.6	UBICACIÓN SECTORIAL Y FÍSICA.....	103
6.7	FACTIBILIDAD .....	106
6.8	PLAN DE TRABAJO.....	106
6.9	ACTIVIDADES.....	108
6.10	RECURSOS.....	121
6.11	IMPACTO .....	121
6.12	EVALUACIÓN.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....		128
ANEXOS .....		128

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Composición física de los residuos sólidos.....	16
Cuadro 2.2. Problemas producidos por la presencia de lixiviados RSU en las aguas, parámetros afectados y efectos que causan.....	30
Cuadro 2.3. Indicadores físico – químicos de la calidad del agua.....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características edafoclimáticas.....	3
Tabla 2.1. Datos típicos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas. ....	17
Tabla 2.2. Composición química típica del lixiviado. ....	23
Tabla 2.3. Cantidad de Lixiviados de fuentes contribuyentes.....	27
Tabla 3.1. Localización puntos de muestreo calidad del agua superficial y subterránea. ....	48
Tabla 3.2. Parámetros Monitoreados <i>in situ</i> y equipo de medición correspondiente. ....	50
Tabla 3.3. Parámetros físico – químicos y métodos de análisis. ....	51
Tabla 4.1. Valores medios multianuales de precipitación de estaciones seleccionadas para el balance hídrico. ....	64
Tabla 4.2. Valores medios multianuales de temperatura del aire de estaciones seleccionadas para el balance hídrico. ....	65
Tabla 4.3. Flujo anual de parámetros meteorológicos (%). ....	67
Tabla 4.4. Datos mensuales de parámetros meteorológicos generados para la ciudad Valencia. ....	67
Tabla 4.5. Datos mensuales de evapotranspiración potencial generados para la ciudad Valencia. ....	67
Tabla 4.6 Cálculo de lixiviado para la ciudad de Valencia de acuerdo a Tenn <i>et al.</i> , 1975. ....	68
Tabla 4.7. Caracterización del lixiviado del vertedero de la ciudadValencia.....	70
Tabla 4.8. Prueba de “t” para los análisis de lixiviado 1 y 3.....	71
Tabla 4.9. Prueba de “t” para los análisis de lixiviado 2 y 3.....	71
Tabla 4.10. Comparación entre diferentes tipos de lixiviados.....	75
Tabla 4.11. Parámetros físicos y químicos tomados <i>in situ</i> enEstero Valencia. ....	76

Tabla 4.12. Matriz de Factores Rotados (Varimax) y Comunalidades de las variables monitoreadas en el Estero Valencia. ....	76
Tabla 4.13. Índices de Oxígeno disuelto sobre la fauna acuática.....	79
Tabla 4.14. Caudales Estero Valencia. ....	79
Tabla 4.15 Variación de la concentración de Oxígeno Disuelto vs. Caudal Estero Valencia.....	81
Tabla 4.16. Caracterización del agua Estero Valencia. ....	83
Tabla 4.17. Prueba de “t” para los análisis 1 y 2 del estero Valencia. ....	84
Tabla 4.18. Prueba de “t” para los análisis 2 y 3 del estero Valencia. ....	84
Tabla 4.19. Parámetros físicos y químicos tomados in situ en Pozo Artesiano. ....	87
Tabla 4.20. Matriz de Factores Rotados (Varimax) y Comunalidades de las variables monitoreadas en el pozo de agua subterránea. ....	88
Tabla 4.21. Caracterización física y química del agua subterránea – Pozo artesiano. ....	90
Tabla 4.22. Prueba de “t” para las muestras 1 y 2 del pozo artesiano.....	91
Tabla 4.23. Prueba de “t” para los análisis 1 y 3 del pozo artesiano. ....	91
Tabla 4.24. Análisis de Componentes Principales de las variables monitoreadas en: lixiviado, agua superficial y subterránea. ....	94
Tabla 4.25. Concentración promedio de Parámetros que incumplen la normativa ecuatoriana respecto de la calidad del agua superficial y subterránea.....	96
Tabla 6.1 Plan de Trabajo para la implementación de la Propuesta .....	107
Tabla 6.2 Resumen de los principales aspectos del monitoreo de la calidad del agua. ....	108
Tabla 6.3. Parámetros a monitorear en aguas superficiales y subterráneas. ....	110
Tabla 6.4. Cantidad de Lixiviado. ....	112
Tabla 6.5. Granulometría de la capa superior del lecho filtrante. ....	113
Tabla 6.6. Granulometría del lecho del soporte. ....	113
Tabla 6.7. Resumen de valores de diseño para FDGi.....	114
Tabla 6.8. Construcción de dos filtros gruesos dinámicos, dos cámaras zeolíticas y una fosa de infiltración.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa del cantón Valencia destacando área de estudio. ....	2
Figura 1.2. Excavación de zanjas y disposición de RSU en el vertedero. ....	5
Figura 2.1. Lixiviado por percolación y vista del estero Valencia.....	10
Figura 2.2. Producción de lixiviado en rellenos sanitarios. ....	21
Figura 2.3. Variaciones del componente del lixiviado en un relleno sanitario. ....	26
Figura 2.4. Desagüe de pendientes cubiertas con hierba. ....	28
Figura 2.5. Modelo de flujo de agua en vertederos. ....	29
Figura 3.1. Construcción metodológica del objeto de investigación mediante el árbol del problema. ....	47
Figura 4.1. Variación de la precipitación (mm) con la altitud, período: 1964 - 2008.. .....	65
Figura 4.2. Variación de la temperatura del aire (°C) con la altitud, período: 1964 - 2008. ....	66
Figura 4.3 Precipitación vs. Evapotranspiración potencial. ....	68
Figura4.4. Dendograma con enlace simple y distancia del coeficiente de correlación. .....	77
Figura 4.5. Índice de calidad ambiental para el Oxígeno Disuelto. ....	78
Figura 4.6. Variación del Caudal con el Tiempo.....	80
Figura 4.7. Variación del Oxígeno Disuelto vs. Caudal. ....	81
Figura 4.8. Dendograma con enlace simple y distancia del coeficiente de correlación.....	89
Figura4.9.Dendograma con enlace simple yDistanciadel coeficiente de correlación. .....	95
Figura 6.1. Ubicación del vertedero municipal de Valencia. ....	104
Figura 6.2. Sistema de Tratamiento de Lixiviado propuesto y puntos de muestreo de la calidad del agua.....	105
Figura 6.3 Sistema de Tratamiento de Lixiviado. ....	120

## INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de las ciudades ha ido cambiando la estructura de la sociedad, sus esquemas de producción y de consumo, trayendo como consecuencia un aumento en los volúmenes de residuos que se disponen en espacios denominados comúnmente vertederos; con el paso del tiempo estos han venido evolucionando, desde vertederos a cielo abierto hasta rellenos sanitarios altamente tecnificados donde se controlan las emisiones (líquidas y gaseosas) potencialmente peligrosas.<sup>1</sup>

Las emisiones líquidas de un vertedero se denominan *lixiviado* y se refiere a aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos<sup>2</sup>; los problemas ocasionados por su inadecuado manejo está en función del tipo de residuos vertidos (no peligrosos y/o peligrosos) y el lugar, pudiendo fácilmente afectar la salud pública y contaminar fuentes superficiales de agua o infiltrarse y contaminar mantos acuíferos.

El vertedero de la ciudad de Valencia, en la provincia de Los Ríos, desde hace dieciséis años acoge los residuos sólidos urbanos generados en la actualidad por 42.556 habitantes según datos del INEC<sup>3</sup> incluyendo los residuos considerados peligrosos por la normativa ambiental vigente, presentando un alto riesgo de contaminación para los cursos de agua superficiales y subterráneas cercanos, razón por la cual es necesario

---

<sup>1</sup>Méndez *et al.*, *Tratamiento Físicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario*. Ingeniería Revista Académica, mayo – agosto, año/vol. 8, número 002. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

<sup>2</sup> Álvarez A. & Suárez J. 2006. *Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta*. Ingeniería y Desarrollo, julio – diciembre, número 20, San José de Cúcuta, Colombia

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. 2011. Resultados Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://www.inec.gob.ec/>

conocer el grado de afectación de los mismos, como herramienta de evaluación de la calidad del agua.

En este trabajo de investigación se realizó un muestreo sistemático que incluyó la caracterización (física, química y biológica) del lixiviado, así como de las aguas superficiales y subterráneas con la finalidad de establecer la relación *lixiviado – calidad de aguas*, cuantificar la cantidad de lixiviado y argumentar la propuesta técnica “Programa de manejo de los Lixiviados”.

La presente tesis de investigación contempla seis capítulos: en el Capítulo I se plantea la problemática principal y derivada que motivó la investigación, los cambios esperados con la implementación de la Propuesta, la justificación y los objetivos general y específicos; en el Capítulo II se presenta los antecedentes del problema, la fundamentación conceptual y teórica, recogiendo también el aspecto legal; el Capítulo III aborda la metodología del estudio, es decir, incluye la naturaleza de la investigación, población, muestra y técnicas de recolección de datos; en el Capítulo IV se enuncia la hipótesis de investigación, además se exponen, analizan e interpretan los resultados obtenidos en la medición de las variables, realizándose al final, la comprobación o disprobación de la hipótesis; en el Capítulo V se exponen las conclusiones y recomendaciones con base en los objetivos específicos de la investigación; finalmente el Capítulo VI trata sobre la elaboración de la propuesta que contribuirá a la solución del problema de investigación. La misma se titula: “Programa de Manejo de Lixiviados”

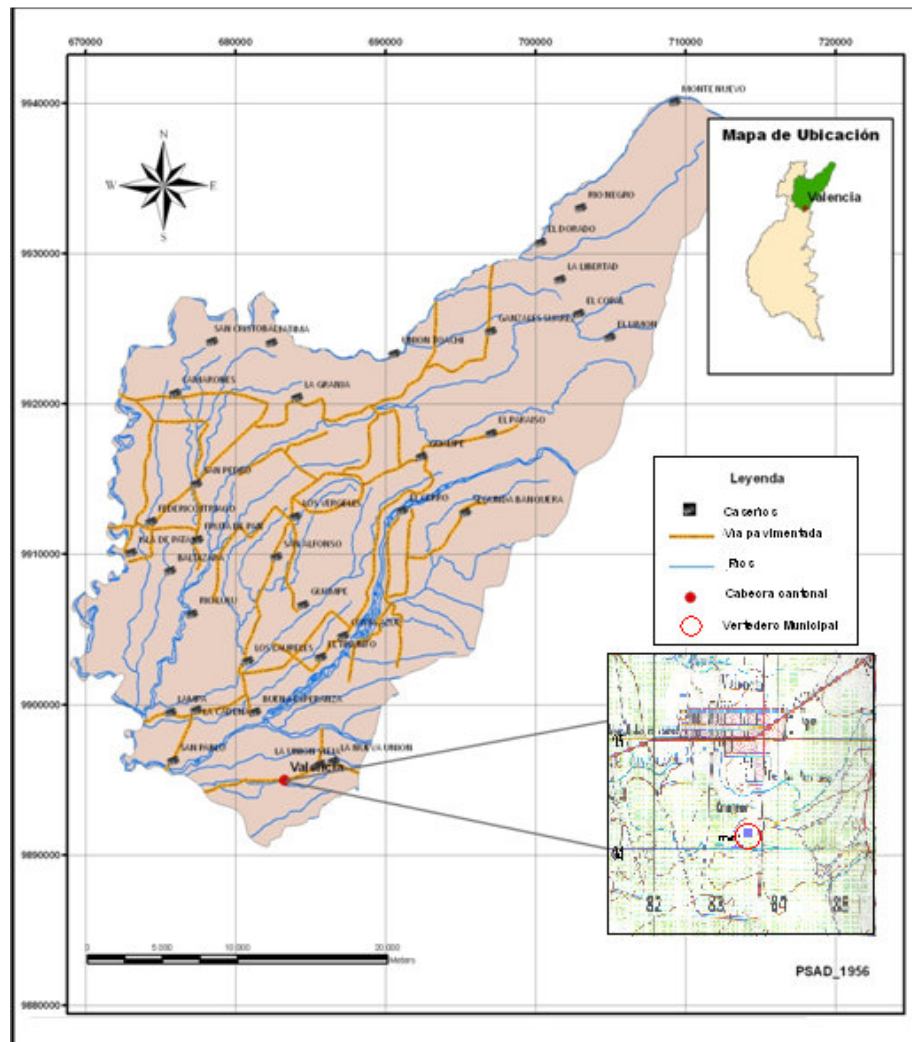
# **CAPÍTULO I**

## **MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

## 1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El vertedero de basura de la ciudad de Valencia se encuentra ubicado en el cantón del mismo nombre, en la provincia de Los Ríos, a 1,5 km de distancia del centro de la ciudad, a 110 msnm, en la siguiente coordenada: 683443 E, 9894922 N como se aprecia en la siguiente figura:

**Figura 1.1. Mapa del cantón Valencia destacando área de estudio.**



Fuente: Neira J., 2010.

Las condiciones edafo – climáticas predominantes en el sector son las siguientes:

**Tabla 1.1. Características edafoclimáticas.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Temperatura media*	25,0 °C
Precipitación*	2281mm
Evapotranspiración potencial*	1391,6 mm
Humedad Relativa*	84,95 %
Clima	Cálido a templado húmedo
Geomorfología	Depósito aluvial cuaternario
Hidrogeología	Cuaternario indiferenciado (Q): Arenas, areniscas, arcillas, conglomerados
Zona ecológica (Holdridge)	Bosque húmedo tropical (bh-T)

Fuente: INAMHI& IGM 2012.; \* Neira, J. 2010. Com. priv. Quevedo, Los Ríos

En 1996 empieza el funcionamiento del vertedero municipal de la ciudad de Valencia en la administración del alcalde Marco Troya con un área de 20 000 m<sup>2</sup>(2Ha)para dar solución a los problemas relacionados con el manejo y disposición final de los desechos sólidos urbanos, que en la actualidad son generados por 42556 habitantes<sup>4</sup>, producto del aumento de la población.

Conforme el crecimiento de la ciudad ha avanzado, se han urbanizado las áreas contiguas a este centro de disposición final de RSU. De acuerdo al Director del Departamento de Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad Valencia se prevé una ampliación de 1 Ha. hasta adquirir un nuevo sitio para la disposición final de RSU que cumpla con criterios técnicos y la normativa expresa.

El manejo del vertedero, de acuerdo a las observaciones de las autoridades del Ministerio del Ambiente, no reúne criterios técnicos, por lo que, existe un alto riesgo de contaminación del suelo y agua.

---

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. 2011. Resultados Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://www.inec.gob.ec/>

## 1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

Los vertederos constituyen el principal sistema de disposición final en países en vías de desarrollo por los valores culturales de la población en el área, fácil operación y bajo costo; razones de peso que han motivado la instalación del vertederos en la mayoría de ciudades del Ecuador.

La importancia de la gestión de RSUs es evitar o minimizar en lo posible impactos negativos sobre el ambiente y sus componentes (tierra – aire – agua) y por ende sobre la calidad de vida de la población; no obstante, uno de los problemas más serios observados en el vertedero de la ciudad Valencia es la composición de los residuos evacuados, los cuales varían desde: madera, plásticos, pilas, botellas, vidrio, escombros, entre otros, y residuos orgánicos en mayor cantidad (65% del total de basura) incluyendo residuos médicos y tóxicos considerados peligrosos por la legislación ambiental vigente, para cuyo efecto se dispone de celdas debidamente identificadas.

Se recalca el hecho de que no existe impermeabilización en la base del vertedero, ni un sistema de captación y conducción de lixiviado para su tratamiento, lo que posiblemente está facilitando la infiltración de los lixiviados hacia la capa freática, constituyendo factores de riesgo de contaminación tanto para las aguas superficiales, es el caso del Estero Valencia, como para las aguas subterráneas, pudiendo incidir directamente en la población aledaña, considerando que la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua funcionan con pozos<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup>INEC. 2011. Censo de Población y Vivienda 2010. Número de viviendas que reciben agua mediante pozo a nivel provincial. Disponible en: [http://www.inec.gob.ec/sitio\\_cartog](http://www.inec.gob.ec/sitio_cartog)

**Figura 1.2. Excavación de zanjas y disposición de RSU en el vertedero.**



Fuente: Neira, J. 2010. Com. priv. Quevedo, Los Ríos

El tipo de RSU enterrados en zanjas (mayormente orgánicos), así como las características climáticas e hidrogeológicas imperantes en la zona, coadyuvan a la generación de lixiviado; de acuerdo a cálculos efectuados, hasta la presente fecha, se estima 30000 m<sup>3</sup> de basura enterrada en zanjas de cuatro metros de ancho por cuatro de profundidad y noventa de largo sellados con capa de tierra en la mayoría de los casos, y otras con sellado de cal y zeolita para minimizar el riesgo de contaminación, esto a causa de las observaciones realizadas por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE).

Cabe destacar que el área en estudio tiene aptitud agrícola, por lo que, colindante al vertedero municipal se encuentran cultivos agro – forestales.

### **1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La estructuración de este trabajo de investigación tiene como fundamento la siguiente interrogante:

¿Cuáles son los efectos generados por los lixiviados del vertedero municipal de la ciudad de Valencia en la calidad del agua superficial y subterránea?

A partir de este problema se derivan los siguientes subproblemas:

- ¿Qué tipo de contaminantes están afectando las aguas superficiales y subterráneas en el área de influencia del vertedero?
- ¿Qué cantidad de lixiviado se genera en el vertedero?
- ¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en el área cercana al vertedero?

#### **1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

CAMPO:Contaminación Ambiental.

AREA:Calidad del Agua.

ASPECTO:Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

TIEMPO:septiembre – diciembre del año 2012.

#### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El agua es un recurso renovable que se recicla naturalmente mediante el ciclo hidrológico. El tiempo de residencia de las aguas superficiales en el ciclo hidrológico suele ser corto, en comparación con el de las aguas subterráneas; a pesar del hecho de que el agua es renovable, los recursos de agua dulce son finitos<sup>6</sup>.

Cuando la disponibilidad de este *biense* ve comprometido o alterado por actividades antrópicas, es necesario establecer las causas para buscar la solución.En el caso de los vertederos, el manejo inadecuado y la composición de los residuos evacuados generan un alto riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, las cuales muchas veces son fuentes de abastecimiento de agua potable. La materia orgánica de los residuos provoca una disminución del oxígeno disuelto y un aumento de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el agua, todo lo cual contribuye al crecimiento descontrolado de algas y genera procesos de eutrofización. Los

---

<sup>6</sup>Giler P., Myers A., O'Halloran J. 1999.Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Capítulo Seis: Perspectivas ecológicas de la contaminación del agua. Vol I. McGraw Hill. Madrid, España

RSU frecuentemente están mezclados con residuos peligrosos industriales, lo que origina, a su vez, contaminación química<sup>7</sup>.

En virtud de lo anotado, este trabajo se justifica, puesto que permitirá:

- Conocer la composición concreta de los lixiviados que se producen en el vertedero de la ciudad de Valencia, y la relación existente con las fuentes hídricas del área de influencia.
- Incentivar la investigación en otros aspectos relacionados al uso del agua en cultivos, incidencia en organismos acuáticos, entre otros.
- Desde el ángulo metodológico, los métodos y técnicas a utilizar en la medición de las variables, así como los resultados pueden ser extrapolados a otros contextos, con similares características geográficas y de composición de residuos.

## **1.6 CAMBIOS ESPERADOS CON LA INVESTIGACIÓN**

Se considera que esta investigación contribuirá con una mejoría notoria en la calidad del sistema hídrico (estero Valencia y aguas subterráneas) puesto que:

- Quedarán establecidos los mecanismos de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas que permitirá predecir cambios en el sistema hídrico ante circunstancias adversas.
- Se habrá calculado la cantidad de lixiviado que se genera en el vertedero de basura, lo que permitirá predecir resultados a futuro.
- Se mantendrán en buen estado las fuentes de abastecimiento de agua (el sistema hídrico) a través del “Programa de Manejo de Lixiviados” el mismo que está direccionado a contrarrestar los efectos negativos del mismo.

---

<sup>7</sup>Espinoza Ma. del Carmen *et al.* 2010. Rev. Int. Contam. Ambient vol. 26 n0. 4 México nov. 2010..

- Se ha fomentado la educación ambiental formal y no formal respecto a los riesgos asociados a vertederos no controlados.

## **1.7 OBJETIVOS**

### **1.7.1 General**

Determinar los efectos generados por los lixiviados del vertedero Municipal de la ciudad de Valencia en la calidad del agua superficial y subterránea.

### **1.7.2 Específicos**

- Cuantificar la cantidad de lixiviado producido por los RSU
- Analizar la calidad de las aguas superficiales en la zona de escurrimiento
- Analizar la calidad de las aguas subterráneas en el área de estudio
- Proponer un programa de manejo de lixiviados de la ciudad de Valencia.

## **CAPITULO II**

# **MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN**

## 2.1 ANTECEDENTES

El manejo de RSU en países en vías de desarrollo ha sido deficitario, en parte debido a la errada concepción de enterrar los desechos sólidos con objeto de desaparecer el problema, aunado a la falta de políticas claras y/o normativas expresas sobre el manejo de RSU.

En el Ecuador, el 73 por ciento de los municipios del país deposita la basura sin ningún control técnico<sup>8</sup>, contaminando el sistema suelo – agua – aire, provocando serios problemas en la salud pública y en las comunidades animal y vegetal del entorno. Esta problemática no es ajena al vertedero municipal de la ciudad de Valencia, en donde, la mayor preocupación de los habitantes del área de influencia directa, es la fuente de abastecimiento de agua con fines domésticos, recreativos y/o de irrigación la misma que es extraída tanto de pozos artesianos como del estero Valencia.

**Figura 2.1. Lixiviado por percolación y vista del estero Valencia.**



Elaboración: Bonifaz A. (2012).

Son numerosos los estudios que demuestran la pérdida del recurso agua (superficial o subterránea), ya sea para consumo humano, recreación o mantenimiento y preservación de flora y fauna acuática a causa de los lixiviados que se generan en los vertederos; La recuperación de

---

<sup>8</sup>Revista Vistazo, Editorial *Tarea Pendiente*

este bien acarrea grandes inversiones, considerando que un vertedero puede continuar produciendo lixiviado hasta 50 años después de su clausura y cese de actividades<sup>9</sup>.

No obstante, los problemas derivados de la composición química de los residuos, la generación de gases y lixiviados que éstos generan aportan información determinante al momento de establecer los posibles impactos negativos a los sistemas: aire – agua – suelo y poder contrarrestarlos.

Cabe destacar que la Autoridad Ambiental ante denuncias de moradores respecto de la operación del vertedero ha realizado observaciones al Gobierno Municipal, por lo que es necesario aplicar correctivos que minimicen el impacto negativo durante los dos años que se prevé funcione el mismo antes del cierre técnico exigido por la Autoridad Ambiental.

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Desechos sólido**

Se entiende por desecho sólido todo sólido no peligroso, putrescible o no putrescible, con excepción de excretas de origen humano o animal. Se comprende en la misma definición los desperdicios, cenizas, elementos del barrido de calles, desechos industriales, de establecimientos hospitalarios no contaminantes, plazas de mercado, ferias populares, playas, escombros, entre otros<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup>Kurniawan et al., 2005 citado por Primo M. "Mejoras en el Tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada. Tesis Doctoral. 2008

<sup>10</sup>TULSMA. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental. Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 6 norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

## **2.2.2 Residuos sólidos urbanos (RSU)**

Se define como aquel que es generado por cualquier actividad en los núcleos urbanos, incluyendo tanto los de carácter doméstico como los provenientes de cualquier otra actividad generadora de residuos dentro del ámbito urbano.<sup>11</sup>

## **2.2.3 Caracterización de undesecho**

Proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del desecho, integrado por la toma de muestras, e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. Los datos de caracterización generalmente corresponden a mediciones de campo y determinaciones de laboratorio que resultan en concentraciones contaminantes, masas por unidad de tiempo y masas por unidad de producto<sup>12</sup>.

## **2.2.4 Contaminación**

Es la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellas, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente.

## **2.2.5 Vertedero**

Los vertederos o basureros (también conocidos en algunos países hispanohablantes como tiraderos, basurales o basureros), son aquellos lugares donde se deposita finalmente la basura. Éstos pueden ser oficiales o clandestinos<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup>Colina et. Al 2001. Boletín introductorio a la problemática de residuos sólidos urbanos.

<sup>12</sup>Ibidem página 11 TULSMA

<sup>13</sup>Enciclopedia *on line* Wikipedia, 2010.

### **2.2.6 Lixiviado**

Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos<sup>14</sup>.

### **2.2.7 Calidad del agua**

La calidad del agua, es un estado de esta, caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características<sup>15</sup>.

1. Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores.
2. Estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor).

### **2.2.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO**

La Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios)<sup>16</sup>. La DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de los efluentes municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratados.

---

<sup>14</sup>TULSMA. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental. Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes.

<sup>15</sup>Ramírez F. 2012. Análisis de aguas.

<sup>16</sup>Abarca F. 2002. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros sistemas acuáticos.

### **2.2.9 Demanda Química de Oxígeno DQO**

Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales<sup>17</sup>.

### **2.2.10 Nivel freático**

El nivel freático, el límite superior de la zona de saturación, es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos<sup>18</sup>.

### **2.2.11 Agua superficial**

Toda aquella agua que fluye o almacena en la superficie del terreno.

### **2.2.12 Agua subterránea**

Es toda agua del subsuelo, que se encuentra en la zona de saturación (se sitúa debajo del nivel freático donde todos los espacios abiertos están llenos con agua, con una presión igual o mayor que la atmosférica)<sup>19</sup>.

### **2.2.13 Agua de escorrentía**

El agua de escorrentía denominada también hipodérmica o flujo intermedio que circula, dentro de los horizontes superficiales del suelo, paralelamente a la superficie y a favor de la pendiente<sup>20</sup>.

---

<sup>17</sup> Ibídem pág. 13, Abarca F. 2002

<sup>18</sup> Tarbuck E. & Lutgens F. Ciencias de la Tierra 8 va edición: Una introducción a la Geología Física.

<sup>19</sup> TULSMA. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental. Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes.

<sup>20</sup> Ibáñez J. 2006. El agua en el suelo.

#### **2.2.14 Mineralización**

Se emplea el término mineralización para indicar el proceso global de conversión del N al N mineral (nitrato y amoníaco).

#### **2.2.15 Monitoreo**

Monitoreo es la colección, análisis e interpretación rutinaria de datos físicos, químicos y biológicos en un sitio definido, a lo largo de un periodo dado y con una frecuencia de muestreo establecido<sup>21</sup>. Puesto de manera más sencilla, el monitoreo es determinar que está cambiando y por qué.

### **2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.3.1 Residuos Sólidos Urbanos (RSU)**

De todos los residuos sólidos, generados, los más importantes desde el punto de vista social son los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los cuales se componen de los residuos de tipo doméstico, comercial y algún de tipo industrial (no peligrosos) recogidos por autoridades públicas o privadas. Los residuos no se ajustan a un estándar y normalmente no existen dos residuos iguales, labasura doméstica varía semana a semana. La gestión inadecuada de los residuos sólidos tiene efectos negativos directos en la salud<sup>22</sup>.

#### **2.3.2 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos**

Los residuos sólidos son heterogéneos, es por ello la dificultad en la determinación de su composición. Debido a esto, los métodos estadísticos son casi imposibles de aplicar, acudiéndose a los trabajos de campo.

---

<sup>21</sup>Shear, 1995 citado por Abarca en Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos

<sup>22</sup>Mortensen E. & Kiely G. 1999. Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Capítulo Catorce: Tratamiento de Residuos Sólidos. *Lixiviado en los vertederos*. Vol III. McGraw Hill. Madrid, España.

**Cuadro 2.1. Composición física de los residuos sólidos.**

<b>COMPOSICIÓN GENERAL</b>	<b>COMPOSICIÓN TÍPICA</b>	<b>COMPOSICIÓN ESPECÍFICA</b>
Orgánica	Alimentos putrescibles	Alimentos Vegetales
	Papel y cartón	Papel Cartón
	Plásticos	Polietileno tereftalato (PETE) Polietileno de alta densidad (HDPE) Cloruro de polivinílico Polietileno de baja densidad (LDPE) Polipropileno Poliestireno Otros plásticos
	Ropa/tela	Productos textiles Alfombras Goma Pielés
	Residuos de jardín Madera Restos orgánicos	Residuos de jardín Madera Huesos
Inorgánica	Metales	Latas Metales ferrosos Aluminio Metales no ferrosos
	Vidrio	Incoloros Coloreados
	Tierra, cenizas, etc.	Tierra, sólidos de desbaste Cenizas Piedras Ladrillos
	No clasificados	Objetos voluminosos

Fuente: Kiely G. 1999.

Sin embargo se observan variaciones en las proporciones entre los distintos materiales según el nivel de industrialización y desarrollo de los países.

**Tabla 2.1. Datos típicos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.**

TIPOS DE RESIDUOS	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )		CONTENIDO HUMEDAD (%)	
	RANGO	TÍPICO	RANGO	TÍPICO
<b>Domésticos (nocompactados)</b>				
Residuos de comida (mezclados)	131 – 81	291	50 – 80	70
Papel	42 – 131	89	4 – 10	6
Cartón	42 – 80	50	4 – 8	5
Plásticos	42 – 131	65	1 – 4	2
Textiles	42 – 101	65	6 – 15	10
Goma	101 – 202	131	1 – 4	2
Cuero	101 – 261	160	8 – 12	10
Residuos de jardín	59 – 225	101	30 – 80	60
Madera	131 – 320	237	15 – 40	20
Vidrio	160 – 481	196	1 – 4	2
Latas de hojalata	50 – 160	89	2 – 4	3
Aluminio	65 – 240	160	2 – 4	2
Otros metales	131 – 1151	320	2 – 4	3
Suciedad, cenizas, etc	320 – 1000	481	6 – 12	8
Cenizas	650 – 831	745	6 – 12	6
Basuras	89 – 181	131	5 – 20	15
<b>Residuos de jardines domésticos</b>				
Hojas (sueltas y secas)	30 – 148	59	20 – 40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208 – 297	237	40 – 80	60
Hierba verde (húmeda compactada)	593 – 831	593	50 – 90	80
Residuos de jardín (triturados)	267 – 356	297	20 – 70	50
Residuos de jardín (compostados)	267 – 386	326	40 – 60	50
<b>Urbanos</b>				
En camión compactador	178 – 451	297	15 – 40	20
Medianamente compactados	362 – 498	451	15 – 40	25
Bien compactados	590 – 742	600	15 – 40	25
<b>Comerciales</b>				
Residuos de comida (húmedos)	475 – 950	540	50 – 80	70
Aparatos	148 – 202	181	0 – 2	1

Cajas de madera	110 – 160	110	10 – 30	20
Podas de árboles	101 – 181	148	20 – 80	5
Basura (combustible)	50 – 181	119	10 – 30	15
Basura (no combustible)	181 – 362	300	5 – 15	10
Basura (mezclada)	139 – 181	160	10 – 25	15
Construcción y demolición				
<b>Industriales</b>				
Lodos químicos (húmedos)	801 – 1101	1000	75 – 99	80
Cenizas volantes	700 – 900	800	2 – 10	4
Restos de cuero	100 – 250	160	6 – 15	10
Chatarra metálica (pesada)	1501 – 2000	1780	0 – 5	-
Chatarra metálica (ligera)	498 – 900	740	0 – 5	-
Chatarra metálica (mezclada)	700 – 1500	900	0 – 5	-
Aceites, alquitranes, asfaltos	801 – 1000	950	0 – 5	-
Serrín	101 – 350	291	10 – 40	20
Residuos textiles	101 – 220	181	6 – 15	10
Madera (mezclada)	400 – 676	498	30 – 60	25
<b>Agrícolas</b>				
Agrícolas (mezclados)	400 – 751	561	40 – 80	50
Animales muertos	202 – 498	359	----	
Residuos de frutas (mezclados)	249 – 751	359	60 – 90	75
Estiércol (húmedo)	899 – 1050	1000	75 – 96	94
Residuos de vegetales	202 – 700	359	60 – 90	75

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

A todo esto hay que añadir la fracción de residuos producidos en los domicilios, pero que por su toxicidad tienen la consideración de residuos peligrosos y que se tratan aparte:

- Aceites minerales procedentes de los vehículo;
- Baterías de vehículos;Pilas;
- Residuos de material electrónico. Teléfonos móviles, ordenadores, etc.;
- Electrodomésticos de línea blanca;

- Medicamentos;
- Productos químicos en forma de barnices, colas, disolventes, ceras, etc.;
- Lámparas fluorescentes y bombillas de bajo consumo, entre otros.

### **2.3.3 Sistemade Relleno Sanitario**

El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública, tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo; sin embargo es necesario hallar el lugar geográfico más apropiado para su diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen.

Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica<sup>23</sup>.

No obstante en el manejo del relleno no se deben contemplar la disposición de:

- Residuos líquidos
- Residuos semisólidos riesgosos: barros riesgosos
- Residuos especiales o peligrosos: inflamables, reactivos, corrosivos, tóxicos, radioactivos, irritantes, patogénicos infecciosos, capaces de producir cambios genéticos, explosivos.

---

<sup>23</sup>ESTRUCPLAN. 2004. Relleno sanitario. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Argentina.

Finalmente, para asegurar el correcto funcionamiento del Relleno Sanitario y evitar que se convierta en un basural a cielo abierto debe realizarse una serie de controles cuya metodología y frecuencia debe determinarse previamente<sup>24</sup>.

#### 2.3.4 Lixiviados

Los lixiviados son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos<sup>25</sup>.

Los lixiviados provienen de: (a) el agua lluvia infiltrada en el relleno mientras se está colocando los residuos; (b) el agua que se produce al compactar los residuos húmedos y finalmente (c) por la descomposición biológica que se inicia una vez se va conformando el relleno.

El máximo caudal de lixiviados debe producirse, teóricamente en zonas templadas, justo antes del cierre del relleno<sup>26</sup>.

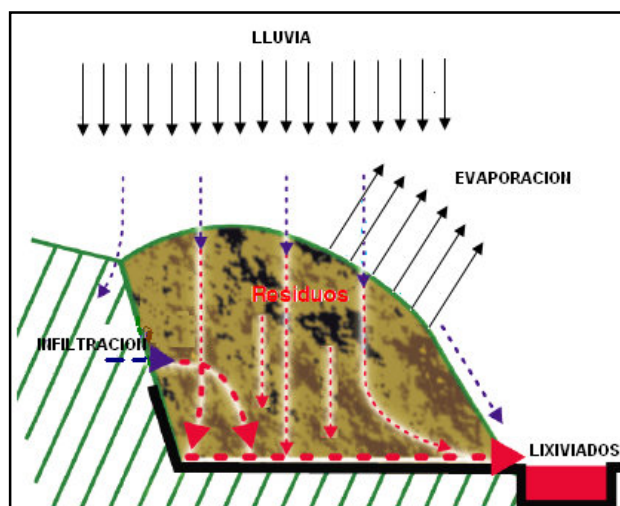
---

<sup>24</sup>Gutiérrez L. 2003. Rellenos sanitarios. UTEC Noticias Grupo de Estudios en Ingeniería Ambiental. Argentina. Número 14. Disponible en: <http://www.frbb.utn.edu.ar/utec/14/n04.html>

<sup>25</sup> Álvarez A. & Suárez J. 2006. *Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El Guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta*. Ingeniería y Desarrollo, julio – diciembre, número 20, San José de Cúcuta, Colombia.

<sup>26</sup> Espinosa, A. & González, A. 2000. *La acumulación de Basuras como material geotécnico II: Comportamiento de las Basuras*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Rv14-A9

**Figura 2.2. Producción de lixiviado en rellenos sanitarios.**



Fuente: Fornieles J. 2011

### **2.3.5 Características del Lixiviado**

Las características del lixiviado generado son específicas de los residuos y el lugar; varían ampliamente de acuerdo con (1) el tipo de residuo y el tratamiento que recibieron antes de ser depositados en el relleno de tierras, (2) la tasa de evaporación y la precipitación neta retenida en el relleno, y (3) la cantidad de lixiviado que emigra al suelo circundante<sup>27</sup>.

Las características fisicoquímicas de los lixiviados son inherentes tanto a la calidad de los residuos sólidos como a su grado de estabilización. Desde que los residuos sólidos son generados y aun temporalmente dispuestos, tiene lugar la degradación aeróbica, que es comparable con la compostación de los residuos<sup>28</sup>.

Los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y

<sup>27</sup>Glynn H. & Runnalls. 1999. Ingeniería Ambiental. Capítulo Quince: *Residuos Peligrosos. Tratamiento y eliminación de lixiviados*. Prentice Hall. 2ª. Ed. México

<sup>28</sup>Programa Nacional de Competitividad. Guía Básica para el manejo ambiental de Rellenos Sanitarios. San José de Costa Rica.

sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados, lo que tiene importantes implicaciones en la operatividad y rendimiento de los procesos de tratamiento; las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable [MOFBD] que produce a su vez altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco, mucho más altas que las que se reportan típicamente para lixiviados de países desarrollados.

A su vez, estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno<sup>29</sup>.

El lixiviado de los vertederos jóvenes es mucho más contaminante que el de los vertederos más antiguos. Con el tiempo el pH cambia de ligeramente ácido a neutro, y la relación DBO/DQO disminuye<sup>30</sup>. La composición química típica de los lixiviados se muestra en la Tabla 2.2

Teniendo en cuenta que los rellenos son sistemas que duran lustros y décadas en su funcionamiento, igualmente se espera que la cantidad de lixiviados aumente. Este aumento es un aumento gradual, lento, con los años.

---

<sup>29</sup> Giraldo E. 1997. *Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Rv14-A8

<sup>30</sup> Kiely Gerard. 2001. Capítulo Catorce: Tratamiento de Residuos Sólidos. Lixiviados en los vertederos. Vol. III. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Aravaca, Madrid.

**Tabla2.2. Composición química típica del lixiviado.**

PARÁMETRO DEL LIXIVIADO	UNIDAD	LIXIVIADO SITIOS "JÓVENES"		LIXIVIADO "GENERAL"		LIXIVIADO SITIOS "ANTIGUOS"	
		DÉBIL	FUERTE	DÉBIL	FUERTE	DÉBIL	FUERTE
Conductividad	Ms/m	500	3.000			250	1.500
STS	mg/l			500	2.500		
SVS	mg/l	3.000					
COT	mg/l	3.000	15.000			150	750
DQO	mg O <sub>2</sub> /l	5.000	30.000			1.000	5.000
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	4.000	20.000			200	1.000
CL	mg/l			1.000	3.000		
SO <sub>4</sub>	mg S/l	50	400			10	30
N total	mg N/l			500	1.500		
P total	mg P/l			5	100	5	10
Na	mg/l			500	2.000		
Ca	mg/l	500	1.500			80	200
Fe	mg/l	200	1.000			200	100
Cd	µg/l			10	100		
Cr	µg/l			20	1.000		
Cu	µg/l			10	1.000		
Ni	µg/l			50	2.000		
Pb	µg/l			20	1.000		
Zn	µg/l			0,1	10		
Fenol	mg/l			0,5	5		
Aceite/grasa	mg/l			2	20		

Fuente: De Christensen et al., 1982 y Mortensen, 1993 citado por Kiely 2000.

Por consiguiente, los lixiviados de los países en desarrollo contienen características contaminantes como: alto contenido de materia orgánica, y denitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos.

La biodegradabilidad del lixiviado variará con el tiempo. Se pueden supervisar los cambios en la biodegradabilidad del lixiviado, mediante el control de la relación de  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ . Inicialmente, las relaciones estarán en el rango de 0,5 o más. Las relaciones en el rango de 0,4 a 0,6 se toman como un indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable. En los vertederos antiguos, la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  está a menudo en el rango de 0,05 a 0,2<sup>31</sup>. La relación cae porque los lixiviados procedentes de vertederos antiguos normalmente contienen ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables.

### **2.3.6 Factores que afectan la producción de lixiviado y otros contaminantes**

Las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados generados en un relleno sanitario son específicas para cada sitio, ya que dependen de la composición de los desechos depositados y de las condiciones reinantes en él, como clima, temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, régimen de precipitación pluvial, tipo de cobertura y densidad de la masa de vertido. Permite establecer las condiciones específicas para efectuar los estimativos respecto a la generación de gases y lixiviados.

Teniendo en cuenta que el  $\text{CO}_2$  soluble en el agua crea un ambiente ácido debido a la formación del ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) en el cual los minerales como calcio, magnesio, hierro, cadmio, plomo y cinc, presentes en los desechos (o en el suelo), tienden a disolverse y avanzar hacia el nivel freático. El calcio y el magnesio solo aportan dureza a las aguas subterráneas, pero los metales pesados tóxicos constituyen un problema más serio porque pueden hacer que el agua no sea adecuada para consumo humano.

---

<sup>31</sup> Capelo J. & Mota S. 2000. Tratabilidad biológica de un lixiviado de relleno sanitario. Rv. AIDIS Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Septiembre/Octubre No. 46. Argentina

La materia orgánica fácilmente biodegradable tiene un contenido de humedad alto, se degrada rápidamente en el relleno sanitario, produciendo a su vez altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco en general mucho más alta que las que se reportan típicamente para lixiviados de países desarrollados producto de la fermentación inicial. A su vez, estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, disminuyen drásticamente el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno.

De igual manera, la remoción de DBO se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero a su vez, la remoción de metales, incluyendo aquellos incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente complejante que mantiene los metales en solución dificultando y limitando severamente su remoción<sup>32</sup>.

### **2.3.7 Cantidad de lixiviado**

La calidad y cantidad de los lixiviados en un relleno sanitario varían grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. Además es un punto importante a considerar en el momento de la selección de la tecnología para su tratamiento.

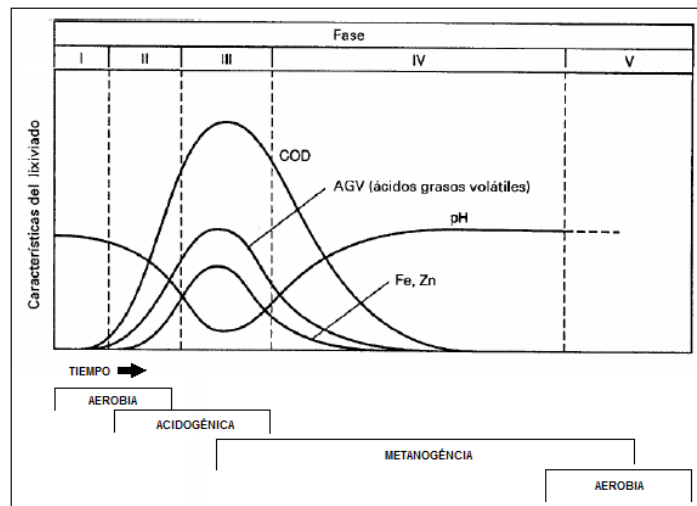
La generación de lixiviados ocurre principalmente en la Fase II de evolución del relleno (Figura 2.3). Los lixiviados provienen de: (a) el agua lluvia infiltrada en el relleno mientras se está colocando los residuos; (b) el agua que se produce al compactar los residuos húmedos y finalmente (c) por la descomposición biológica que se inicia una vez se va conformando el relleno<sup>33</sup>.

---

<sup>32</sup>Morales C. 2007. Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia.

<sup>33</sup>Espinosa, A. & González, A. 2000. *La acumulación de Basuras como material geotécnico II: Comportamiento de las Basuras*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Rv14-A9

**Figura 2.3. Variaciones del componente del lixiviado en un relleno sanitario.**



Fuente: Adaptado de Tchobanoglous et al. (1993)

El área rellena afecta porque es a través de ella que se realiza la entrada y el contacto del agua de infiltración con los residuos. Al aumentar el área rellena, aumenta paralelamente la cantidad de lixiviados. Teniendo en cuenta que los rellenos son sistemas que duran lustros y décadas en su funcionamiento, igualmente se espera que la cantidad de lixiviados aumente. Este aumento es un aumento gradual, lento, con los años<sup>34</sup>.

En la actualidad, muchos autores han propuesto un balance hídrico a efectos de conocer cuál es el caudal remanente que se convierte en lixiviado. El balance se establece en peso por unidad de área del relleno.

### 2.3.8 Evaluación de la generación de lixiviados

La necesidad de conocer la cantidad de lixiviado generado conlleva a establecer un balance hídrico, que para el efecto, considere la cantidad de agua que entra, la sustracción de las consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale como vapor de agua.

<sup>34</sup>Espinosa, A. & González, A. 2000. *La acumulación de Basuras como material geotécnico II: Comportamiento de las Basuras*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Rv14-A9

Hasta que el relleno se satura, el agua que entra en él también se reduce en la cantidad de humedad que se retiene en el suelo y los desechos. La ecuación de balance hídrico desarrollada por Tennet *al.*, (1975) y descrita por Vesilind y Rimer (1981) es la siguiente:

$$L = PP - EP - Es$$

Dónde: L = lixiviado generado en mm

PP = Precipitación anual en mm

EP = Evapotranspiración

Es = Desagüe de pendientes (escorrentía superficial)

La base para estimar la proporción de estas fuentes de contribución se indica en la Tabla 2.3 y se complementa con la Figura 2.4 que muestra el porcentaje de escurrimiento de suelos cubiertos de grama en diversas pendientes<sup>35</sup>:

**Tabla 2.3. Cantidad de Lixiviados de fuentes contribuyentes.**

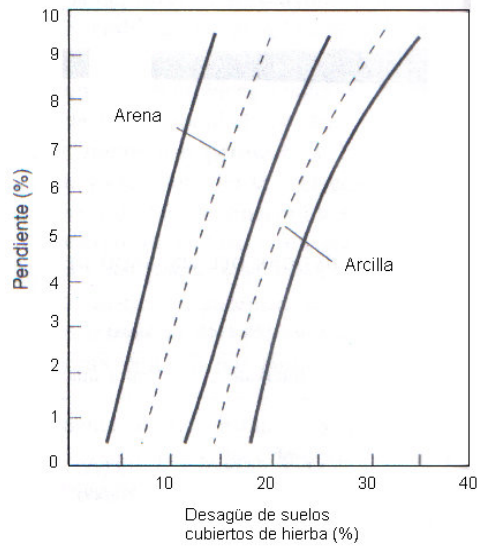
FUENTE DEL LIXIVIADO	REFERENCIA	VALOR TÍPICO	INTERVALO NORMAL	FACTOR GOBERNANTE
Precipitación	Registros	900 mm	400 – 1200 mm	Lugar (clima)
Pérdidas por:				
- Evapotranspiración	Registros	70% <sup>a</sup>	40 – 90%	Humedad
- Desagüe de superficie	Fig. 2.4	20%	10 – 15 %	Tipo de suelo
Agua retenida (% en volumen)				
Suelo saturado	Prueba de	30%	10 – 40%	Tipo de suelo
Desechos depositados	campo	30%	20 – 35 %	Desechos

<sup>a</sup> La pérdida del 70% de la precipitación por evapotranspiración se aplica en terrenos al aire libre con vegetación.

Fuente: Adaptado de Tennet *al.* (1975); Vesilind y Rimer (1981) citado por Glynn Henry (1999)

<sup>35</sup>Glynn Henry. 1999. Ingeniería Ambiental. Capítulo 14. Residuos Sólidos. Págs. 598 – 608.

**Figura 2.4. Desagüe de pendientes cubiertas con hierba.**



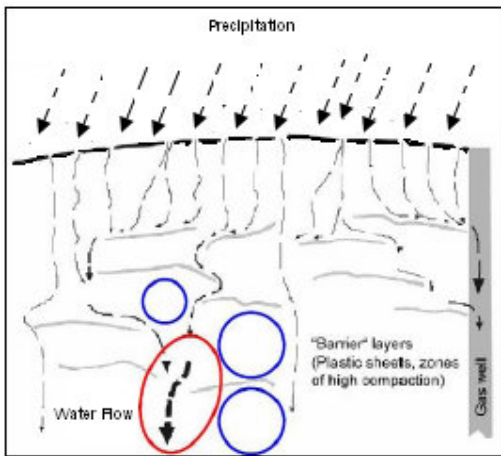
Fuente: adaptado de Vesilind y Rimer (1981); Tennet al., (1975)

La movilidad del agua dentro del relleno sanitario, complica el cálculo del balance hídrico. Debido a la no uniformidad en la composición del residuo se producen caminos preferenciales que son más frecuentes en rellenos jóvenes y que disminuyen considerablemente con la edad del relleno por el efecto de compactación de los residuos.

Adicionalmente se encuentran bolsas de líquido contenidas en la masa de residuos por efecto de barreras plásticas y/o impermeables<sup>36</sup>.

<sup>36</sup>Fornieles, 2011. Tratamiento de Lixiviados. Seminario Nacional de Limpieza [SENALIMP]. Madrid, España.

**Figura 2.5. Modelo de flujo de agua en vertederos.**



Fuente: modificado por Mesu (1982) citado por Fornieles, 2011

### **2.3.9 Efectos de los lixiviados en el agua**

Los vertederos localizados cerca de los cursos de agua tienen una mayor probabilidad para liberar sus contaminantes químicos en ellas; siendo el principal efecto potencial de un lixiviado liberado en aguas superficiales la depleción del oxígeno en partes de la superficie de los cuerpos de agua, cambios en la flora y la fauna en el fondo de los riachuelos y toxicidad por amoníaco<sup>37</sup>.

La contaminación por patógenos microbiológicos tales como cólera, amebiasis, fiebre tifoidea y otros, también han sido observados en el análisis de lixiviados. Otros problemas relacionados con la presencia de los lixiviados en las aguas, los parámetros químicos afectados y el efecto que causan se observan en el siguiente cuadro:

<sup>37</sup>Rodríguez Y., y otros. 2005. Situación actual de la producción de lixiviados en los vertederos provinciales de ciudad de la Habana. Impacto ambiental y propuestas de sistemas de tratamiento. *Cub@: Medio ambiente y Desarrollo*. Año 5 No. 9.

**Cuadro 2.2. Problemas producidos por la presencia de lixiviados RSU en las aguas, parámetros afectados y efectos que causan.**

<b>PROBLEMAS</b>	<b>PARÁMETROS AFECTADOS</b>	<b>EFEECTO PRODUCIDO</b>
Condiciones séptica	DBO	Agotamiento del oxígeno
Problemas de olor y gusto	Hierro	Coloración de herrumbre
Coloración de herrumbre	Alteración pH	Incremento de toxicidad Precipitación de metales
Elevado contenido de sólidos disueltos		Incremento de toxicidad
Aspecto desagradable	Nitrógeno	Aumento de algas Eutrofización
Presencia de floculados		
Toxicidad para los seres vivos	Metales	Incremento de toxicidad (nocivos e incluso cancerígenos)
Moteado en los dientes	M. Orgánica	Incremento de toxicidad
Obstrucción de acuíferos	Sólidos Totales	Atenuación, obstrucción de acuíferos
Problemas para uso doméstico y riego	Calcio	Incremento en la dureza
Inutilidad para usos recreativos	Magnesio	Incremento en la dureza
	Fósforo	Aumento de algas
	Fluoruro	Toxicidad
	Amonio	Ambiente reductor
	Selenio	Toxicidad

Fuente: Pastor J. (¿)

Eventualmente, los contaminantes transportados a través de los lixiviados se dispersan en el agua de los arroyos, pero una parte puede también ser adsorbidos por los sedimentos<sup>38</sup>.

La Agencia de Medio Ambiente de EE.UU (USEPA) ha analizado hasta 200 compuestos diferentes presentes en los lixiviados en los vertederos de RSU. Algunos como el cloruro de vinilo, cloruro de metilo, tetracloruro de carbono, clorobenceno y arsénico son sustancias cancerígenas, al igual que el resto de sustancias organocloradas, las cuales son persistentes y

<sup>38</sup>Pastor J. (?) Vertederos controlados: Problemática de los lixiviados. *La naturaleza de los residuos y los lixiviados*. Artículo. Madrid, España.

bioacumulativas en todos los eslabones de la cadena trófica. El plomo, cadmio y el mercurio son metales pesados presentes en los lixiviados de los vertederos provenientes de baterías de coches (en el caso del plomo), aparatos electrónicos, cerámica, pigmentos, pilas, plásticos, etc., demostrando las rutas posibles por las que estos lixiviados afectan tanto al ambiente como a las poblaciones humanas<sup>39</sup>.

### **2.3.10 Manejo Ambiental de los lixiviados**

La remoción de los distintos contaminantes presentes en los lixiviados, DQO, DBO<sub>5</sub>, compuestos orgánicos volátiles (COV's), amonio, y metales pesados conlleva a emplear combinaciones de los tratamientos habitualmente utilizados para la depuración de las aguas residuales. Dentro de estos tratamientos los más usados son: Procesos biológicos, Procesos físico – químicos, Tecnología de membranas, Evaporación.

Las características más preocupantes del lixiviado incluyen: DBO, DQO, sólidos totales disueltos (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos sin especificar.

El lixiviado que contiene concentraciones extremadamente altas de STD, por ejemplo sobre 50.000 (mg/l), puede ser difícil de tratar biológicamente. Con valores altos de DBO es preferible emplear procesos de tratamientos anaerobios, porque los procesos de tratamientos aerobios son costosos.

### **2.3.11 Clinoptilolita (zeolita) en procesos de descontaminación y purificación de agua**

La zeolita natural es el mejor sistema de filtración natural que existe para tratamiento de agua. Ofrece un efecto superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. La estructura altamente porosa de las

---

<sup>39</sup>Lutfi Al-Meflech. 2003. Investigación relativa a la minimización de lixiviados en vertederos y su depuración. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España

zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden absorber cationes, como metales pesados y amoníaco. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos y eliminar olores no deseados.

La clinoptilolita es una zeolita natural del grupo de las *heulanditas*, formada por la desvitrificación de ceniza volcánica en lagos o aguas marinas hace millones de años, este tipo es la más estudiada y de mayor utilidad; su fórmula química es:  $Na_6(Al_6Si_3O_{72})24H_2O$

Las clinoptilolitas se usan en calidad de intercambiadores iónicos para purificar aguas negras que contiene sales de amonio mediante intercambio iónico<sup>40</sup> de forma más eficiente y económica que otros materiales naturales conocidos para estos efectos. Al mismo tiempo se incrementa la actividad biológica (se reduce el número de bacterias coliformes y mesofílicas); mejora la eficiencia hidráulica y la estabilidad de lodos, gracias a la formación de flóculos alrededor de las partículas zeolíticas.

Los poros de la clinoptilolita pueden ser sometidos a un proceso de ampliación mediante una desaluminación, es decir una extracción de los átomos de Al de la estructura zeolítica por medio de un tratamiento con ácido clorhídrico 0,25N (se decationa totalmente). En caso de usar HCl (ácido clorhídrico) 1 N, la zeolita se desalumina hasta una relación molar igual a  $Al_2O_3/SiO_2 = 0,35/10,8$  en lugar de  $1/10,8$  de la zeolita inicial<sup>41</sup>.

### 2.3.12 Calidad de Agua

La calidad del agua, es un término ampliamente usado que indica un juicio de valor respecto al estado de un recurso, teniendo como base usualmente parámetros físicos o químicos que indican su aptitud para un uso determinado, lo que significa que una fuente de agua que permita la vida

---

<sup>40</sup> I. R. Frysing, Nature, vol. 194, 1962, p.351 citado por Bascuñan & Campos.

<sup>41</sup> Bascuñán C, Campos – Reales E. Zeolitas naturales y sintéticas para las industrias petroquímica y agropecuaria. Elementos. Núm. 12, año 3. Vol.2; impreso en México

acuática puede no ser apta para consumo humano, pero tal vez sí pueda ser utilizado para la agricultura.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial; entonces, para saber qué tipo y cantidad de contaminante puede ser asimilado por un cuerpo de agua, es preciso conocer el tipo de contaminante descargado y la manera como éstos afectan la calidad del agua<sup>42</sup>

Algunos elementos y compuestos en el agua resultan altamente tóxicos en elevadas concentraciones, pero son necesarios en cantidades trazas, por ejemplo, el cobre, el zinc, manganeso, boro y fósforo son tóxicos cuando se encuentran presentes en elevadas concentraciones, pero su presencia en bajas cantidades son esenciales para mantener las funciones de los ecosistemas.

Respecto a las aguas subterráneas, si bien se encuentran más protegidas frente a la contaminación que las aguas superficiales, con frecuencia la degradación de la calidad del agua subterránea se vuelve un proceso irreversible y su remediación mucho más compleja.

### **2.3.13 Indicadores de calidad del agua**

El conjunto de características físicas químicas y biológicas de un determinado tipo de agua define su calidad, de ahí que, la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso.

La tarea consiste en seleccionar variables específicas que sean indicadores ambientales representativos (por ejemplo concentración de oxígeno disuelto) factibles de cuantificar, de modo que cuando se realice el análisis de esta variable ambiental se pueda superponer sobre los valores de la variable en

---

<sup>42</sup>Capítulo 4: Efectos de la descarga de aguas residuales en ríos.

la Línea de Base a aquellos estimados considerando el proyecto y así predecir los posibles impactos en la calidad del agua<sup>43</sup>.

Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario prestar importancia a la toma de muestras, unidades y terminología empleadas. Finalmente, para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos<sup>44</sup>.

**Cuadro 2.3. Indicadores físico – químicos de la calidad del agua.**

TIPO DE AGUA	INDICADOR
Aguas superficiales y Subterráneas	Normas de calidad del agua, Temperatura, pH, Conductividad, Turbiedad, Sólidos, Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos, Totales, DBO <sub>5</sub> , DQO, Oxígeno Disuelto, Alcalinidad, Nitratos, Nitritos, Amonio, Nitrógeno Kjeldahl, Fosfato, Sulfatos, Cloruros, Hierro, Manganeso, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Sílice, Mercurio, Cadmio, Arsénico, Plomo, Cobre, Coliformes Totales y Fecales, Pesticidas.

Fuente: Espinoza C. 2007. Diplomado en Medio Ambiente

Este cuadro no es exhaustivo para establecer la calidad del agua, pues está en función del proyecto y el criterio del evaluador.

<sup>43</sup>Espinoza C. 2007. Modelos de calidad de aguas. Universidad de Chile

<sup>44</sup>Barrenechea A. (2007) Aspectos físico – químicos de la calidad del agua

### 2.3.14 Análisis multivariante

Se puede definir a los métodos multivariantes como el conjunto de métodos estadísticos para el tratamiento conjunto de variables con el propósito de analizar, describir e interpretar datos de múltiples variables<sup>45</sup> por lo tanto, el mejor planteamiento para evitar la interpretación equívoca de los datos de monitoreo ambiental es la aplicación de métodos multivariantes<sup>46</sup>.

De entre las técnicas del análisis multivariante, se encuentra el Análisis de Componentes Principales (ACP), el Análisis Factorial (AF), y el Análisis de Clúster o conglomerados (AC).

### 2.3.15 Análisis de Componentes Principales (ACP)

Estas técnicas fueron inicialmente desarrolladas por Pearson a finales del siglo XIX y posteriormente fueron estudiadas por Hotelling en los años 30 del siglo XX. Se usa como un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas (los componentes principales).

Una forma de medir la información que contiene una componente es por medio de su varianza. Debido a esto la primera componente es la que posee la mayor varianza. La primera componente principal, al igual que las demás, se representa por medio de una combinación lineal de las variables originales<sup>47</sup>:

$$c_{1i} = a_{11}x_{1i} + a_{12}x_{2i} + \dots + a_{1p}x_{pi}$$

Dónde:  $i = 1$ , y se refiere al número de observaciones consideradas.

---

<sup>45</sup>Gil Pascual, 2003. "Métodos de investigación en educación. Vol III: Análisis Multivariante" Universidad Nacional de Educación a Distancia.

<sup>46</sup>Simeonov et al., 2002 en Tesis UPV, 2009

<sup>47</sup> Pérez C., 2005. Métodos estadísticos avanzados con SPSS". International Thomson Editores Spain Paraninfo, S. A.

En definitiva, el objetivo del Análisis de Componentes Principales es identificar a partir de un conjunto de  $p$  variables, otro conjunto de  $k$  ( $k < p$ ) variables no directamente observables, denominadas factores, tal que:

- $k$  sea un número pequeño
- se pierda la menor cantidad posible de información
- la solución obtenida sea interpretable.

### 2.3.16 Análisis Factorial (AF)

El análisis factorial (AF) es una técnica que consiste en resumir la información contenida en una matriz de datos con  $V$  variables. Para ello se identifican un reducido número de factores  $F$ , siendo el número de factores menor que el número de variables. Los factores representan a las variables originales, con una pérdida mínima de información.

El modelo matemático del Análisis Factorial es parecido al de la regresión múltiple. Cada variable se expresa como una combinación lineal de factores no directamente observables.

$$X_{ij} = F_{1i} a_{i1} + F_{2i} a_{i2} + \dots + F_{ki} a_{ik} + V_i$$

Siendo:

$X_{ij}$  = la puntuación del individuo  $i$  en la variable  $j$ .

$F_{ij}$  = son los coeficientes factoriales.

$A_{ij}$  = son las puntuaciones factoriales.

$V_i$  = es el factor único de cada variable.

El AF consta de cuatro fases características:

- Cálculo de una matriz capaz de expresar la variabilidad conjunta de todas las variables;
- La extracción del número óptimo de factores;
- La rotación de la solución para facilitar su interpretación; y,
- Estimación de las puntuaciones de los sujetos en las nuevas dimensiones.

Los factores buscados deben cumplir el principio de interpretabilidad (sencillos de interpretar) y el principio de parsimonia (que se necesite la menor cantidad de ellos<sup>48</sup>). Una buena solución factorial es aquella que es sencilla e interpretable.

Una diferencia con el ACP es la estimación de las Comunalidades en el AF; la "comunalidad" es la proporción de la varianza explicada por los factores comunes en una variable.

### **2.3.17 Análisis de Clúster (AC)**

El análisis de conglomerados (clúster) es una técnica multivariante que busca ordenamientos (o variables) en grupos, tratando de lograr la máxima homogeneidad entre miembros del mismo clúster, y la mayor diferencia entre los grupos.

El dendograma es la representación gráfica en forma de árbol que mejor ayuda a interpretar el resultado de un análisis clúster. Los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud/disimilitud entre los objetos<sup>49</sup>.

Los resultados de un Análisis de Clúster pueden contribuir a la definición formal de un esquema de clasificación tal como una taxonomía para un conjunto de objetos, a sugerir modelos estadísticos para describir poblaciones, a asignar nuevos individuos a las clases para diagnóstico e identificación, etc.<sup>50</sup>

El análisis de conglomerados se puede combinar con el Análisis de Componentes Principales, ya que mediante ACP se puede homogeneizar los datos, lo cual permite realizar posteriormente un análisis clúster sobre los componentes obtenidos.

---

<sup>48</sup>Pérez López. 2005. Métodos estadísticos avanzados con SPSS" International Thompson Editores Spain Paraninfo, S.A.

<sup>49</sup>TerrádezGurrea M. 2012. Análisis de Conglomerados. Proyecto e- Math

<sup>50</sup>Vicente Vallardón. 2007. Introducción al Análisis de Clúster.

### **2.3.18 Métodos multivariantes como herramienta para la determinación de calidad de aguas superficiales**

En los últimos años se ha venido utilizando el análisis multivariante como método para determinar la calidad de aguas superficiales en función de una lista de parámetros fisicoquímicos; los resultados muestran que los parámetros más discriminantes permiten inferir una mayor incidencia de algunos parámetros en relación a otros, estableciendo de esta forma patrones respecto al tipo de agua y su calidad.

El análisis clúster y el análisis de componentes se utilizaron para identificar patrones temporales y espaciales de química del agua en el Lago George, un lago en el noreste de Nueva York (Estados Unidos) durante el periodo 1981-1993; El lago posee dos almacenamientos principales que tienen similar área y volumen pero diferente estructura de la comunidad biológica, grupos de plancton, área de cuenca y desarrollo de actividades económicas dentro de sus límites. El análisis clúster basado en las componentes principales o en las variables originales, indicó que había varias diferencias en la química del agua entre los dos almacenamientos principales del lago<sup>51</sup>

Se encontró que el análisis clúster fue una herramienta útil para detectar los cambios tanto bruscos (abruptos) y monótonos (graduales) en el tiempo y en el espacio.

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

### **2.4.1 Constitución de la República del Ecuador 2008<sup>52</sup>**

La Constitución del Ecuador garantiza la protección de los recursos naturales y la prevención de la contaminación, a continuación se presentan los artículos pertinentes:

---

<sup>51</sup>2009. Capítulo 2: Estado del arte de los métodos multivariantes. Tesis UPV

<sup>52</sup>PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. 2011. *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449 de 20 de Octubre del 2008, Quito, Ecuador

*Título II Derechos. Sección Segunda, Ambiente Sano.*

**Art 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

*TÍTULO VII Régimen del Buen Vivir. Capítulo Segundo Biodiversidad y recursos naturales. Sección Primera, Naturaleza y Ambiente.*

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

*Sección Sexta Agua.*

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad

que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

#### **2.4.2 Codificación de la Ley de Gestión Ambiental N19<sup>53</sup>**

*Título II Del Régimen Institucional de la Gestión Ambiental. Capítulo II De la Autoridad Ambiental*

**Art. 8.-** La autoridad ambiental nacional será ejercida por el Ministerio del ramo, que actuará como instancia rectora, coordinadora y reguladora del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, sin perjuicio de las atribuciones que dentro del ámbito de sus competencias y conforme las leyes que las regulan, ejerzan otras instituciones del Estado.

El Ministerio del ramo, contará con los organismos técnicos – administrativos de apoyo, asesoría y ejecución, necesarios para la aplicación de las políticas ambientales, dictadas por el Presidente de la República.

*Capítulo VI Instrumentos de Aplicación de Normas Ambientales*

**Art. 33.-** Establécense como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

---

<sup>53</sup>Congreso Nacional. 1999. Registro Oficial N° 418 de 10 de septiembre del 2004. Quito, Ecuador

### **2.4.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA)<sup>54</sup>**

#### *LIBRO VI ANEXO 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua*

Esta norma técnica ambiental es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Además, determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

Asimismo, plantea los criterios de calidad según sus diferentes usos:

- a). Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
- b). Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
- c). Criterios de calidad para aguas subterráneas.

---

<sup>54</sup>PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. 2006. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental. Anexo 1. R.O N° 725, 31 de marzo del 2003. Quito, Ecuador.

- d). Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
- e). Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
- f). Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
- g). Criterios de calidad para aguas de uso estético.
- h). Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
- i). Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

Así como los criterios generales de descarga de efluentes:

- a). Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
- b). Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
- c). Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
  - Descarga a un cuerpo de agua dulce.
  - Descarga a un cuerpo de agua marina.

El TULSMA también se refiere en los epígrafes 4.1.2.1 y 4.1.2.2 a los criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios:

4.1.2.1 Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

## **CAPÍTULO III**

# **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1 Métodos

El conocimiento de los secretos de la Naturaleza ha sido y es una constante preocupación del ser humano, que es un ser esencialmente curioso; esta actitud de curiosidad y asombro permanente ante los fenómenos que ocurren a diario a su alrededor y que afectan su vida, ha generado desde siempre miles de preguntas sobre el porqué, el cuándo y el cómo se generan y ocurren los hechos que conmueven su existencia<sup>55</sup>.

El Método sugiere, para el trabajo científico, una serie de pasos o etapas basados en la experiencia adquirida a lo largo de muchos años de trabajo e investigación; la ejecución de estos pasos en forma cronológica, garantiza la objetividad de la investigación y da credibilidad y solidez a los resultados y conclusiones a los que se arribe<sup>56</sup>.

En referencia a lo anotado anteriormente, en el desarrollo de esta investigación se utilizó el método hipotético – deductivo que tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia. Este método obliga al investigador a combinar la reflexión racional o momento racional (la formación de hipótesis y la deducción) con la observación de la realidad o momento empírico (la observación y la verificación).

---

<sup>55</sup> Genini E. 2011. Las ciencias Físico – químicas – El método científico.

<sup>56</sup> Rodríguez Moguel E. 2005. Métodos Generales de la Investigación Científica. Universidad de Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Para esta investigación se sospecha que la calidad del agua superficial y subterránea del sector está siendo afectada negativamente por el lixiviado que se produce en el vertedero de residuos, por tanto:

“El lixiviado aporta elementos y compuestos contaminantes al agua superficial y subterránea que la hacen no idónea para determinados usos”

A partir de esta premisa, surge la hipótesis: “El lixiviado generado en el vertedero Municipal de Valencia afecta negativamente a la calidad del agua superficial y subterránea del sector”

Una de las características del método hipotético – deductivo es que incluye otros métodos, por tanto para la comprobación o disprobación de la hipótesis se requiere del análisis de la calidad del agua superficial y subterránea y su comparación con los estándares de calidad (Método empírico).

### **3.1.2 Técnicas**

Las técnicas que se utilizan en esta investigación para la medición de las variables son:

- Para la variable independiente: “Lixiviado”
  - Análisis físico – químico y biológico según APHA<sup>57</sup> en un laboratorio acreditado para establecer su fuerza y composición.
  - Balance hídrico para establecer la cantidad de lixiviado generado.
  
- Para la variable dependiente: “Calidad del agua”
  - Monitoreo de la calidad del agua que incluye aforo de gasto líquido y medición de parámetros pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y sólidos disueltos totales con equipos portátiles.

---

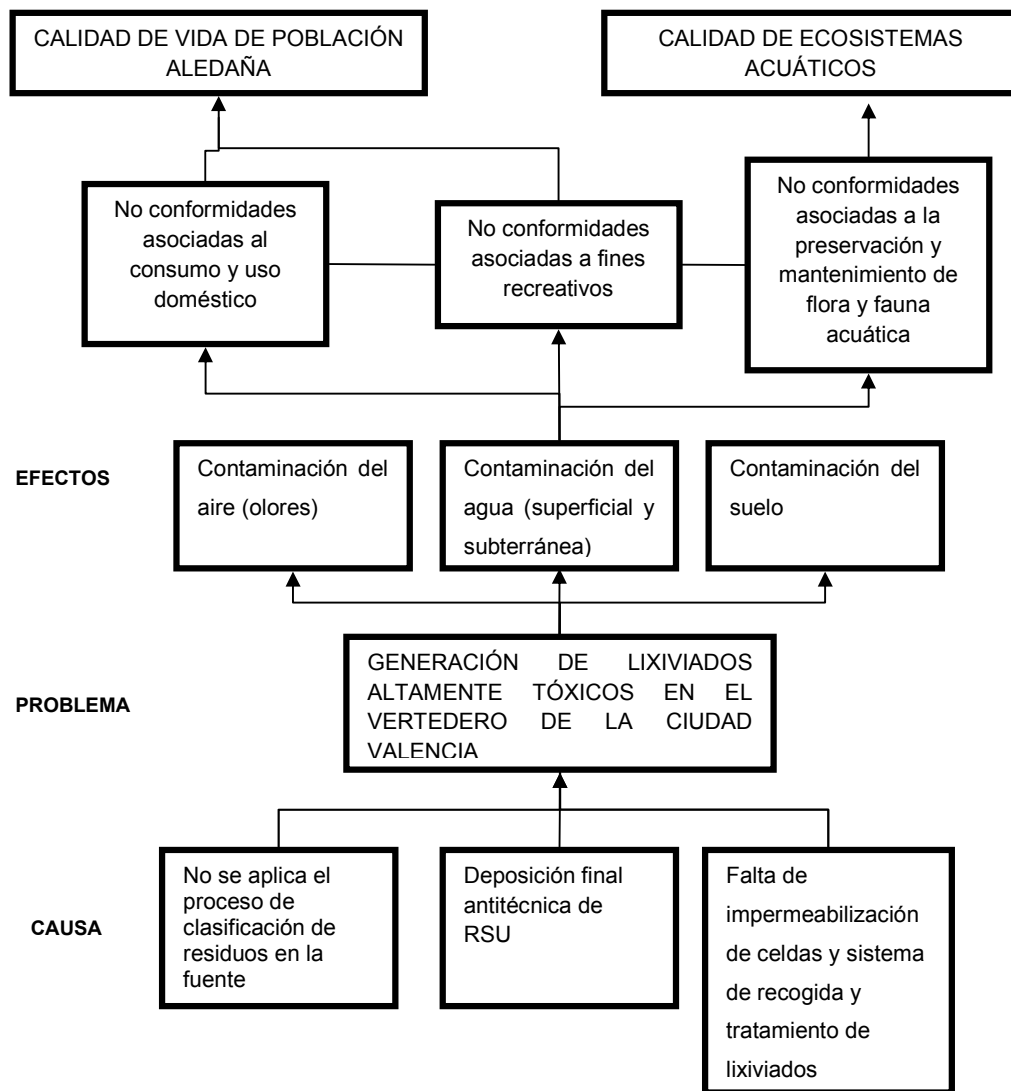
<sup>57</sup>APHA, AWWA, WPCF. (2005). *Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales*. Ed. McGraw – Hill, 15ta. Edición, New York, U.S.A

- Análisis físico – químico y biológico según APHA en un laboratorio acreditado
- Análisis multivariado para establecer los parámetros físico – químicos y/o biológicos más incidentes de la calidad del agua superficial y subterránea.

### **3.2 CONSTRUCCIÓNMETODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

Para la construcción metodológica del objeto de investigación se utilizó la técnica del árbol del problema, en la que, los subproblemas asociados o no conformidades quedan expuestosa través de sus nexos e interrelaciones mediante el análisis causa – efecto, como se muestra en la Figura 3.1.

**Figura 3.1. Construcción metodológica del objeto de investigación mediante el árbol de problema.**



Elaborado por: Bonifaz A. G. (2012)

### 3.3 ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

La elaboración del marco teórico tiene como base las variables de investigación, las cuales se asocian a los objetivos específicos y a los Antecedentes del estudio; la Fundamentación conceptual involucra términos inherentes de la investigación que puedan afectar la comprensión del lector;

la Fundamentación teórica de los objetivos específicos, aborda todo lo concerniente a los lixiviados y la calidad del agua, desde la generación de lixiviado, sus características en función de tiempo y tipo de residuos enterrados, la problemática asociada a su producción, la contaminación del agua asociada a los lixiviados y el análisis multivariado como herramienta para la determinación de la calidad del agua; incluye también la Fundamentación legal del estudio y las variables de investigación.

### **3.4 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA**

#### **3.4.1 Población**

En el caso de esta investigación, la población objeto de estudio está constituido por el tramo de aguasdispuesto entre el punto más bajo del área de escurrimiento al estero Valencia y el puente de la calle 2 de agosto (200 m de distancia) en el sector Nueva Esperanza, por su cercanía al vertedero con objeto de determinar la calidad de las aguas superficiales; y, bajo la misma concepción el pozo artesianode uso doméstico cercano al vertedero (213 m de distancia) asentado en el área de influencia directa.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra seleccionada y representativa, objeto de análisis corresponde a los siguientes puntos:

**Tabla 3.1. Localización puntos de muestreo de calidad del agua superficial y subterránea y lixiviado.**

<b>MUESTRA</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>
Muestra 1 (vertedero)	683247,88 9893900,40
Muestra 2 (pozo artesiano)	683099,48 9893962,50
Muestra 3 (aguas arriba del vertedero)	683255,97 9894185,72

Elaborado por: Bonifaz A. 2012

La determinación de la afectación a la calidad del agua superficial (Estero Valencia) y subterránea implicó la recepción de 2 muestras de agua por mes durante tres meses para el análisis de parámetros físico – químicos básicos, esto es pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales, por cada punto de control, en total doce (1ra Etapa); y tres análisis físico – químicos y biológicos con 15 parámetros empleando la técnica descrita en APHA (2da Etapa), de igual manera se procedió con el análisis de lixiviados, para cuyo efecto existe un pozo de recolección de lixiviados en el vertedero. Se realizaron tres mediciones con 15 parámetros cada uno.

### 3.4.3 Procedimiento

- a). Reconocimiento y delimitación del área de estudio:- Se visitó el vertedero por varias ocasiones con la finalidad de verificar el proceso de confinamiento de RSU. El propósito final es el establecimiento del balance hídrico por métodos indirectos, para determinar la cantidad de lixiviado producido en el mismo. El método de balance hídrico propuesto engloba observación meteorológica histórica de los siguientes parámetros: temperatura del aire en °C, precipitación pluvial en mm, evapotranspiración potencial en mm, y otro tipo de información como área del vertedero, el tipo de suelo (capacidad de percolación) y el contenido de humedad de los RSU.

La ecuación de Tennet *al.* (1975) es:

$$L = PP - ETP - Ds$$

Donde: L = lixiviado generado en mm

PP = Precipitación anual en mm

ETP = Evapotranspiración potencial

Ds = Desagüe superficial (Escorrentía)  $\approx$  17% de acuerdo a Figura 2.4

Finalmente se realizó la caracterización del lixiviado para establecer su carga contaminante, realizándose 3 análisis físico – químicos con quince parámetros cada uno (Ver Tabla 3.3.)

b). La determinación de la calidad de agua del estero Valenciase realizó en dos etapas:

1. Monitoreo continuo de la calidad y cantidad del agua que escurre en el estero cada quince días durante tres meses (desde agosto a octubre de 2012), midiendo los parámetros *in situ* que se muestran en la Tabla 3.2 Se realizaron seis mediciones.

**Tabla3.2. Parámetros Monitoreados *in situ* y equipo de medición correspondiente.**

Parámetro	Unidad de medida	Equipo de medición
pH	--	Ph330i WTW
Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	Cond330i WTW
Sólidos Disueltos Totales (STD)	mg/dm <sup>3</sup>	Cond330i WTW
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/dm <sup>3</sup>	Oxi330i WTW
Temperatura	°C	Oxi330i WTW
Medidor de velocidad de descarga (caudal)	m <sup>3</sup> /s	MODEL 3000 SWOFFER INC.

El cálculo del caudal del Estero Valenciaincluyó la realización de 6 aforos de gasto líquido utilizando el método velocidad – área, que utiliza básicamente el principio de continuidad a través de la ecuación para flujo incompresible:

$$Q = v \times A$$

Donde Q = caudal en m<sup>3</sup>/s

v = velocidad m/s

A = área m<sup>2</sup>

Consiste básicamente en medir un área transversal de la corriente, la cual se divide a su vez, en tramos iguales verticales para luego determinar las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener el caudal. La velocidad media en cada vertical es:

$$v = \frac{e}{t}$$

Donde: v = velocidad

e = espacio de la sección de aforo

t = tiempo (RPS)

Los aforos realizados en el estero Valencia fueron tabulados utilizando integral definido para el cálculo del área para luego obtener el caudal Q;

2. La segunda etapa comprendió la caracterización físico – química de la calidad del agua del estero Valencia que incluyó quince parámetros y se llevó a cabo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2012. Se realizaron tres análisis, cada uno con los siguientes parámetros:

**Tabla 3.3. Parámetros físico – químicos y métodos de análisis.**

No.	Parámetro	Unidad Medida	Método de Análisis
1	Temperatura	°C	Electrodo de membrana
2	Oxígeno disuelto	mg/ dm <sup>3</sup>	Electrodo de membrana
3	Potencial de hidrógeno	---	Potenciómetro
4	Conductividad eléctrica	µS/cm	Electrodo conductimétrico
5	Sólidos Disueltos Totales	mg/ dm <sup>3</sup>	Electrodo conductimétrico
6	Turbidez	NTU	Turbidímetro
7	OrtoFosfatos (PO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	Azul de fosfomolibdeno
8	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	Nitrospectral

9	Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	Azul de indofenol
10	Hierro (Fe II)	mg/ dm <sup>3</sup>	1,10 – fenantrolina
11	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	Tanino
12	Cadmio (Cd)	mg/ dm <sup>3</sup>	Derivado de cadion
13	Plomo (Pb)	mg/ dm <sup>3</sup>	PAR (Fotométrico)
14	DBO <sub>5</sub>	mg/ dm <sup>3</sup>	Incubación 5 días
15	<sup>1</sup> DQO	mg/ dm <sup>3</sup>	Kit COD Reagent LR
16	<sup>2</sup> Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /l	Kit ORBECO pastillas

<sup>1</sup>Parámetro analizado en lixiviados; <sup>2</sup>Parámetro analizado en aguas subterráneas

c). Ladeterminación de la calidad del agua subterránea se realizó en un pozo artesiano de uso doméstico ubicado a 213 metros de distancia del vertedero, para el efecto se contó con la colaboración de la familia Rodríguez Vásquez, dueña del pozo; al igual que las aguas superficiales, se realizó en dos etapas y durante los mismos meses, se realizaron tres mediciones con quince parámetros cada uno (Ver Tabla 3.2. y Tabla 3.3.). Se exceptúa el aforo.

d). Sistematización de la información obtenida del monitoreo continuo de la calidad del agua (1ra etapa) realizada *in situ* empleando el software estadístico MiniTab para, mediante la técnica multivariante realizar el Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Factorial (AF), y el Análisis de Clúster (AC).

1.- El ACP se realizó con la finalidad de reducir la dimensionalidad de los datos en estudio excluyendo la información redundante para luego realizar el AF y determinar los factores comunes que expliquen las interrelaciones entre variables; para todos los casos se utilizó el método de extracción de Componentes Principales y la rotación ortogonal Varimax para identificar los factores con correlaciones altas y reducir el número de variables.

2.- El Análisis de Clúster de variables se realizó con la pretensión de agrupar las mismas en grupos que poseen la máxima homogeneidad

y de esta manera discriminar los grupos de variables que inciden en la calidad de las aguas superficiales y aguas subterráneas; el método de agrupación jerárquico utilizado es el *Método del promedio* y la medida de similitud utilizada es el de *Coefficiente de Correlación de Pearson* cuya fórmula es la siguiente:

$$d_{ij} = 1 - \rho_{ij}$$

Donde  $\rho_{ij}$  = es el producto del momento de correlación de Pearson entre las variables  $i$  y  $j$ .

Los resultados se presentan en un Dendograma.

e). Posteriormente se correlacionó el Caudal ( $Q = dm^3/s$ ) Vs. Tiempo (en días); y, Caudal Vs. concentración de Oxígeno Disuelto (OD) para determinar las ecuaciones (modelos) que expresen: la relación entre el Q y el Tiempo; y la variación entre el Q y el Oxígeno Disuelto; para el primer caso se utilizó el *Método de Polinomios ortogonales*, y para el segundo la *regresión lineal*.

1. El Polinomio es, con mucho, la expresión más ampliamente utilizada para describir la relación entre dos variables. La curva de este tipo tiene la ecuación general de<sup>58</sup>:

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + \dots$$

Los términos de la ecuación polinómica:  $a, b, c, d$ , etc., se denominan coeficientes ortogonales, que darán un polinomio que cumplirá el requisito de que la suma de cuadrados de las desviaciones sea mínima.

Igual método se utilizó para obtener la ecuación que describe la relación entre la Precipitación y la Altitud (Ver Figura 4.1);

---

<sup>58</sup> Little T., & Hills J. 1980. Métodos estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Capítulo 14 Relaciones curvilíneas. Edit. Trillas S.A. México D.F.

Todas las ecuaciones polinómicas obtenidas en esta investigación son de *segundo grado* o *cuadrática*, es decir, concluye en el segundo término ( $cX^2$ ).

2. La regresión es la cantidad de cambio de una variable asociada a un cambio único de otra variable<sup>59</sup>; Los modelos de regresión lineal simple tienen por objeto encontrar una relación funcional entre dos variables que se las representa con las letras X, Y; donde, Y es la variable explicada, respuesta o variable dependiente, mientras que X es la variable explicativa o independiente. La ecuación de regresión lineal o ecuación general de la recta es<sup>60</sup>:

$$Y = a + bX$$

Donde:  $a$  = intercepto (Cuando  $X = 0$ ,  $Y = a$ );

$b$  = pendiente (determina inclinación de la recta);

$X$  = la variable independiente; y,

$Y$  = variable dependiente

Si la ecuación lineal es positiva, significa que si aumenta X, también lo hace Y; pero si la ecuación generada es negativa, un aumento en X produce una disminución en Y.

El modelo generado para Q vs. OD tiene como finalidad el control y monitoreo del sistema (estero Valencia); el modelo de regresión lineal generado para establecer la relación entre la Temperatura del aire vs. Altitud tuvo como finalidad obtener el valor de Y (Temperatura) del área de estudio.

- f). Para el desarrollo de la segunda etapa, se realizó la sistematización de la información obtenida en el laboratorio comparando los resultados

---

<sup>59</sup>Little T., & Hills J. 1980. Métodos estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Capítulo 13 Correlación lineal y regresión. Edit. Trillas S.A. México D.F.

<sup>60</sup>Castro Valarezo A. 2007. Regresión Lineal. Regresión Lineal Simple.

de las tres muestras (A, B y C) para cada caso: 1) agua superficial; 2) agua subterránea; y, 3) lixiviado. Para el efecto se utilizó el estadígrafo “t” Student de la teoría de las *pequeñas muestras* o *teoría de muestreo exacto*<sup>61</sup> cuando  $N < 30$  mediante el programa estadístico MSTATC

El estadístico  $t$  de Student se define como:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s} \sqrt{N - 1} = \frac{\bar{X} - \mu}{\hat{s} / \sqrt{N}}$$

Donde:  $N$  = tamaño de muestras

$\bar{X}$  = media muestral

$s$  = desviación típica de la muestra

El estadístico “t” es más variable que “z”, y tiene una distribución que no es normal, pero presenta pocos valores cerca del centro y un mayor número de éstos hacia los extremos de la distribución.

Para cada tamaño de muestra existe una distribución  $t$  única. Cuanto mayor es el tamaño de la muestra mayor será la aproximación de  $t$  al valor  $z$  normalmente distribuido.<sup>62</sup>

En el caso concreto se consideran las hipótesis:

$H_0$ :  $\mu_1 = \mu_2$ , y no hay diferencia estadística entre las muestras.

$H_1$ :  $\mu_1 \neq \mu_2$ , y existe diferencia estadística entre las muestras.

- g). Comparación con la normativa vigente con el propósito de comprobar o rechazar la hipótesis de investigación.
- h). Con los resultados obtenidos de la caracterización del lixiviado, y la determinación de la calidad del agua superficial y subterránea se

<sup>61</sup> Spiegel M. R. 2000. Estadística. Capítulo 11 Teoría de pequeñas muestras. Ed. McGraw – Hill/interamericana de España S, A.U. 2da Edición. Madrid, España.

<sup>62</sup> Little T. & Hill J. 1980. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. 2da. Reimpresión México.

procedió a la elaboración de la propuesta alternativa, que para el efecto se constituye en un Programa de manejo de lixiviados.

- i). Elaboración del informe de investigación, es decir, la escritura de la Tesis de Grado.

### **3.5 DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La información se describió en función de los objetivos planteados en la investigación:

- Para conocer la cantidad de lixiviado generado en el vertedero municipal con la información meteorológica de las estaciones Pichilingue, Puerto Ila y San Juan La Maná (circundantes a la zona de estudio) y utilizando el criterio de cuenca homogénea se procedió a construir los modelos matemáticos de la variación de: precipitación (modelo ortogonal), temperatura (modelo lineal) y humedad relativa (modelo ortogonal) con la altitud para determinar los datos correspondientes a la ciudad de Valencia, la misma que se encuentra a una altitud de 110 msnm.

Se utilizó la información histórica tomada de los anuarios meteorológicos correspondiente al período 1964 – 2008.

Una vez generada la información para Valencia se procedió a distribuir la información de acuerdo al flujo anual de cada parámetro. Para determinar la evaporación potencial para la zona de estudio se utilizó la fórmula empírica propuesta por Turc (1962).

Utilizando el modelo propuesto por Tennef *al.* (1975) se estimó la cantidad de lixiviado mensual que se genera dentro del vertedero municipal.

- En el caso del estero Valencia, los datos obtenidos del monitoreo continuo (trabajo de campo) se tabularon en el programa Minitab,

ilustrando los resultados en gráficas para el análisis de componentes principales, análisis factorial y análisis de Clúster este último muestra los resultados en un Dendograma; de igual forma se realizaron comparaciones entre el Caudal versus Tiempo, Concentración de oxígeno y Caudal empleando gráficas de dispersión en Excel obteniendo para cada uno el coeficiente de correlación “r”, que permite el análisis e interpretación de los mismos.

Igual tratamiento se dio a los resultados del monitoreo de las aguas subterráneas. Se excluye el caudal.

- Los análisis de laboratorio para determinar calidad del agua superficial y subterránea, así como la carga contaminante del lixiviado, fueron tabulados y comparados con la normativa nacional vigente de acuerdo al caso y con normativas internacionales cuando no existían referencias en la legislación nacional.

### **3.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Con base a la hipótesis planteada, y las variables de investigación, el análisis e interpretación de resultados se fue organizando de forma sistemática: la información primaria de tipo cuantitativa recogida *in situ* en laboratorio fue procesada utilizando el software estadístico MSTATC y MiniTab con este último se generaron gráficas para la variable dependiente (calidad del agua superficial y subterránea) que permitieron emitir juicios cualitativos en función de los parámetros monitoreados y la comparación con la normativa expresa nacional e internacional cuando no existían referencias. En el caso de la variable independiente (lixiviado generado), el análisis e interpretación de resultados fue complementada con las comparaciones de resultados análogos producto de investigaciones realizadas y presentadas por otros autores.

### **3.7 CONSTRUCCIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN**

El informe de investigación se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por la Unidad de Postgrado para este programa de maestría; es decir, se elaboraron los seis capítulos estipulados, con las temáticas y subtemáticas asociadas a la especificidad de dichos capítulos. Sobre la base del capítulo Análisis e Interpretación de Resultados, y la verificación de hipótesis, se elaboró el capítulo de Conclusiones y Recomendaciones, así como el diseño de la Propuesta Alternativa, ajustándose a un control adecuado de la realidad y dando solución al problema que se investiga.

## **CAPÍTULO IV**

# **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LAS HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

## 4.1 ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS

El lixiviado generado en el vertedero Municipal de la ciudad de Valencia afecta negativamente a la calidad del agua superficial y subterránea del sector.

## 4.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA PERTINENTE A LA HIPÓTESIS

### 4.2.1 Variable independiente: Lixiviado generado

- a). El valor calculado de lixiviado producido en el vertedero de RSU de la ciudad Valencia utilizando el balance hídrico propuesto Tennet *al.* (1975) fue de 1270,6 mm/año.
- b). La caracterización del lixiviado permitió establecer el poder contaminante del mismo, se realizaron tres análisis (muestras) cada una con quince parámetros entre físicos y químicos. Se reportaron los siguientes valores:
  - Las temperaturas registradas para el lixiviado oscilaron entre 28,7 a 33,1°C obteniendo un promedio de 30,9.
  - En el caso del oxígeno disuelto, las concentraciones no mostraron variaciones, alcanzando un valor de 0,1 mg/ dm<sup>3</sup>
  - Los valores de pH registrados muestran un lixiviado alcalino (8,1)
  - La conductividad eléctrica se midió en Ms/cm, siendo su valor promedio de 23,7, los mismos que se correlacionan directamente con los valores de Sólidos disueltos totales STD con 2230,0 mg/dm<sup>3</sup> como promedio.
  - El lixiviado presentaba una coloración marrón oscuro relacionada directamente con el parámetro Turbidez, sus concentraciones se encontraban entre 1572 y 1655 NTU.

- Los nutrientes nitratos, fosfatos y amonio, tuvieron promedios de 161,2 mg/dm<sup>3</sup>; 75,4 mg/dm<sup>3</sup> y 3,5 mg/dm<sup>3</sup> respectivamente.
- Se observó un aumento gradual en la concentración de hierro (Fe II) con valores desde 66,5 hasta 73,1 mg/dm<sup>3</sup>
- Las concentraciones de sulfatos en el lixiviado, mostraron valores de 73,4 mg/dm<sup>3</sup>; 76,5 mg/dm<sup>3</sup>; y 77,9 mg/dm<sup>3</sup> siendo el valor promedio de 76,5 mg/dm<sup>3</sup>
- Respecto a los metales pesados, las concentraciones registradas de Cadmio oscilaron entre 1,12 mg/dm<sup>3</sup> y 1,22 mg/dm<sup>3</sup> con un valor promedio de 1,17 mg/dm<sup>3</sup>. La concentración promedio de Plomo fue de 0,11 mg/dm<sup>3</sup>
- Los parámetros indicadores de carga orgánica, esto es DBO y DQO registraron valores de 1719,8 mg/dm<sup>3</sup> y 3639,7 mg/dm<sup>3</sup> respectivamente. La relación DBO/DQO calculada fue de 0,45.

#### **4.2.2 Variable dependiente: Calidad de agua superficial y subterránea**

a). Los monitoreos para determinar la calidad del agua del estero Valencia y del pozo artesiano en estudio, realizados durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2012 permitieron establecer las variaciones en las concentraciones y caudal (solo en el caso del estero) de los parámetros monitoreados oxígeno disuelto *OD*, conductividad eléctrica *CE*, sólidos disueltos totales *STD*, potencial de hidrógeno *pH*, y caudal *Q*.

- La concentración promedio de *OD* en el estero Valencia varió desde 5,4 mg/dm<sup>3</sup> medida el 4 de agosto de 2012 a 4,0 mg/dm<sup>3</sup> en el mes de octubre, con clara tendencia a seguir disminuyendo; en contraste los niveles de *OD* medidos en el pozo de agua fluctuaron entre 2,3 a 2,6 mg/dm<sup>3</sup>
- Los valores registrados de temperatura del estero medida *in situ* durante los meses de estudio muestran un aumento de la misma,

relacionándose con la disminución de la concentración de *OD*; Los valores reportados van desde 26,0°C hasta los 26,7°C.

En el caso de las aguas subterráneas los valores de temperatura oscilaron entre 21,4°C a 26,7°C.

- Del parámetro *CE* se registraron valores desde 124,9 hasta 135,9  $\mu\text{S/cm}$  en el estero Valencia, y valores desde 142,6 a 156,6  $\mu\text{S/cm}$  en el pozo artesiano.
- La concentración de sólidos disueltos totales registrado varía entre 56,2  $\text{mg/dm}^3$  y 61,2  $\text{mg/dm}^3$  en las aguas superficiales; en las aguas subterráneas (pozo) estos valores son más altos, y van desde 68  $\text{mg/dm}^3$  hasta los 72  $\text{mg/dm}^3$ .
- El pH no registró variaciones importantes como los parámetros antes mencionados tanto en el estero Valencia como en el pozo artesiano; los valores registrados para el estero van desde 6,4 a 6,6, y en las aguas subterráneas van desde 5,8 a 6.
- De los aforos de gasto líquido se pudo observar una disminución progresiva del caudal del estero Valencia en un porcentaje de 71,87% registrando al inicio de la investigación 338,1  $\text{dm}^3/\text{s}$  hasta 95,1  $\text{dm}^3/\text{s}$  al 12 de octubre del 2012.
- El pozo objeto de esta investigación tiene 5 metros de profundidad.

b). La segunda etapa se realizó durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2012 y consistió en la caracterización del agua superficial y subterránea:

- Las temperaturas registradas del agua superficial promedian 29,7 °C, y en el pozo de agua subterránea 26,6°C;
- Los valores de *OD* para inicios del mes de diciembre alcanzaron un valor promedio de 3,2  $\text{mg/dm}^3$  en el estero Valencia; en las aguas subterráneas la concentración promedio fue de 2,0  $\text{mg/dm}^3$

- Los valores registrados de pH no mostraron mayor variación, el promedio en aguas superficiales fue de 6,3 y en aguas subterráneas fue de 5,9;
- Respecto a la conductividad eléctrica se determinó un valor promedio de 143  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el estero, mientras que en aguas subterráneas el valor promedio registrado fue de 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
- Los valores reportados para STD están en el orden de 66 $\text{mg}/\text{dm}^3$  en aguas superficiales como promedio a diferencia de los 72,4  $\text{mg}/\text{dm}^3$  en aguas subterráneas.
- La turbidez en las aguas superficiales tuvo un valor promedio de 3,58 NTU; en el caso de las aguas subterráneas el valor registrado fue de 1,08NTU;
- El contenido de fosfatos en el estero Valencia como promedio fue de 74,5  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , muy por debajo de este valor se registran los fosfatos en aguas subterráneas con 0,005  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ;
- La concentración de nitratos y amonio en el estero Valencia fue de 21,5  $\text{mg}/\text{dm}^3$  y 2,43 $\text{mg}/\text{dm}^3$  respectivamente; en el pozo de aguas subterráneas la concentración promedio fue de 5,22 $\text{mg}/\text{dm}^3$  y 0,079 $\text{mg}/\text{dm}^3$
- Respecto a los metales pesados Cadmio y Plomo, las concentraciones en el estero Valencia fueron de 0,77  $\text{mg}/\text{dm}^3$  y 0,043 $\text{mg}/\text{dm}^3$  y en el pozo de aguas subterráneas se encontraron en el orden de 0,004 $\text{mg}/\text{dm}^3$  y 0,002 $\text{mg}/\text{dm}^3$ ;
- La caracterización de las aguas superficiales incluyó el análisis de DBO, el valor obtenido fue de 50,2; en tanto que la caracterización de las aguas subterráneas incluyó el análisis de dureza, la concentración encontrada fue de 34,5 $\text{mgCaCO}_3/\text{dm}^3$

### 4.3 DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN RELACIÓN A LA NATURALEZA DE LA HIPÓTESIS

#### 4.3.1 Variable independiente: Lixiviado generado

##### 4.3.1.1 Lixiviado producido en el Vertedero de RSU de la ciudad Valencia, provincia de Los Ríos.

El balance hídrico se ha calculado teniendo en cuenta que el vertedero de la ciudad no cuenta con un sistema de impermeabilización y colección de lixiviados en la que fuese posible medir el caudal de lixiviado que se genera diariamente.

Bajo el criterio de cuenca homogénea, con la información obtenida de los anuarios meteorológicos período 1964 – 2008 para las estaciones: Pichilingue, Puerto Ila y San Juan La Maná se obtuvieron modelos matemáticos para los siguientes parámetros: precipitación, temperatura del aire y evapotranspiración potencial.

A continuación se muestran los resultados del cálculo del Balance Hídrico:

**Tabla 4.2. Valores medios multianuales de precipitación de estaciones seleccionadas para el balance hídrico.**

Estación/Lugar	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)
Pichilingue - Quevedo	90	2227,6
Puerto Ila – Luzde América	250	2857,2
San Juan La Maná – LaManá	290	3083,8

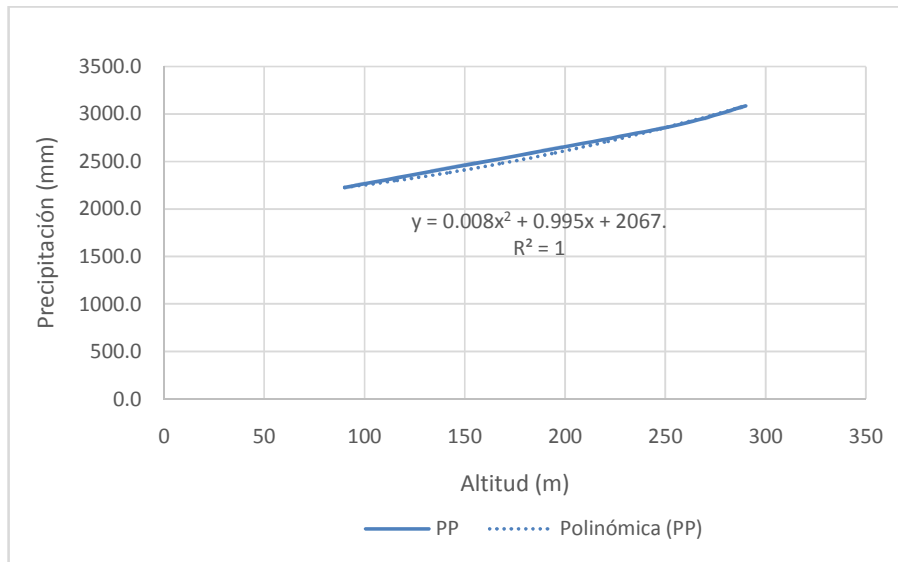
La ecuación polinomial obtenida es del siguiente orden:

$$y = 0,0086x^2 + 0,9954x + 2067,9$$

Con un coeficiente de determinación  $R^2 = 1$

De este modelo se deduce que la precipitación que le corresponde a Valencia con una altitud de 110 msnm es de 2281,5 mm

**Figura 4.1. Variación de la precipitación (mm) con la altitud, período: 1964 - 2008.**



Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

**Tabla 4.2. Valores medios multianuales de temperatura del aire de estaciones seleccionadas para el balance hídrico.**

Estación	Altitud (msnm)	Temperatura del aire (°C)
Pichilingue	90	25,1
Puerto Ila	250	24,4
San Juan La Maná	290	24,0

Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

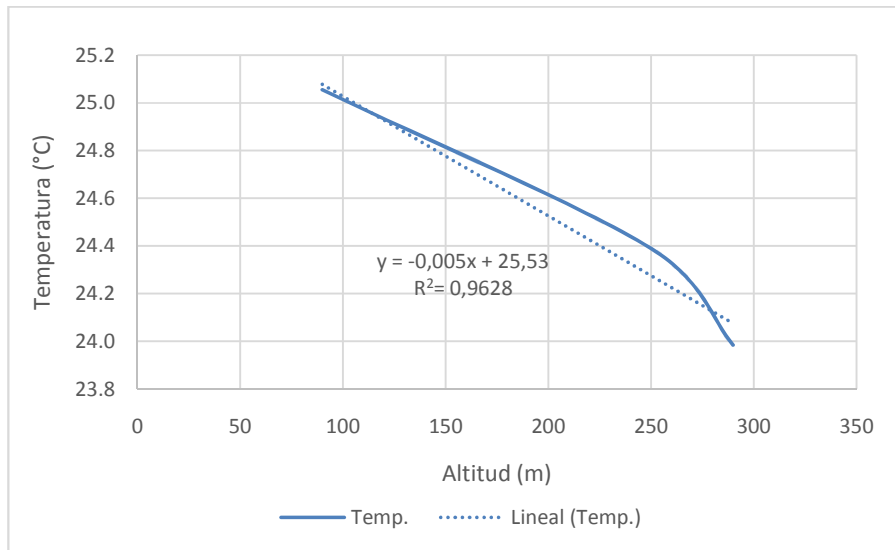
La ecuación lineal obtenida es:

$$y = -0,005x + 25,53$$

Con un coeficiente de determinación  $R = 0,9628$

De este modelo se deduce que la temperatura que le corresponde a Valencia con una altitud de 110 msnm es de 25 °C

**Figura 4.2. Variación de la temperatura del aire (°C) con la altitud, período: 1964 - 2008.**



Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

De la aplicación del método de cuencas homogéneas se obtuvo el flujo anual de los parámetros meteorológicos para la ciudad de Valencia tal como se observa en las Tablas 4.3 y 4.4.

Para determinar la evapotranspiración potencial (mm) se utilizó el método de Turc (1962), utilizando la siguiente fórmula:

$$ETP = 0,40 * (Rs + 50) \frac{T}{T + 15}$$

Donde ETP = Evapotranspiración potencial expresada en mm por mes

Rs = radiación solar global del mes considerado, expresada en kcal/cm<sup>2</sup>.día;

T = Temperatura media mensual en °C

El coeficiente 0,40 es válido para meses de 30 y 31 días, para el mes de febrero el coeficiente es 0,37.

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial se presentan en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.3. Flujo anual de parámetros meteorológicos (%).**

PARÁMETRO	MESES												ANUAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
Precipitación	17,8	19,9	21,2	17,9	7,2	2,6	1,3	0,6	1,0	1,1	2,5	6,9	100
Temp. del aire	8,5	8,6	8,7	8,7	8,5	8,1	7,9	7,9	8,1	8,2	8,3	8,5	100

Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

**Tabla 4.4. Datos mensuales de parámetros meteorológicos generados para la ciudad Valencia.**

PARÁMETRO	MESES												ANUAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
Precipitación	405,8	453,3	483,2	407,7	165,2	60,1	30,3	13,5	23,6	24,2	57,4	157,1	2281,5
Temp. del aire	25,4	25,7	26,1	26,1	25,5	24,4	23,7	23,7	24,4	24,6	24,9	25,4	25,0

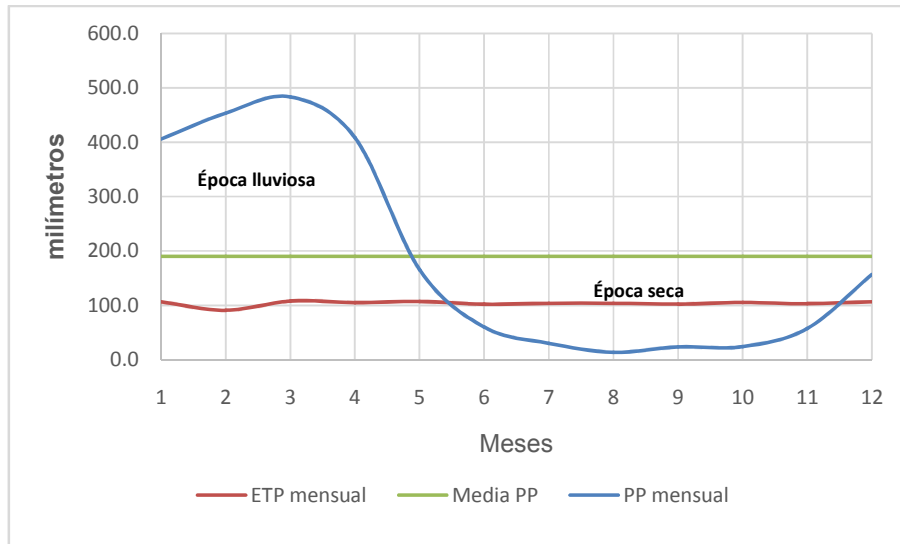
Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

**Tabla 4.5. Datos mensuales de evapotranspiración potencial generados para la ciudad Valencia.**

PARÁMETRO	MESES												ANUAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
ETP (mm)	106,9	90,9	108,0	104,9	107,0	102,3	104,1	104,1	102,3	105,6	103,1	106,9	1246,1

Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

**Figura 4.3 Precipitación vs. Evapotranspiración potencial.**



Elaborado por: Bonifaz A. (2012).

De acuerdo a la información de la Tabla 4.4 y de la Figura 4.3 el año hidrológico empieza en el mes de diciembre y termina en el mes de noviembre, los máximos de precipitación se producen en los meses de diciembre a mayo, mientras que de junio a noviembre se presenta la época seca del año.

La evaporación potencial prácticamente se mantiene constante durante todo el año, lo que significa que del mes de junio hasta noviembre al no producirse ingreso de aguas al vertedero proveniente de las lluvias la generación de lixiviado es prácticamente nula.

**Tabla 4.6 Cálculo de lixiviado para la ciudad de Valencia de acuerdo a Tennet *al.*, 1975.**

Parámetros considerados	Cantidad mm*
Precipitación anual	2281,5
Evapotranspiración potencial	623,0
Pérdida por desagüe de superficie	387,9
Cantidad anual de lixiviado	<b>1270,6</b>

\*1 mm es igual a 1 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

#### 4.3.1.2 *Caracterización del Lixiviado*

El análisis de lixiviados proporciona la información básica para seleccionar los procesos unitarios (Hutchinson T., 1996). La caracterización del lixiviado se realizó durante los meses más “secos” del año que corresponde a octubre, noviembre y diciembre, esto con el fin de correlacionar las concentraciones del lixiviado en el agua subterránea y el estero Valencia, sin considerar las diluciones propias de los contaminantes en épocas de lluvia. Es necesario aclarar que la denominación como “mes seco” a diciembre se debe a la variabilidad de las condiciones meteorológicas observadas puesto que solo al término del mes de diciembre se observaron lluvias.

Para verificar la consistencia de los datos tomados en cada punto de medición se procedió a realizar una prueba de medias mediante la técnica de “t” Student, los resultados se presentan en las tablas 4.8 y 4.9.

Los resultados de las tres muestras (análisis) con su respectivo promedio se presentan a continuación:

**Tabla 4.7. Caracterización del lixiviado del vertedero de la ciudad Valencia.**

No.	Parámetro	Unidad Medida	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	Promedio	*TULSMA
1	Temperatura	°C	31	28,7	33,1	30,9	< 35
2	Oxígeno disuelto	mg/ dm3	0	0,1	0,1	0,1	---
3	Potencial de hidrógeno	---	8,1	8,0	8,1	8,1	5 – 9
4	Conductividad eléctrica	Ms/cm	23,4	24,2	23,6	23,7	---
5	STD	mg/ dm3	2198	2240,0	2251,5	2230,0	---
6	Turbidez	NTU	1572	1683,0	1655	1636,7	---
7	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/ dm3	164,9	156,2	162,4	161,2	---
8	OrtoFosfatos (PO <sub>3</sub> )	mg/ dm3	73,7	75,4	77,1	75,4	10
9	Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/ dm3	3,7	3,6	3,3	3,5	---
10	Hierro (Fe II)	mg/ dm3	66,5	69,3	73,1	69,6	10
11	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/ dm3	73,4	76,5	77,9	75,9	1000
12	Cadmio (Cd)	mg/ dm3	1,18	1,22	1,12	1,17	0,02
13	Plomo (Pb)	mg/ dm3	0,1	0,10	0,14	0,11	0,2
14	DBO <sub>5</sub>	mg/ dm3	--	--	1719,8	1719,8	100
15	DQO	mg/ dm3	--	--	3639,7	3639,7	250

\*TULSMA: Anexo 1: Límites de descarga de un efluente a un cuerpo de agua dulce

**Tabla 4.8. Prueba de “t” para los análisis de lixiviado 1 y 3.**

<b>Función: T-TEST (VERTEDERO)</b>	
<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Casos:1 al 13	Casos:1 al 13
Media:324,31	Media:335,881
Varianza:498261,88	Varianza:532260,934
Desviación Estándar: 705,88	Desviación Estándar: 729,562
<b>“t” PARA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS: “MEDIA 1 = MEDIA3”</b>	
Varianza de la diferencia entre medias	51,8966
Diferencia de la Desviación Estándar	7,2039
Valor de “t”	-1,6067
Grados de libertad efectivos	12
Probabilidad de “t”	0,1341
<b>Result:Non-Significant t – Accept the Hypothesis</b>	
Confidence limits for the difference of the means (for alpha=0,05):	
11,575 plus or minus 15,696(-4,121through 27,271)	

**Tabla 4.9. Prueba de “t” para los análisis de lixiviado 2 y 3.**

<b>Función: T-TEST (VERTEDERO)</b>	
<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Casos:1 al 13	Casos:1 al 13
Media:335,87	Media:335,881
Varianza:535482,99	Varianza:532260,34
Desviación Estándar: 731,77	Desviación Estándar: 729,562
<b>“t” PARA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS: “MEDIA 2 = MEDIA 3”</b>	
Varianza de la diferencia entre medias	6,3706
Diferencia de la Desviación Estándar	2,5240
Valor de “t”	-0,0040
Grados de libertad efectivos	12
Probabilidad de “t”	0,9969
<b>Result:Non-Significant t – Accept the Hypothesis</b>	
Confidence limits for the difference of the means (for alpha=0,05):	
0,010 plus or minus 5,499(-5,489 through 5,509)	

De la Tabla 4.7 se desprende que: las temperaturas registradas del lixiviado están cercanas a los 31 °C, las cuales se relacionan negativamente con la concentración de oxígeno disuelto (0,1 mg/dm<sup>3</sup>) demostrando anoxia en el lixiviado.

De los valores obtenidos se observa un pH alcalino de promedio 8,1 atribuible a la Fase IV Metanogénica estrictamente anaerobia, siendo también indicativa de la edad del vertedero; este parámetro se encuentra dentro de los límites permisibles del TULSMA.

La conductividad eléctrica registró un valor promedio de 23,7 Ms/cm, la misma que se correlaciona con la elevada concentración de Sólidos Disueltos totales (en promedio 2230 mg/dm<sup>3</sup>) y las temperaturas registradas durante la toma de muestras.

Se indica además que el lixiviado presentaba una coloración marrón – oscuro inferida por sustancias húmicas; esta materia coloidal otorga valores altos de turbidez (1636,7 mg/dm<sup>3</sup>).

Respecto a la concentración de ortofosfatos (75,4 mg/dm<sup>3</sup>) encontrados en los tres análisis efectuados bien puede ser atribuible a que el fósforo a diferencia del nitrógeno es ligeramente soluble, por lo tanto se encuentra ligado al suelo en forma natural.

La concentración promedio de nitratos fue de 161,2mg/dm<sup>3</sup> en contraste el valor promedio de amonio (3,5mg/dm<sup>3</sup>) indica que la mineralización se está produciendo de forma rápida, considerando las condiciones de temperatura y el pH básico registrados casi todo el amonio  $NH_4^+$  esta convirtiéndose en nitrato o a su vez transformándose en amoníaco  $NH_3^-$  (por volatilización). El límite de seguridad para la concentración de amonio es de aproximadamente 3000 mg/dm<sup>3</sup>, en tanto que el amonio libre es tóxico por encima de 150 mg/dm<sup>3</sup>.

Los sulfatos constituyen uno de los principales componentes de los lixiviados de residuos urbanos<sup>63</sup> en el caso del lixiviado del vertedero de la ciudad de Valencia, el valor promedio de la concentración fue de 75,9 mg/dm<sup>3</sup> valor que justifica la concentración elevada de Cadmio, dado que el SO<sub>4</sub> es responsable de la solubilización metálica, bajo condiciones ácidas, en este punto se recalca que el vertedero se encuentra activo por tanto confluyen lixiviados “viejos” y “jóvenes”. Se exceptúa el plomo que aún en pH ácido, neutro y alcalino tiene una movilidad baja<sup>64</sup>, y no se correlaciona con la concentración de sulfatos<sup>65</sup>.

La concentración promedio de Hierro (Fe II) registrado en el vertedero tuvo un valor promedio de 69,6 mg/dm<sup>3</sup> muy por encima de la normativa vigente (10 mg/dm<sup>3</sup>); no obstante los valores encontrados concuerdan con valores típicos de hierro en lixiviados en diferentes localidades en concentraciones de 20 – 200 mg/dm<sup>3</sup> citados por Tchobanoglous *et al.*, (1993) y Martín (1991).

De los metales pesados analizados, el Cadmio (oligoelemento) se encuentra en elevadas concentraciones muy por encima de la normativa vigente con 1,17 mg/dm<sup>3</sup> en discordancia con la Fase IV metanógena en la que los metales pesados tienden a disminuir porque precipitan dentro del vertedero; estas concentraciones pueden explicarse dado que el vertedero se mantiene activo y por lo tanto se mezclan lixiviados de diferentes edades haciendo que mantengan características tanto de lixiviados producidos durante la Fase III de Acidificación como de la Fase IV Metanogénica, similar a lo reportado por Méndez Novelo *et al.* (2009)<sup>66</sup>.

Además la presencia de cadmio en el vertedero puede estar ligada a las baterías desechadas (pilas), en combinación con residuos que contienen

---

<sup>63</sup>Pástor Piñeiro J. 2000. Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados. CSIC. Artículo de investigación financiado con proyectos de Comunidades de CASTILLA La Mancha y de Madrid.

<sup>64</sup>Plant & Raiswell. 1983. Tabla Movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh

<sup>65</sup>Monterroso C y Macías F. 1998. Procesos de inmovilización de elementos traza en aguas ácidas de mina. Santiago de Chile

<sup>66</sup>Méndez Novelo *et al.* (2009) Comparación de cuatro tratamientos físico – químico de lixiviados. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 133 – 145, 2009.

zinc, así como los residuos de fertilizantes fosfatados artificiales, entre otros; esto, considerando que el vertedero acoge residuos de todo tipo y no mantiene una barrera impermeabilizante en su base.

La concentración de Plomo se encuentra dentro de los límites establecidos (0,11 mg/dm<sup>3</sup>) en la legislación ambiental vigente.

Los principales parámetros que indican la carga orgánica contaminante la constituyen la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la Demanda química de Oxígeno (DQO), presentan concentraciones de 1719,8 mg/ dm<sup>3</sup> y 3639,7 mg/ dm<sup>3</sup> respectivamente, siendo la relación DBO<sub>5</sub>/DQO de 0,47 que indica que se trata de un lixiviado parcialmente estabilizado, de acuerdo a Glynn H. (1999), es mejor su biodegradabilidad y por ende su tratamiento será más fácil. Comparando con los límites permisibles del TULSMA, éstos no cumplen la normativa vigente para descargas de efluentes.

Todos los parámetros mencionados están en función de la naturaleza del residuo y de la fase en que se encuentre, así como de las características del sitio del vertedero.

Los valores encontrados en la caracterización del lixiviado fueron comparados con estudios de lixiviados de diferentes autores, tal como se observa en la Tabla 4.10.

**Tabla 4.10. Comparación entre diferentes tipos de lixiviados.**

No.	Parámetro	Unidad Medida	Concent.	Glez (1982)	Fatta et al 1998	Vadillo et al., 1999	Pellón et al., 2009
1	Temperatura	°C	30,9			12,3 – 36,4	29,53
2	Oxígeno disuelto	mg/ dm <sup>3</sup>	0,1				0,00
3	Potencial de hidrógeno	---	8,1	4,7 – 8,8	8,29 – 8,62	8 – 8,6	
4	Conductividad eléctrica	Ms/cm	23,7		21 – 26	4050 – 40900*	8,80
5	STD	mg/ dm <sup>3</sup>	2230,0				
6	Turbidez	NTU	1636,7				289
7	Fosfatos (PO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	75,4		11,1 – 14,2		
8	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	161,2			28,9 -2524,3	0,36
9	Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	3,5			16,1 – 16359	
10	Hierro (Fe II)	mg/ dm <sup>3</sup>	69,6		6,24 – 9,02		
11	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	75,9		205 -770	41,2 – 802,4	
12	Cadmio (Cd)	mg/ dm <sup>3</sup>	1,17	70 – 3900	0,02 – 0,04		0,02
13	Plomo (Pb)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,11	0,001 – 1,44	0,68 – 0,94		0,71
14	DBO <sub>5</sub>	mg/ dm <sup>3</sup>	1719,8	4 – 57 700	500 – 880		902,24
15	DQO	mg/ dm <sup>3</sup>	3639,7	31 – 71 700	3250 – 6300	12,3 – 36,4	2011,00

\*Ms/cm

\*\*Mediciones efectuadas en época seca

### 4.3.2 Variable dependiente: Calidad del agua superficial y subterránea

#### 4.3.2.1 Calidad del agua superficial – Monitoreo EsteroValencia

Los resultados de los parámetros físicos y químicos monitoreados en el Estero Valencia se presentan a continuación:

**Tabla 4.11. Parámetros físicos y químicos tomados *in situ* en Estero Valencia.**

FECHA	OD mg/dm <sup>3</sup>	TEMP °C	CE μS/cm	STD mg/dm <sup>3</sup>	pH	CAUDAL dm <sup>3</sup> /s
04-ago-12	5,4	26,0	124,9	56,2	6,4	338,1
18-ago-12	4,9	26,2	130,5	59,0	6,5	280,7
15-sep-12	4,5	26,4	133,3	60,0	6,6	171,1
24-sep-12	4,4	26,5	133,5	60,1	6,6	144,9
07-oct-12	4,3	26,6	135,9	61,2	6,5	103,3
12-oct-12	4,0	26,7	135,0	60,8	6,6	95,1

Elaborada por: BonifazA. (2012).

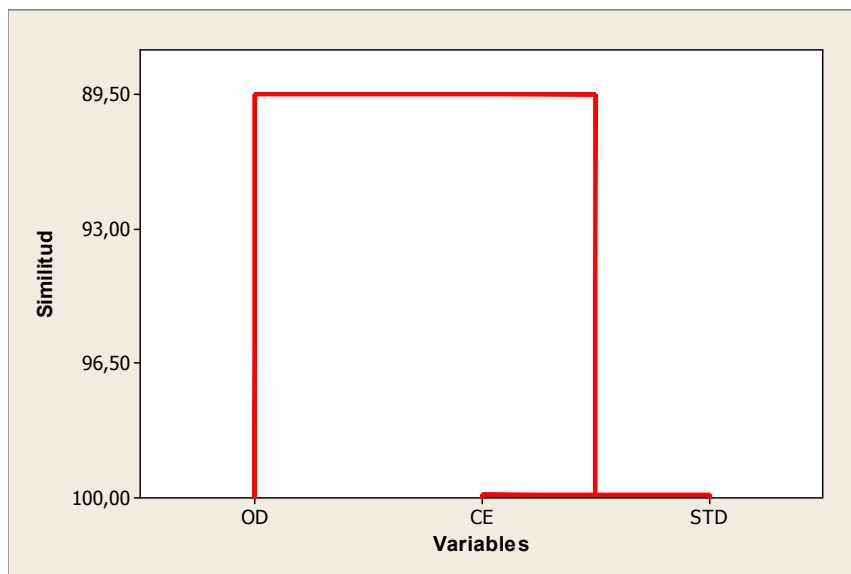
Los principales indicadores físico – químicos que inciden en la calidad del agua del Estero Valencia se determinaron con las Comunalidades obtenidas del Análisis Factorial, luego de la primera extracción se presentan los resultados:

**Tabla 4.12. Matriz de Factores Rotados (Rotación Varimax) y Comunalidades de las variables monitoreadas en el Estero Valencia.**

Variable	Factor 1	Factor 2	Comunalidad
OD	0,930	0,248	0,927
CE	0,742	0,638	0,957
STD	0,740	0,636	0,952
pH	0,290	0,932	0,953
<b>Varianza</b>	2,0473	1,7408	3,7881
<b>% Var</b>	51,2	0,435	94,7

De la Tabla 4.12 se establece que los parámetros más significativos en la calidad del agua del Estero Valencia son: oxígeno disuelto (0,930), Conductividad eléctrica (0,742) y Sólidos Disueltos totales (0,740) que se encuentran en el Factor 1 y cuyas Comunalidades son mayores a 0,9. El segundo factor le corresponde al pH con un autovalor de 0,932.

**Figura 4.4. Dendograma con enlace promedio y distancia del coeficiente de correlación.**

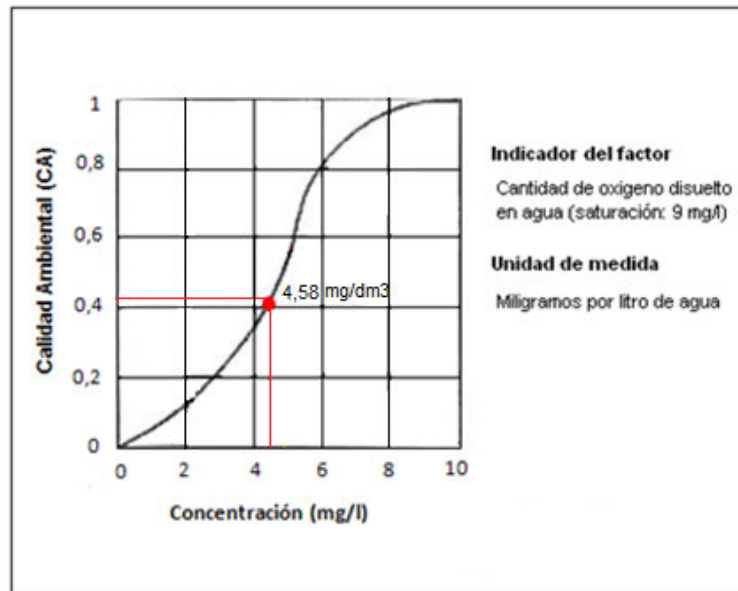


Elaborado por: BonifazA. (2012).

El análisis de Clúster (Dendograma, Figura 4.4.) muestra el nivel de similitud entre las variables Conductividad eléctrica (CE) y Sólidos disueltos totales (STD) que se unen en un clúster y difieren en distancia y similitud con el clúster de oxígeno disuelto (OD); químicamente CE y STD se relacionan negativamente con la concentración de oxígeno disuelto, es decir, cuando estos aumentan en concentración los niveles de OD disminuyen, por lo tanto, estos tres parámetros son los más discriminantes en la calidad del agua del estero Valencia.

Dado que el factor limitante para la fauna acuática es el Oxígeno Disuelto, se determinó el índice de calidad del agua para este elemento en la época seca a partir de la siguiente función de transformación:

**Figura 4.5. Índice de calidad ambiental para el Oxígeno Disuelto.**



Como se observa en la Figura 4.5 la concentración promedio de oxígeno disuelto medido *in situ* de 4,58 mg/dm<sup>3</sup> indicando que la calidad del agua del estero Valencia se ha deteriorado en 56%.

Los niveles de concentración de oxígeno disuelto encontrados durante los meses de monitoreo se ubican por debajo de los 5 mg/l exigidos en la normativa nacional "*Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios*"; sin embargo si tomamos en cuenta la Tabla propuesta por la EPA (1999), la calidad del agua del estero Valencia es buena para la mayoría de especies y organismos acuáticos, condición que varía en función del caudal, época del año, las condiciones ambientales y procesos físicos, químicos y biológicos que se producen en el estero.

**Tabla 4.13. Índices de Oxígeno disuelto sobre la fauna acuática.**

NIVEL DE OD (en ppm) A 20 °C	CALIDAD DEL AGUA	CONDICIÓN
0,0 – 4,0	Malo	Población de macroinvertebrados en descenso. Muerte masiva de la población de organismos aeróbicos sensibles. Eutrofización en proceso
4,1 – 7,9	Bueno	Adecuado oxígeno disuelto para la vida de la inmensa mayoría de las especies y otros organismos acuáticos
8,0 – 12,0	Aceptable	
12,0 o más	Excelente	Sistemas bióticos en el medio de la producción fotosintética

Fuente: tomado de Foster D. y Fabryck A. Article EPA, 1999

#### 4.3.2.2 Calidad del Agua Superficial – Aforode gasto líquido

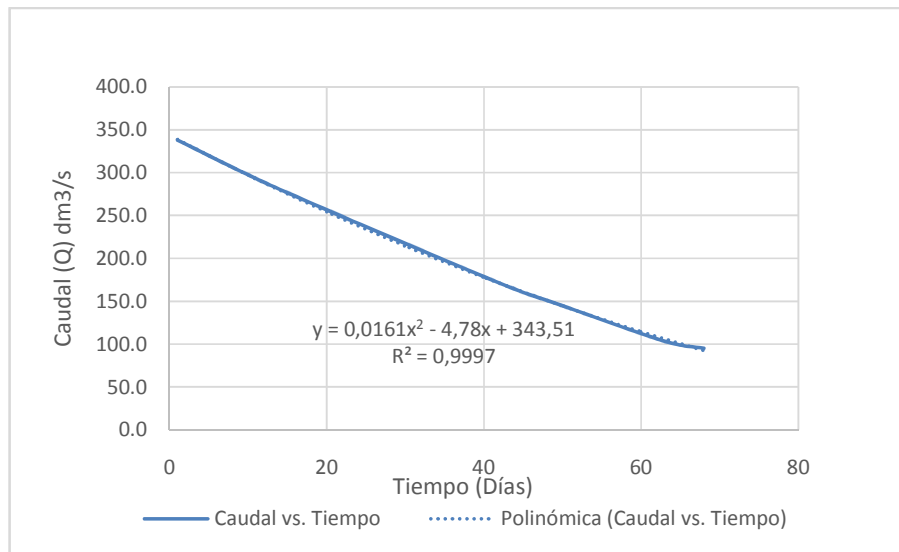
La Tabla 4.14 muestra los caudales obtenidos de los 4 aforos realizados; se observa una disminución progresiva del caudal del estero Valencia, explicado por la acentuación de los meses “secos” (época seca), manteniéndose solo con el aporte del caudal del agua subterránea.

**Tabla 4.14. Caudales Estero Valencia.**

FECHA	DÍA	CAUDAL (dm <sup>3</sup> /s)
04 – ago – 12	1	338,1
18 – ago – 12	14	280,7
15 – sep – 12	42	171,1
24 – sep – 12	50	144,9
07 – oct – 12	63	103,3
12 – oct – 12	68	95,1

Elaborada por: BonifazA. (2012).

**Figura 4.6. Variación del Caudal con el Tiempo.**



Elaborado por: BonifazA. (2012).

Con los datos obtenidos de la medición de caudales se generó la función matemática de tipo polinómica que describe la variación del Caudal (Q) con el Tiempo, como se observa en la Figura 4.6.

El modelo establecido corresponde a la ecuación de segundo grado de tipo polinómico:

$$y = 0,016x^2 - 4,78x + 343,5$$

Donde:

$x$  = tiempo en días;

343,5 = coeficiente ortogonal (a) o pendiente;

4,78 = coeficiente ortogonal (b);

0,016 = coeficiente ortogonal (c); y,

$y$  = caudal en  $\text{dm}^3/\text{s}$ .

Con un coeficiente de Determinación  $R^2 = 0,999 \approx 1 = 100\%$

#### 4.3.2.3 Relación entre el Caudal (Q) y el Oxígeno Disuelto (OD)

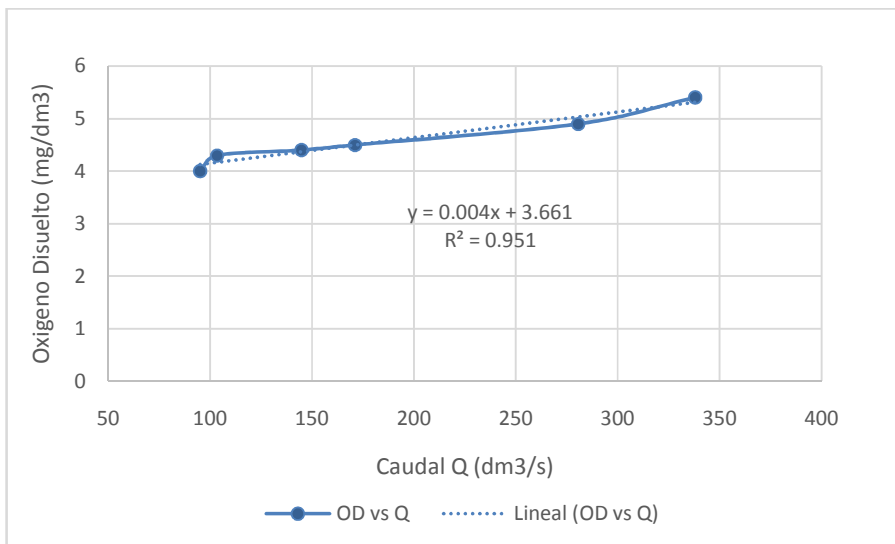
Conforme disminuye el caudal se observa una disminución en los niveles de Oxígeno disuelto del Estero Valencia (Tabla 4.15.) los mismos que se encuentran fuera de los límites permitidos por la normativa vigente expresada en el Anexo 1 de la Calidad del Agua del TULSMA para la Preservación de flora y fauna en aguas dulces cálidas.

**Tabla 4.15 Variación de la concentración de Oxígeno Disuelto vs. Caudal Estero Valencia.**

FECHA	CONCENTRACIÓN OD mg/dm <sup>3</sup>	CAUDAL Q dm <sup>3</sup> /s	TULSMA*
04-ago-12	5,4	338,1	>5 mg/dm <sup>3</sup>
18-ago-12	4,9	280,7	
15-sep-12	4,5	171,1	
24-sep-12	4,4	144,9	
07-oct-12	4,3	103,3	
12-oct-12	4,0	95,1	

\*Criterio de Calidad del Agua para preservación de Flora y Fauna en aguas dulces cálidas

**Figura 4.7. Variación del Oxígeno Disuelto vs. Caudal.**



Elaborado por: BonifazA. (2012).

Con los valores de Oxígeno Disuelto OD medidos *in situ* se estimó la variación del OD con el caudal Q, mediante un modelo lineal, como se muestra en la Figura 4.7.

El modelo obtenido corresponde a una ecuación lineal:

$$y = 0,0049x + 3,6617$$

Donde:

x = Caudal;

0,0049= pendiente de la recta;

3,6617= intercepto; y,

y = concentración de oxígeno disuelto

Con un coeficiente de Determinación  $R^2 = 0,951 = 95,1\%$

#### *4.3.2.4 Caracterización de las aguas superficiales – Estero Valencia*

La caracterización de las aguas del estero Valencia incluyó tres muestras con catorce parámetros físico – químicos cada una; Se realizó la prueba de “t” Student para verificar consistencia de los datos medidos (Ver Tablas 4.17. y 4.18.). A continuación se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 4.16. Caracterización del agua Estero Valencia.**

No.	Parámetro	Unidad Medida	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	Promedio	*TULSMA	**OMS 1993	***EPA
1	Temperatura	°C	28,8	30,2	30,1	29,7	Condiciones naturales + 3 Máxima 32		
2	Oxígeno disuelto	mg/ dm <sup>3</sup>	3,3	3,1	3,2	3,2	No < al 60% y no <5 mg/l	>75% conc. Sat. (a)	--
3	Potencial de hidrógeno	---	6,3	6,4	6,3	6,3	6,5 – 9	6,5 – 8,5 (a)	6,5 – 9,0
4	Conductividad eléctrica	µS/cm	138,5	149	141,4	143,0		250	
5	STD	mg/ dm <sup>3</sup>	64,7	66,8	66,4	66,0			100
6	Turbidez	NTU	3,5	3,62	3,61	3,58	(a)	< 5 (a)	
7	Fosfatos (PO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	73,3	74,6	75,7	74,5			---
8	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	19,7	21,2	23,6	21,5		50	---
9	Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	2,2	2,6	2,49	2,43			
10	Hierro Total (Fe)	mg/ dm <sup>3</sup>	11,7	12	12,3	12,0	0,3	0,3 (a)	1,0
11	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	15,7	17,5	20,8	18,0		500	---
12	Cadmio (Cd)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,73	0,76	0,82	0,77	0,001	0,03	0,016
13	Plomo (Pb)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,04	0,04	0,05	0,043	----	0,01	0,08
14	DBO <sub>5</sub>	mg/ dm <sup>3</sup>	--	--	50.2	50,2			30

(a) Cond. Nat (fondo) más 5% si la UNT varía entre 0 y 50

\* TULSMA. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario

\*\* Lenntech BV. 1998 – 2012. Tabla Comparativa de Estándares de calidad del agua de la OMS; (a) No hay directriz, pero es deseable

\*\*\* ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. US. Recommended Ambient Water Quality Freshwater

**Tabla 4.17. Prueba de “t” para los análisis 1 y 2 de lestero Valencia.**

Función: T-TEST	
MUESTRA 1	MUESTRA 2
Variable 1:Est Val 1	Variable 2:Est Val2
Casos:1 al 13	Casos:1 al 13
Media:28,344	Media:29,832
Varianza:1663,874	Varianza:1878,465
Desviación Estándar:40,791	Desviación Estándar:43,341
T-TEST FOR THE HYPOTHESIS “MEAN 1 = MEAN 2”	
Varianza de la diferencia entre medias	0,6110
Diferencia de la Desviación Estándar	0,7817
Valor de “t”	-1,9042
Grados de libertad efectivos	12
Probabilidad de “t”	0,0811
Result: <b>Non-Significant t – Accept the Hypothesis</b>	
Confidence limits for the difference of the means (for alpha=0.05): 1,488 plus or minus 1,703(-0,215 through 3,192)	

**Tabla 4.18. Prueba de “t” para los análisis 2 y 3 de lestero Valencia.**

Función: T-TEST	
MUESTRA 2	MUESTRA 3
Variable 2:Est Val 2	Variable 3:Est Val 3
Casos:1 al 13	Casos:1 al 13
Media:29,832	Media:29,752
Varianza:1878,465	Varianza:1728,595
Desviación Estándar:43,341	Desviación Estándar: 41,576
T-TEST FOR THE HYPOTHESIS “MEAN 1 = MEAN 2”	
Varianza de la diferencia entre medias	0,4861
Diferencia de la Desviación Estándar	0,6972
Valor de “t”	0,1158
Grados de libertad efectivos	12
Probabilidad de “t”	0,9097
Result: <b>Non-Significant t – Accept the Hypothesis</b>	
Confidence limits for the difference of the means (for alpha=0.05): 0,081 plus or minus 1,519(-1,438 through 1,600)	

De la Tabla 4.16 se desprende que: se registraron elevadas temperaturas durante la toma de muestras, con un promedio de 29,7 °C este parámetro condiciona las reacciones físicas, químicas y biológicas en un cuerpo de agua; el caso más notorio es la afectación de la solubilidad del oxígeno disuelto cuyos valores medidos *in situ* fueron de 3,3; 3,1; y 3,2 con un promedio de 3,2 mg/dm<sup>3</sup> bajo estas condiciones el porcentaje de saturación del oxígeno en el agua fue de 40% en promedio. Valores menores al 60% o superiores al 125% son considerados malos para la vida acuática (Stevens Institute of Technology, 2000)<sup>67</sup>.

Además, las concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de 3 mg/dm<sup>3</sup> son estresantes para la mayoría de los animales acuáticos (Waterwatch, 2002) y como se observa, en época seca los valores de oxígeno disuelto en el estero Valencia descienden a niveles críticos muy por debajo de lo estipulado en la normativa vigente ecuatoriana (>5 mg/dm<sup>3</sup>).

El valor promedio del potencial hidrógeno (pH) fue de 6,3 es decir es se trata de un agua “ligeramente ácida” que incumple la normativa ecuatoriana y los criterios de calidad del agua de la EPA que establecen valores de pH de 6,5 a 9. Baker et al., (1990) encontró que la disminución de pH en rango de 6,0 a 6,5 provoca ligeras disminuciones en la riqueza de las especies de plancton e invertebrados de comunidades bénticas pero ningún cambio mensurable en la abundancia de la comunidad total o producción.

Los valores registrados para la conductividad eléctrica tuvieron como promedio 143 μS/cm relacionándose con el valor promedio de sólidos disueltos totales de 66 mg/dm<sup>3</sup> indicando el grado de mineralización del agua; este valor se explica debido a las elevadas temperaturas registradas durante la época de muestreo, el caudal encontrado y en menor proporción a las descargas domiciliarias vertidas en el estero.

---

<sup>67</sup> Comité Directivo Waterwatch Australia. 2002. Módulo 4 Monitoreo de la calidad del agua: Parámetros físicos y químicos. Environment Australia. Actualizado el 30-sept-2007.

Respecto a la turbidez, el valor promedio encontrado corresponde a 3,58 NTU, bajo condiciones normales es deseable de acuerdo a la OMS concentraciones < 5 UNT, aunque habitualmente de acuerdo a la época es posible encontrar valores entre 2 y 200 UNT.

El contenido de fosfatos en aguas del estero Valencia registró un valor promedio de 74,5 mg/dm<sup>3</sup> a pesar que no existe un criterio para el contenido de fosfato en agua, concentraciones por debajo de 0,15 mg/dm<sup>3</sup> previenen la eutrofización (Schulze D., et al. 2001<sup>68</sup>); según el criterio de Marín R., (1995)<sup>69</sup> los niveles de fosfatos de 10 ppm o más indican una calidad de agua “mala” y para el caso es indicador sobre todo de descargas domésticas, es el caso del estero.

Otro de los nutrientes analizados es el nitrato cuyo valor promedio registra una concentración de 21,5 mg/dm<sup>3</sup>; muy por debajo de este valor se encuentra el Amonio (NH<sub>4</sub>) con 2,43 mg/dm<sup>3</sup> como promedio.

Los valores de la concentración de Hierro fueron casi constantes siendo el valor promedio reportado de 12,0 mg/dm<sup>3</sup> que como se observa en la Tabla 4.3.11 sobrepasa con los límites establecidos en el TULSMA para este elemento (0,3 mg/dm<sup>3</sup>), de la OMS y EPA (0,3 y 1 mg/dm<sup>3</sup> respectivamente).

La concentración promedio de sulfatos se encuentra en 18 mg/dm<sup>3</sup> siendo indicador de vertidos urbanos, además tiene una relación directa con ciertos metales pesados pudiendo formar precipitados o solubilizar metales en función del pH, es el caso de la concentración de Cadmio encontrado en el estero, situación que se agrava debido al caudal encontrado (y aporte de aguas subterráneas), las descargas vertidas y los procesos unitarios simultáneos que se dan al interior de este cuerpo de agua.

---

<sup>68</sup> Schulze Donna, Eggers Sara, Randall Esser. 2001. Annual Report. Water Quality Studies – Red Rock and Saylorville Reservoirs Des Moines River, Iowa.

<sup>69</sup> Marín, R. 1995. Análisis de aguas y ensayos de tratamiento. Gestión y Promoción Editorial, S.A., Barcelona.

En lo referente a los metales pesados, el Cadmio registró un valor promedio de 0,77 mg/dm<sup>3</sup> sobrepasando ampliamente la normativa vigente de 0,001 mg/dm<sup>3</sup>; a diferencia del Plomo cuyas concentraciones dieron como promedio 0,043 mg/dm<sup>3</sup> para este último elemento no existe un valor límite contemplado en la normativa ecuatoriana.

Los valores de DBO<sub>5</sub> registrados se encuentran en orden de 50,2 mg/dm<sup>3</sup>. Valores entre 20 – 100 mg/dm<sup>3</sup> indican que se trata de un agua levemente contaminada (Aenor, 1997)<sup>70</sup> las concentraciones de DBO bien se podrían correlacionar con las concentraciones de conductividad eléctrica, amonio, nitratos y fosfatos.

#### 4.3.2.5 Calidad del Agua Subterránea – Monitoreo Pozo Artesiano

El resultado del monitoreo se presenta en la Tabla 4.19., cabe indicar que el parámetro Oxígeno Disuelto (OD) se tomó considerando su importancia en la capacidad de oxidación de diferentes especies químicas presentes en el agua.

**Tabla 4.19. Parámetros físicos y químicos tomados *in situ* en Pozo Artesiano.**

FECHA	PROF. POZO	OD mg/dm <sup>3</sup>	TEMP °C	CE µS/cm	STD mg/dm <sup>3</sup>	pH
20-jul-12	5 m	2,5	23,1	141,2	66	6,0
04-ago-12		2,6	21,4	142,6	68	5,8
18-ago-12		2,4	24,7	145,4	69	6,0
15-sep-12		2,3	26,7	151,2	69	6,1
24-sep-12		2,3	26,5	152,9	70	6,0
07-oct-12		2,4	24,5	155,6	72	6,1
12-oct-12		2,4	25,5	156,6	72	6,0

Elaborada por: Bonifaza. (2012).

<sup>70</sup>Aenor. 1997. Calidad del agua (en línea). Madrid.

Los valores obtenidos de cada parámetro fueron tabularon utilizando el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis Factorial para observar las Comunalidades; luego de la primera extracción se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4.20. Matriz de Factores Rotados (Varimax) y Comunalidades de las variables monitoreadas en el pozo de agua subterránea.**

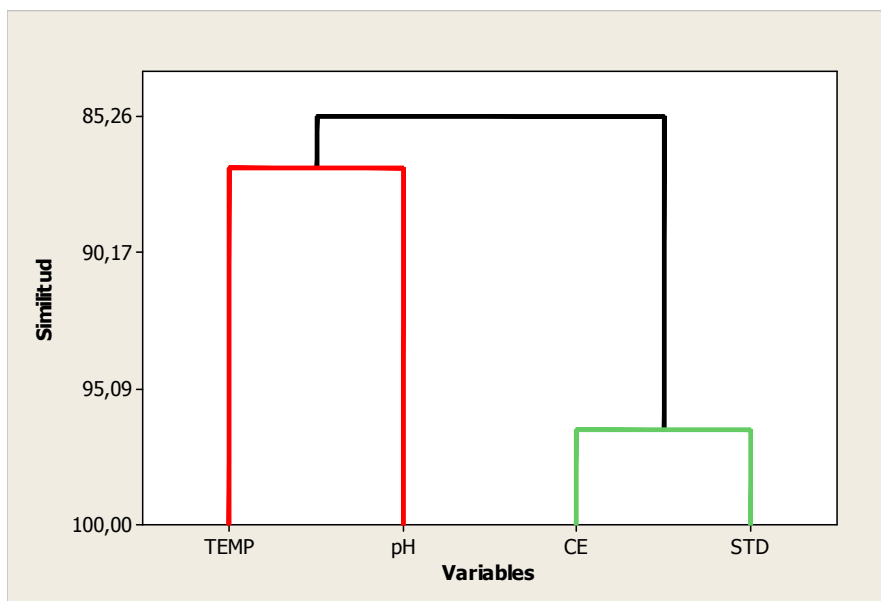
<b>Variable</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Comunalidad</b>
TEMP <sub>agua</sub>	0,369	0,854	0,865
CE	0,887	0,443	0,983
STD	0,973	0,186	0,982
pH	0,192	0,926	0,894
<b>Varianza</b>	1,9078	1,8164	3,7243
<b>% Var</b>	47,7	45,4	93,1

La Tabla 4.20 presenta la varianza para cada factor: los dos primeros factores explican el 93,1% del total de la varianza; de hecho, el primer factor bien podría denominarse *sustancias ionizadas presentes en el agua*.

A pesar de que la composición de las aguas subterráneas obedece a la interacción agua – medio, las variables más discriminantes, que condicionan su calidad en el área de estudio y explican su variación en el espacio y en el tiempo son la Conductividad eléctrica y Sólidos disueltos totales cuyos coeficientes de puntuación son 0,887 y 0,973 respectivamente, es por esto que se constituyen en indicadores de vertidos y evaluadores de la calidad del agua. El segundo factor corresponde a: Temperatura y pH con Comunalidades de 0,865 y 0,894 respectivamente.

Lo indicado puede observarse con claridad en el Análisis de Conglomerados, cuyo Dendograma se presenta en la Figura 4.8.

**Figura 4.8. Dendograma con enlace simple y distancia del coeficiente de correlación.**



Elaborado por: Bonifaz A. A. (2012).

#### 4.3.2.6 Caracterización de las aguas subterráneas

Dada la cercanía del vertedero con la fuente de abastecimiento de agua para uso y consumo humano y la elevada posibilidad de que los lixiviados estén afectando la calidad del agua subterránea, se realizó una caracterización de las mismas que conllevó a la toma de tres muestras con catorce parámetros físico – químicos, los resultados se muestran en la Tabla 4.21.

Para verificar consistencia de los datos medidos se realizó la prueba de “t” Student (Ver Tablas 4.22. y 4.23.).

**Tabla 4.21. Caracterización física y química del agua subterránea – Pozo artesiano.**

No.	Parámetro	Unidad Medida	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	PROMEDIO	*TULSMA	**OMS	***EPA
1	Temperatura	°C	26,4	26,8	26,6	26,6	Condición Natural+o – 3 grados		
2	Oxígeno disuelto	mg/dm <sup>3</sup>	2,3	2,3	2,1	2,2	No <al 80% del O <sub>2</sub> de saturación y no < a 6mg/l		
3	Potencial de hidrógeno	---	5,9	5,7	6,0	5,9	6 – 9	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
4	Conductividad eléctrica	µS/cm	157,3	162,3	162,1	160,6			
5	STD	mg/ dm <sup>3</sup>	71,1	73	73	72,4	1000	500 – 1000	500
6	Turbidez	NTU	1,07	1,08	1,1	1,08	100	1 – 5	0,5 – 1
7	Fosfatos (PO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	0,004	0,005	0,005	0,005			
8	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	5,17	5,25	5,23	5,22	10	50	50
9	Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	0,076	0,082	0,08	0,079	0,05		
10	Hierro Total (Fe)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,140	0,144	0,131	0,138	1	0,3	0,3
11	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	16,8	17,3	17,2	17,10	400	200 – 400	250
12	Cadmio (Cd)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,004	0,006	0,003	0,004	0,001	0,003	0,005
13	Plomo (Pb)	mg/ dm <sup>3</sup>	<0,0016	<0,0017	<0,0016	0,002	0,05	0,01	0,05
14	Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	34,5	34,6	34,3	34,5	500		

\*TULSMA: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

\*\*OMS. 1996. Guidelines for drinking – Water Quality

\*\*\*EPA. 2000. Criterios De calidad del agua para consumohumano

**Tabla 4.22. Prueba de “t” para las muestras 1 y 2 del pozo artesiano.**

Función: T-TEST	
MUESTRA 1	MUESTRA 2
Variable 1:poz-sub 1	Variable 2:poz-sub 2
Casos:1 al 13	Casos:1 al 13
Media:22,0295	Media:22,5968
Varianza:2045,0149	Varianza:2170,9553
Desviación Estándar:45,2218	Desviación Estándar:46,5935
T-TEST FOR THE HYPOTHESIS “MEAN 1 = MEAN 2”	
Varianza de la diferencia entre medias	0,1464
Diferencia de la Desviación Estándar	0,3826
Valor de “t”	-1,4829
Grados de libertad efectivos	12
Probabilidad de “t”	0,1639
Result: <b>Non-Significant t – Accept the Hypothesis</b>	
Confidence limits for the difference of the means (for alpha=0,05): 0,567 plus or minus 0,834(-0,266 through 1,401)	

**Tabla 4.23. Prueba de “t” para los análisis 1 y 3 del pozo artesiano.**

Función: T-TEST	
MUESTRA 1	MUESTRA 3
Variable 1:poz-sub 1	Variable 3:poz-sub 3
Casos:1 al 13	Casos:1 al 13
Media:22, 0295	Media:22,6111
Varianza:2045,0149	Varianza:2175,2659
Desviación Estándar:45,2218	Desviación Estándar: 46,6397
T-TEST FOR THE HYPOTHESIS “MEAN 1 = MEAN 2”	
Varianza de la diferencia entre medias	0, 1574
Diferencia de la Desviación Estándar	0, 3968
Valor de “t”	-1,4659
Grados de libertad efectivos	12
Probabilidad de “t”	0,1684
Result: <b>Non-Significant t – Accept the Hypothesis</b>	
Confidence limits for the difference of the means (for alpha=0,05): 0,582 plus or minus 0,864(-0,283 through 1,466)	

De la Tabla 4.21 se desprende: los valores de temperatura registrados se encuentran en promedio de 26,6 °C las mismas que están en función de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura del entorno.

Respecto al Oxígeno Disuelto el valor promedio es de 2,2mg/dm<sup>3</sup>, valores considerados normales para aguas subterráneas y no son significativos; la OMS y EPA no han emitido valores de referencia relativos a la aceptabilidad del OD en agua de consumo, sin embargo es un parámetro que puede incidir sobre procesos químicos al interior del área de confinamiento. En el TULSMA, Tomo V, Tabla 1 se establece como criterio de calidad un valor límite de 6mg/l.

El valor promedio del pH corresponde a 5,9 constituyéndose en un agua ligeramente ácida.

La Conductividad Eléctrica presentó un promedio de 160,6µS/cm durante el período de estudio; Se estima que el aumento de temperatura en 1° C aumente en 2% el valor de la conductividad, sólo en la parte superior de la columna de agua; El valor promedio para Sólidos Disueltos Totales corresponde a 72,4mg/dm<sup>3</sup>

En tanto que el promedio encontrado para turbidez fue de 1,08 NTU, muy por debajo del límite establecido por la legislación ambiental ecuatoriana de 100 UNT e incluso de la OMS 1 – 5 UNT; no obstante sobrepasa la normativa EPA mucho más estricta de 0,5 a 1 UNT.

Respecto a los nutrientes, el valor promedio de Fosfato (PO<sub>3</sub>) fue de 0,005mg/dm<sup>3</sup> para este parámetro no existe criterio de calidad en las tres normativas de referencia; su presencia es debida probablemente al uso de fertilizantes fosfatados en el área de influencia directa y al arrastre del mismo por cuanto este compuesto presenta baja solubilidad.

Los Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) se encuentran en promedio de  $5,22\text{mg}/\text{dm}^3$  muy por debajo del límite establecido por el TULSMA de  $10\text{ mg}/\text{dm}^3$  y de la OMS y EPA con valores límites de  $50\text{ mg}/\text{dm}^3$ ; El ión Amonio ( $\text{NH}_4$ ) tuvo una concentración promedio de  $0,079\text{mg}/\text{dm}^3$  parámetro que se encuentra fuera del límite permitido por el TULSMA de  $0,05\text{mg}/\text{dm}^3$ ;

La presencia de nitratos y amonio en las aguas subterráneas constituyen dos indicadores de la infiltración de contaminantes del vertedero; de acuerdo a Nolan (2001) los nitratos representan el nutriente que más comúnmente contamina a los acuíferos, porque son solubles en agua, pueden lixiviarse con facilidad a través del suelo y persisten por décadas en las aguas subterráneas poco profundas; además la concentración de nitratos en agua subterránea que no ha sido contaminada por las actividades humanas es menor de  $2\text{ mg}/\text{L}$  (Mueller y Hesel 1996).

El valor promedio de Hierro Total encontrado en el agua subterránea fue de  $0,138\text{mg}/\text{dm}^3$

Los Sulfatos se encuentran dentro de los límites permitidos en la normativa ecuatoriana, así como de la OMS y EPA con un valor promedio  $17,1\text{ mg}/\text{dm}^3$ .

De los metales pesados analizados: La concentración promedio de Cadmio fue de  $0,004\text{ mg}/\text{dm}^3$  observándose un incumplimiento de la normativa ecuatoriana cuya concentración límite es de  $0,001\text{mg}/\text{dm}^3$  mucho más estricta que la normativa de la OMS y EPA con  $0,003\text{mg}/\text{dm}^3$  y  $0,005\text{mg}/\text{dm}^3$  respectivamente; la concentración promedio de Plomo registrada fue de  $0,002\text{ mg}/\text{dm}^3$  valor que no incumple el TULSMA, la OMS y EPA.

La Dureza presenta un promedio general de  $34,5\text{ mgCaCO}_3/\text{dm}^3$ , de acuerdo a la clasificación del agua por la dureza es un agua blanda.

#### 4.3.2.7 Relación entre los lixiviados generados en el vertedero municipal y las aguas superficiales y subterráneas del sector

A efectos de determinar los parámetros más discriminantes que inciden en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y establecer su relación con los lixiviados del vertedero de la ciudad de Valencia se utilizaron los valores promedios de los análisis efectuados para realizar un Análisis de Componentes Principales (ACP), luego de la tercera extracción se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4.24. Análisis de Componentes principales de las variables monitoreadas en: lixiviado, agua superficial y subterránea.**

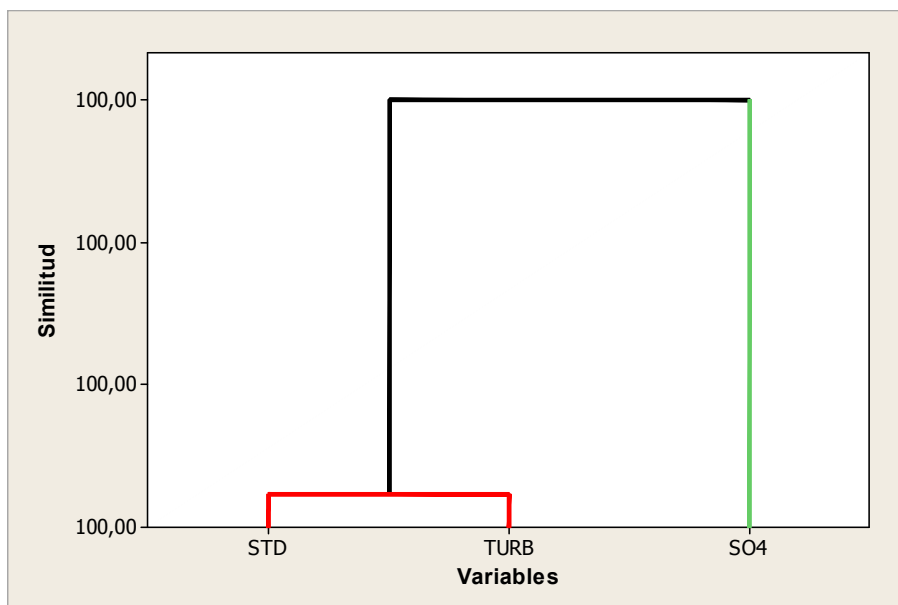
Variable	PC 1	PC 2
STD	0,577	-0,563
TURB	0,577	-0,231
SO <sub>4</sub>	0,577	0,794
<b>Valor propio</b>	2,999	0,0001
<b>Proporción Varianza</b>	1,000	0,000
<b>% Var. Acum.</b>	1,000	1,000

Elaborada por: Bonifaz A. (2012).

De la Tabla 4.24., se desprende que los dos primeros componentes principales (PC1, PC2) son los más importantes y explican el 100% de la varianza, sin embargo en el segundo componente principal los vectores propios correspondientes a STD y Turbidez tienen signo negativo, por lo tanto, la variable más discriminante de acuerdo a este análisis es el SO<sub>4</sub>

Para verificar lo ya expuesto se realizó un Análisis de Clúster o Conglomerados con las variables en mención, verificando de esta manera lo ya anotado (Figura 4.9.).

**Figura 4.9. Dendograma con enlace promedio y Distancia del coeficiente de correlación.**



Elaborada por: BonifazA. (2012).

### 4.3.3 Comprobación / Disprobación de la Hipótesis

La hipótesis planteada en este trabajo fue: “El lixiviado generado en el Vertedero Municipal de Valencia afecta negativamente a la calidad del agua superficial y subterránea del sector”

Las variables de investigación fueron las siguientes:

- Variable independiente: Lixiviado generado
- Variable dependiente: Calidad del agua superficial (A) y subterránea (B)

Para la comprobación de la hipótesis se procedió a separar los parámetros que superan los valores establecidos como límites en el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA).

**Tabla 4.25. Concentración promedio de Parámetros que incumplen la normativa ecuatoriana respecto de la calidad del agua superficial y subterránea.**

No.	Parámetro	Unidad Medida	A	*TULSMA	B	**TULSMA
1	Oxígeno disuelto	mg/dm <sup>3</sup>	3,2	No < al 60% y no <5 mg/l	2,2	No <al 80% del O <sub>2</sub> de saturación y no <6mg/l
2	pH	---	6,3	6,5 – 9	5,9	6 – 9
3	Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/ dm <sup>3</sup>	---	---	0,079	0,05
4	Hierro Total (Fe)	mg/ dm <sup>3</sup>	12,0	0,3	---	---
5	Cadmio (Cd)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,77	0,001	0,004	0,001
6	<sup>(a)</sup> Plomo (Pb)	mg/ dm <sup>3</sup>	0,043	---	---	---

\* TULSMA. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario

\* TULSMA: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

<sup>(a)</sup> Tabla Comparativa de Estándares de calidad del agua de la OMS 1993: Valor límite para Pb es 0,01 mg/ dm<sup>3</sup>

De los análisis efectuados para determinar la calidad del agua superficial (A) y subterránea (B) se puede observar en la Tabla 4.25., que seis parámetros no se enmarcan en la normativa ecuatoriana referentes a calidad del agua superficial y aguas de consumo humano y uso doméstico (pozo de agua subterránea); respecto a las aguas superficiales especial atención merecen las elevadas concentraciones de Cadmio, Hierro y Plomo así como los valores de Oxígeno disuelto y pH que se encuentran por debajo de la norma.

En el caso de las aguas subterráneas (a 213 m del vertedero) la determinación de la relación lixiviado – aguas subterráneas puede establecerse debido a la concentración del ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), así como las concentraciones de Cadmio, que caracterizan al lixiviado y los bajos valores de oxígeno disuelto y pH.

Por lo ya expuesto, se acepta la hipótesis planteada de que “el lixiviado generado en el Vertedero Municipal de Valencia afecta negativamente a la calidad del agua superficial y subterránea del sector”.

**CAPÍTULO**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos específicos planteados en el Capítulo 1 se concluye lo siguiente:

- La cantidad anual de lixiviado calculado en el vertedero de RSU de la ciudad de Valencia es de 1270,6 mm/año; la relación DBO/DQO de 0,47 indica que se trata de un lixiviado parcialmente estabilizado fácilmente tratable.

La caracterización del lixiviado demuestra que de los quince parámetros analizados, cinco incumplen la norma sobre descarga de un efluente a un cuerpo de agua dulce: Ortofosfatos ( $75,4 \text{ mg/dm}^3$ ), Hierro ( $69,6 \text{ mg/dm}^3$ ), Cadmio ( $1,17 \text{ mg/dm}^3$ ), DBO ( $1719,8 \text{ mg/dm}^3$ ), DQO ( $3639,7 \text{ mg/dm}^3$ ); para Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, STD, Turbidez, Nitratos y Amonio no hay normativa expresa.

Los altos valores de pH (8,1) y la concentración de metales pesados, esto es Hierro ( $69,6 \text{ mg/dm}^3$ ), Cadmio ( $1,17 \text{ mg/dm}^3$ ) y Plomo ( $0,11 \text{ mg/dm}^3$ ) en el lixiviado se debe a la coexistencia de las fases acidogénica y metanogénica, dado que el vertedero se encuentra activo, y en la parte baja del mismo se mezclan lixiviados de diferentes edades.

- La calidad de las aguas del estero Valencia durante los meses de estiaje (de junio a noviembre) se vuelve crítica provocando un impacto ambiental negativo para la vida acuática, esto se demuestra por medio de los valores de: oxígeno disuelto ( $3,2 \text{ mg/dm}^3$ ), potencial de hidrógeno ( $6,3 \text{ mg/dm}^3$ ), hierro ( $12,0 \text{ mg/dm}^3$ ), cadmio ( $0,77 \text{ mg/dm}^3$ ) y plomo ( $0,043 \text{ mg/dm}^3$ ) encontrados en los monitoreos realizados durante esta investigación, valores que no se enmarcan dentro de la normativa ecuatoriana, OMS y EPA.

La concentración del oxígeno disuelto (OD) en el estero Valencia se ve influenciada por la época seca del año la misma que produce la disminución del caudal (72%), y las elevadas temperaturas del agua registradas durante los últimos meses (agosto – diciembre/2012) de realización del estudio (29,7 °C promedio), mas no por elixiviado generado en el vertedero municipal.

- La calidad del agua del pozo artesiano muestreado se encuentra alterada por la migración del lixiviado, ratificado en las elevadas concentraciones de amonio (0,079 mg/dm<sup>3</sup>) y cadmio (0,004 mg/dm<sup>3</sup>) que superan los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional.
- A partir de los resultados obtenidos se elaboró el Programa de Manejo del Lixiviado para el vertedero municipal de la ciudad de Valencia.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Asumir los puntos de control sugeridos en esta investigación para el monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea.
- Aplicar el Programa de Manejo de lixiviados del vertedero municipal de la ciudad Valencia establecido en el presente estudio para reducir la carga contaminante y recuperar ese importante curso de agua.

# **CAPÍTULO VI**

## **PROPUESTA ALTERNATIVA**

## **6.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA**

PROGRAMA DE MANEJO DE LIXIVIADOS DEL VERTEDERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE VALENCIA

## **6.2 JUSTIFICACIÓN**

El impacto ambiental negativo que provocan los vertederos no controlados, esto es, sin las consideraciones técnicas de ubicación, manejo y operación, contaminan el suelo – aguas subterráneas, aguas superficiales y el aire, siendo necesario determinar los mecanismos más propicios para contrarrestar o mitigar dicha afectación. Esta propuesta se justifica desde el punto de vista ambiental, social y económico, puesto que el manejo de los lixiviados reducirá los efectos negativos en las aguas subterráneas y superficiales, minimizando los riesgos de afectaciones a la salud de la población local y al entorno natural; desde el punto de vista económico, lograr la recuperación de la calidad del agua estero y de las aguas subterráneas adyacentes devolverá a los pobladores la confianza en la utilización del agua principalmente de pozos artesianos con fines domésticos, de saneamiento, riego y otros usos minimizando los costos por su uso.

## **6.3 FUNDAMENTACIÓN**

Las emisiones líquidas que se generan en los vertederos dependen principalmente de la composición de los residuos domésticos, la precipitación, actividades de compactación entre otros factores. Generalmente se condiciona el manejo de los lixiviados al momento del diseño del relleno sanitario para evitar el contacto con el suelo y las aguas; no obstante, para vertederos que no han sido planificados, el manejo técnico de los lixiviados constituye un instrumento de mitigación de las no

conformidades en los componentes ambientales suelo – agua – aire que pueden afectar la salud pública o el ambiente.

Existen diversas maneras de tratar los lixiviados en función de su caracterización física, química y/o bacteriológica; sin embargo no hay técnicas que eliminen absolutamente la generación de lixiviado y éste no representa problema, a menos que migre desde el punto de generación hacia las aguas superficiales o subterráneas.

La relación DBO/DQO obtenida de la caracterización del lixiviado del vertedero municipal de la ciudad de Valencia fue de 0,45 indicando que se trata de un lixiviado fácilmente tratable; y, tomando como referencia la información de la Tabla 4.6 Cálculo de lixiviado se procederá al diseño del sistema de tratamiento de lixiviados, tomando en cuenta lo siguiente:

- a. La distribución anual de la precipitación de la ciudad de Valencia la misma que alcanza los 2281,5 mm/año ;y,
- b. La cantidad de lixiviado generado (1270,6 mm/año) y su distribución anual;
- c. Con la implementación de esta propuesta se pretende mejorar las condiciones de vida de la ciudadanía que se encuentra principalmente en la zona de influencia del vertedero.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 Objetivo General**

Elaborar el Programa de Manejo de Lixiviados del vertedero municipal de la ciudad de Valencia.

### **6.4.2 Objetivos Específicos**

- Identificar el sistema de tratamiento más apropiado de aplicación al efluente bajo estudio;

- Establecer una red de control y monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea; y,
- Estimar el costo de implementación de la propuesta “Programa de manejo de Lixiviados”.

## **6.5 IMPORTANCIA**

El sistema de tratamiento de lixiviados evitará la mezcla de lixiviado con aguas subterráneas y superficiales y el consecuente escurrimiento hacia el estero Valencia; el efluente obtenido luego del tratamiento estará en condiciones de ser vertido directamente al estero Valencia, debido a que los principales parámetros indicadores se ajustarán a la norma nacional de descarga de efluentes referido en el TULSMA.

De esta manera la afectación a la calidad del agua superficial y subterránea se verá disminuida, y por lo tanto la regeneración natural del estero Valencia, en lo concerniente a la vida acuática (flora y fauna), y a otros usos no implicará ningún peligro a los usuarios del mismo.

Los análisis de los elementos físicos, químicos y microbiológicos propuestos, se constituirán en un indicador del grado de recuperación de la calidad del agua superficial y subterránea de la zona de estudio; el monitoreo semestral en los puntos de control darán cuenta de la efectividad del sistema de tratamiento de lixiviados propuesto.

## **6.6 UBICACIÓN SECTORIAL Y FÍSICA**

El Sistema de Manejo de Lixiviado del vertedero municipal de la ciudad de Valencia se instalará en el tramo comprendido entre el vertedero y los afloramientos del mismo en el estero Valencia (Ver Figura 6.1 y Figura 6.2.)

Figura 6.1. Ubicación del vertedero municipal de Valencia.

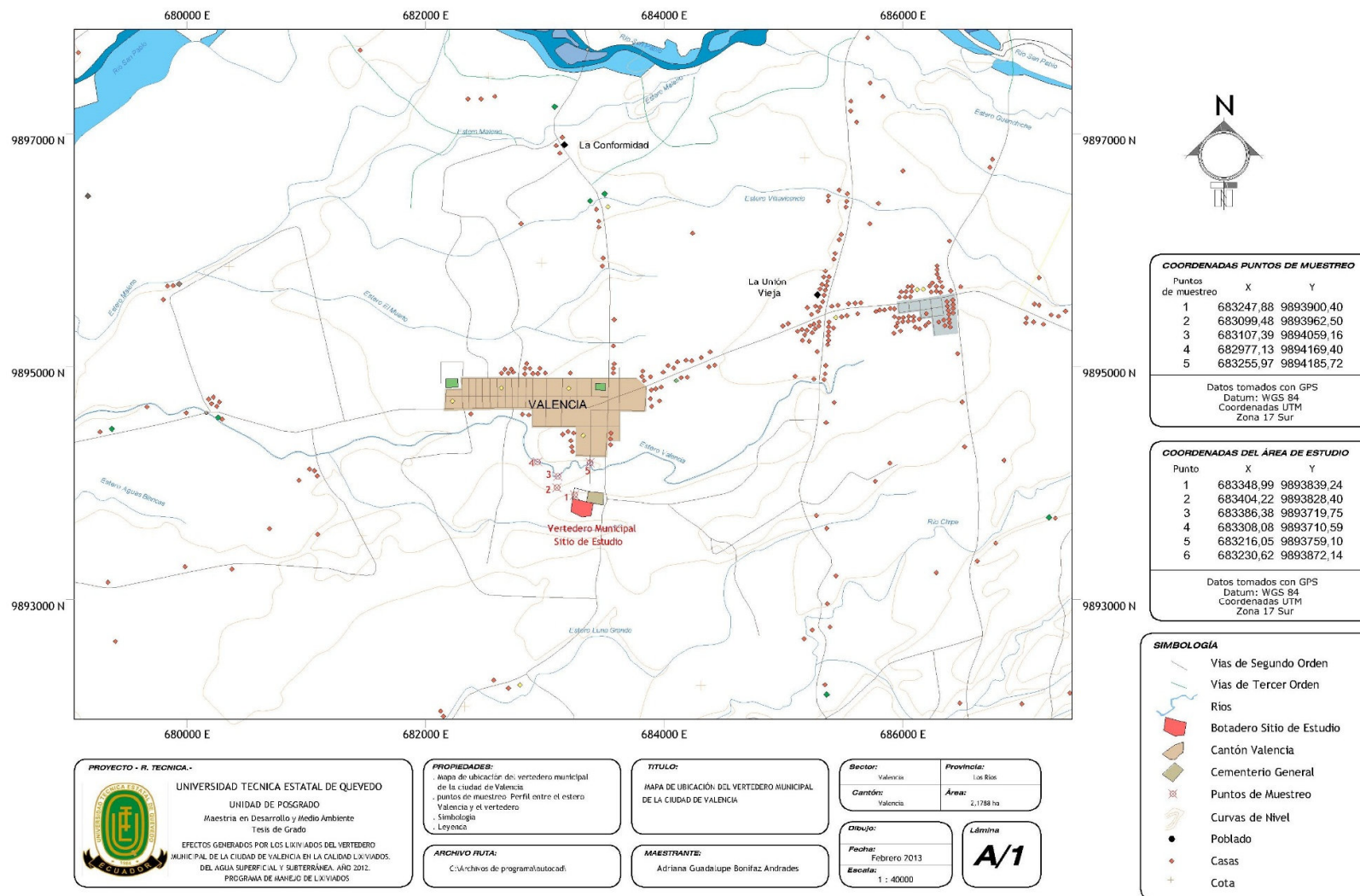
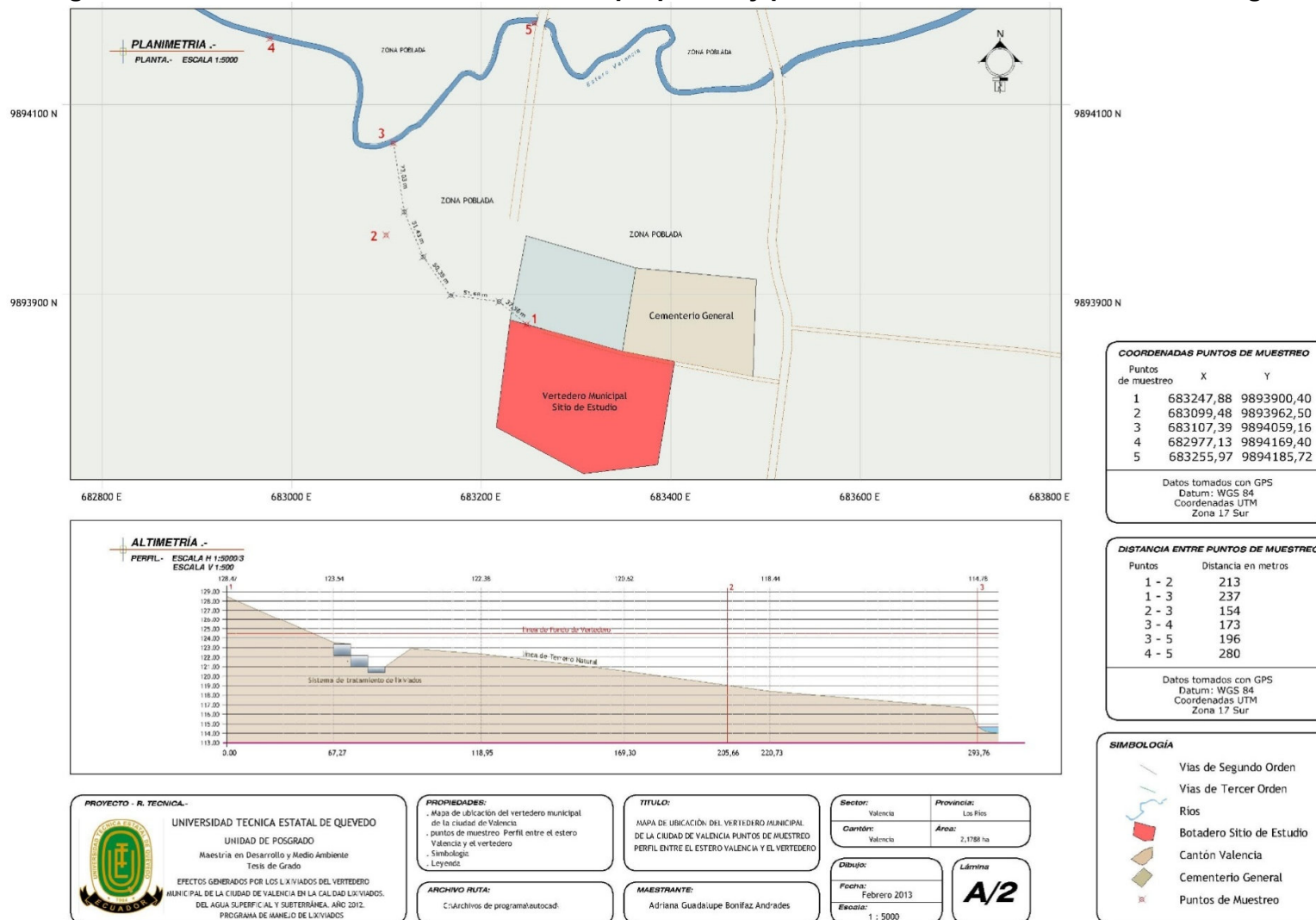


Figura 6.2. Sistema de Tramamiento de Lixiviado propuesto y puntos de muestreo de la calidad del agua.



## **6.7 FACTIBILIDAD**

Considerando los beneficios de la implementación de la propuesta del manejo de los lixiviados y el interés mostrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Valencia, la propuesta se considera viable, y los costos de su implementación serán asumidos por la Ilustre Municipalidad.

## **6.8 PLAN DE TRABAJO**

En la Tabla 6.1 se presenta el Plan de Trabajo concerniente a la implantación de la Propuesta.

**Tabla 6.1 Plan de Trabajo para la implementación de la Propuesta**

<b>No.</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>INICIO</b>	<b>TERMINACIÓN</b>	<b>COSTO (USD)</b>
1	Socialización de la Propuesta con los representantes del Departamento de Turismo y Ambiente del GAD de Valencia	Socializar la Propuesta.	Ing. Adriana Bonifaz	16/10/2012	17/10/2012	50,00
2	Establecimiento de la red de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas (estero Valencia)	Monitorear calidad del agua para verificar la recuperación del estero Valencia	Ing. Adriana Bonifaz	11/2012	11/2012	100,00
3	Preparación de cartografía temática y geo-referenciación de sitios de monitoreo.	Identificar los puntos de muestreo y parámetros a muestrear	Ing. Adriana Bonifaz	12/2012	12/2012	200,00
4	Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados	Diseñar un sistema anaerobio para tratamiento de lixiviados.	Ing. Adriana Bonifaz	01/2013	01/2013	150,00
5	Determinación de costos del sistema de tratamiento de lixiviados	Determinar los costos de implementación del sistema	Ing. Adriana Bonifaz	02/2013	02/2013	50,00
6	Implementación del sistema de tratamiento de lixiviados	Construir el sistema de tratamiento de lixiviados	GAD de Valencia	09/2013	09/2013	0,00
7	Análisis físico – químico y microbiológico del efluente tratado	Validar el sistema de tratamiento de lixiviados	GAD de Valencia	10/2013	10/2013	0,00

## 6.9 ACTIVIDADES

- a) Socialización de la Propuesta con los representantes del Departamento de Turismo y Ambiente del GAD de Valencia se realizó el 27 de diciembre de 2012.
- b) Establecimiento de la red de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas (estero Valencia)

El Protocolo de monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea establece el procedimiento a seguir para la toma de muestra de los parámetros físicos, químicos y biológicos que deberán ser enviados a un laboratorio acreditado para su respectivo análisis.

En la Tabla 6.2 se detallan los aspectos más relevantes del monitoreo.

**Tabla 6.2 Resumen de los principales aspectos del monitoreo de la calidad del agua.**

<b>COMPONENTE AMBIENTAL</b>	Agua Superficial y Subterránea
<b>MEDIDA</b>	Monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea
<b>IMPACTOS ASOCIADOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación del agua por elementos nocivos del lixiviado;</li> <li>▪ Molestia a la población por contaminación del agua;</li> <li>▪ Afectación de flora y fauna acuática;</li> <li>▪ Gastos innecesarios en sistemas de tratamiento del agua.</li> </ul>
<b>ACTIVIDAD CAUSANTE DEL IMPACTO AMBIENTAL</b>	Inexistencia de programa de manejo de lixiviados del vertedero municipal
<b>ACTIVIDAD A REALIZAR</b>	Ejecutar programa de monitoreo de calidad del agua superficial y subterránea.
<b>CLASIFICACIÓN DE LA MEDIDA</b>	
TIPO	Monitoreo ambiental
CARÁCTER	Vigilancia y Control
NATURALEZA	Complementaria
<b>UBICACIÓN ESPACIAL</b>	

<b>AREA DE INFLUENCIA DIRECTA</b>	Sectores circundantes al vertedero.
<b>ENTIDAD RESPONSABLE</b>	G.A.D. de Valencia: Departamento de Turismo y Ambiente
<b>DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA</b>	
Análisis físicos, químicos, orgánicos y bacteriológicos del agua superficial y subterránea para el mantenimiento y preservación de flora y fauna acuática en el caso de las aguas superficiales; y, garantizar la calidad del agua con fines doméstico y de esparcimiento, en el caso de las aguas subterráneas y superficiales.	

Elaborada por: BonifazA. (2012).

- *Método de Muestreo*

La toma de las muestras se deberá realizar siguiendo los procedimientos recomendados en “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” en su más reciente edición. Se deberán considerar las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN):

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2164:98. Agua: Calidad del Agua, muestreo, manejo y conservación de muestras
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del Agua, muestreo, técnicas de muestreo.

Los resultados obtenidos de los monitoreos de calidad de aguas se compararán con los valores límite establecido en el Texto Único de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) vigente, y Norma INEN 1108 – 2005.

- *Puntos de Muestreo*

Los puntos de muestreo establecidos para el agua superficial (estero Valencia) y el agua subterránea se muestran en la Lámina A2 con sus respectivas coordenadas.

- *Periodicidad de Muestreo*

La frecuencia del monitoreo para la toma de muestras de las aguas superficiales y subterráneas consideradas en la propuesta es semestral y contempla los siguientes parámetros:

**Tabla 6.3. Parámetros a monitorear en aguas superficiales y subterráneas.**

PARAMETRO	UNIDAD	AGUA SUPERF.	AGUA SUBT.
<b>a) Físicoquímicos</b>			
Temperatura	°C	X	X
Oxígeno disuelto	mg/dm <sup>3</sup>	X	
Potencial de hidrógeno	Unidades absolutas	X	X
Conductividad eléctrica	µS/cm	X	X
Sólidos disueltos totales	mg/dm <sup>3</sup>	X	X
Turbidez	FAU/NTU	X	
Amonio	mg/dm <sup>3</sup>	X	X
Cloruros	mg/dm <sup>3</sup>		X
Fosfatos	mg/dm <sup>3</sup>	X	
Nitratos	mg/dm <sup>3</sup>	X	X
Sulfatos	mg/dm <sup>3</sup>	X	
Hierro	mg/dm <sup>3</sup>		X
Cadmio	mg/dm <sup>3</sup>	X	X
Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>		X
<b>b) Microbiológicos</b>			
Coliformes Totales	NMP/100MI		X

Elaborada por: BonifazA. (2012).

Luego del cierre técnico del vertedero, la frecuencia de muestreo será de acuerdo a lo que estipula la normativa ambiental.

- *Análisis de datos e Indicadores de cumplimiento*

El análisis de datos comprende las actividades de recopilación, ordenamiento, análisis y evaluación de la información obtenida en campo y laboratorio para determinar el comportamiento de las variables analizadas a partir de la comparación con una “línea base” que en este caso constituye las caracterizaciones de la calidad del agua del estero Valencia y del pozo de agua subterránea.

Las evidencias de cumplimiento de este programa serán los reportes que contienen los parámetros analizados por los laboratorios acreditados.

c) Preparación de cartografía temática y geo-referenciación de sitios de monitoreo.

d) Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados

De la Tabla 4.6 se determinó que la cantidad de lixiviado anual es de 1270,6 mm = 1270,6 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, tomando en cuenta que el área total del vertedero municipal es de 20 000 m<sup>2</sup> la cantidad total de lixiviado anual sería de 25'411 000 dm<sup>3</sup> o 25 411 m<sup>3</sup>. Bajo esta consideración es necesario determinar la cantidad de lixiviado mensual (mes con mayor producción de lixiviado y el mes con menor producción de lixiviado).

De las Tablas 4.4 y, 4.5 se tomaron los datos de precipitación y ETP mensuales para determinar la cantidad de lixiviado mensual y diario tal como se muestra en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.4.Cantidad de Lixiviado.**

MES	LIXIVIADO dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	LIX. MENSUAL EN VERTEDERO (m <sup>3</sup> )	LIX. DIARIO EN VERTEDERO (m <sup>3</sup> )
ENE	226,0	4519,9	145,8
FEB	252,5	5049,0	180,3
MAR	269,1	5382,0	173,6
ABR	227,1	4541,1	151,4
MAY	92,0	1840,1	59,4
JUN	33,5	669,4	22,3
JUL	16,9	337,5	10,9
AGO	7,5	150,4	4,9
SEP	13,1	262,9	8,8
OCT	13,5	269,5	8,7
NOV	32,0	639,3	21,3
DIC	87,5	1749,8	56,4
<b>SUMA</b>	1270,5	25411,0	843,7
<b>PROMEDIO</b>	105,9	2117,6	70,3

Elaborada por: BonifazA. (2012).

De acuerdo a la Tabla 6.4., el caudal máximo de lixiviado corresponde al mes de febrero y es  $Q = 180,3 \text{ m}^3/\text{d}$  y el caudal medio de  $70,3 \text{ m}^3/\text{d}$

Tomando en cuenta las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (2005) para el caso específico del vertedero municipal de Valencia, se propone la instalación de un Filtro Grueso dinámico (FGDi) para la eliminación de SS y DBO<sub>5</sub>; y, de una cámara zeolítica para la eliminación de metales pesados.

### ***Filtro grueso dinámico***

*-Cámara de filtración:*

Las dimensiones del ancho de la unidad, están condicionadas por el caudal disponible para el lavado superficial y la velocidad superficial de flujo.

Cálculos:

Altura de pared de caja de filtración ( $H_f$ ):

$$H_f = H_{ls} + H_{lar} + H_{bl}$$

Donde:  $H_{ls}$  = altura del lecho de soporte (0,60m)

$H_{lar}$  = altura de lecho de arena (0,40 m)

$H_{bl}$  = altura borde libre (0,2m)

Sustituyendo:

$$H_f = 0,6 + 0,4 + 0,2 = 1,2 \text{ m}$$

*-Lecho filtrante y de soporte:*

Para el lecho filtrante (capa superior) se recomienda la siguiente granulometría y espesor.

**Tabla 6.5. Granulometría de la capa superior del lecho filtrante.**

POSICIÓN EN LA CAJA DE FILTRACIÓN	TIPO	TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	ESPESOR DE LA CAPA (cm)
Superior (arriba)	Arena fina	0,5 – 1	20
Superior (debajo)	Arena gruesa	1 – 2	20

Para el lecho de soporte se recomienda las siguientes características.

**Tabla 6.6. Granulometría del lecho del soporte.**

POSICIÓN EN LA CAJA DE FILTRACIÓN	TIPO	TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	ESPESOR DE LA CAPA (cm)
Intermedia	Grava fina	2,0 – 5,0	0,30
Inferior (fondo)	Grava gruesa	5,0 – 25,0	0,30

La velocidad de filtración varía entre los 2,0 a 3,0 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluyente menor velocidad de filtración.

*-Estructuras de entrada y de salida:*

El agua ingresa directamente al filtro donde se remueve el material grueso, SS y DBO, y luego pasa a la cámara zeolítica, donde se removerán los metales pesados.

La estructura de salida está compuesta por una tubería de drenaje ubicada en la parte inferior del lecho filtrante. Esta a su vez cumple la función de drenaje y recolección de agua filtrada.

*-Accesorios de regulación y control:*

La altura del vertedero de salida, medido a partir del lecho superficial de grava fina deber ser entre 0,03 y 0,05 m

**Tabla 6.7. Resumen de valores de diseño para FDGi.**

<b>CRITERIO</b>	<b>VALORES RECOMENDADOS</b>
Periodo de operación (h/d)*	24
Velocidad de filtración (m/h)	2
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad (m <sup>2</sup> )	2
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0,15 – 0,3
Lecho filtrante:	
▪ Longitud (m)	2,4
▪ Tamaño de gravas (mm)	Según Tablas 6.5 y 6.6
Altura del vertedero de salida (m)	0,03 – 0,05 (**)

\*En estaciones de bombeo de agua con períodos de bombeo inferiores a 24 h/día, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda a partir del cual se suministre agua de manera continua al FDGi y demás componentes.

\*\* Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.

- *Dimensionamiento*

1. Número de filtros ( $N$ ): Normalmente se consideran como mínimo 2 unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros.

2. Caudal total ( $Q_t$ ):

$$Q_t = Q_{md} + R \times Q_{md} \rightarrow 2,9 \text{ m}^3/\text{h} + (2 \times 2,9 \text{ m}^3/\text{h}) = 8,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde  $R$  = razón de flujo, corresponde a 2

$Q_{md}$  = caudal medio,  $2,9 \text{ m}^3/\text{h}$

3. Caudal del filtro ( $Q_f$ ):

$$Q_f = \frac{Q_t}{N} = \frac{8,7 \text{ m}^3/\text{h}}{2} = 4,35 \text{ m}^3/\text{h}$$

4. Caudal de diseño ( $Q_d$ ): El caudal de diseño es igual al caudal del filtro, esto es  $4,35 \text{ m}^3/\text{h}$

5. Área total de filtro ( $A_t$ ): El área total de filtro se puede obtener del caudal de diseño en  $\text{m}^3/\text{h}$  y de la velocidad de filtración.

$$A_t = \frac{Q_t}{\text{Velocidad de filtración}} = \frac{8,7 \text{ m}^3/\text{h}}{2 \text{ m}/\text{h}} = 4,35 \text{ m}^2$$

Donde: Área total del filtro =  $\text{m}^2$

Caudal total ( $Q_t$ ) =  $\text{m}^3/\text{h}$

Velocidad de filtración =  $2 \text{ m}/\text{h}$  (para mayor contaminación del agua)

6. Área del filtro de cada unidad ( $A_f$ ):

$$A_f = \frac{A_t}{N} = \frac{4,35 \text{ m}^2}{2} = 2,175 \text{ m}^2$$

## 7. Caja de filtro:

- Relación largo/ancho:  $M = L/b$ , ambos en (m)

$$\text{Donde, } b = \left(\frac{A_f}{N}\right)^{1/2} = \left(\frac{2,175 \text{ m}^2}{2}\right)^{0,5} = 1,1827 \text{ m}$$
$$M = \frac{2,40 \text{ m}}{1,1827 \text{ m}} = 2,03 \text{ m}$$

- Longitud de la caja del filtro ( $L_f$ ) =  $L \times 1,2 = 2,4 \text{ m} \times 1,2 = 2,88 \text{ m}$

El valor de la caja de recuperación de arena (que debe ser 1/5 (20%) de la longitud del filtro) se debe sumar al valor de L:

$$20\% \text{ de } 2,88 = 0,58 \text{ m}$$

$$\text{Largo Total} = \text{Long. caja de filtro} + \text{long. caja recup. de arena} = 3,46 \text{ m}$$

### **Cámara zeolítica**

Las dimensiones de la cámara zeolítica está condicionada a la capacidad de tratamiento de la clinoptilolita que es de  $1,33 \text{ l/h/m}^3$  y al peso específico del mineral  $1,7 \text{ ton/m}^3$ . En el caso puntual de Valencia se requieren dos unidades de dos ciclos con la finalidad de garantizar la retención de metales pesados (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn y Fe; Pb, Cu tan alta como 97%)<sup>71</sup>del afluente.

#### *Datos necesarios para el diseño*

Caudal total =  $8,7 \text{ m}^3/\text{h}$

Caudal de diseño de cada unidad (dos unidades) =  $4,35 \text{ m}^3/\text{h}$

Peso específico de clinoptilolita =  $1,7 \text{ ton/m}^3$

---

<sup>71</sup>5ta Conferencia Internacional sobre Zeolitas naturales, Nápoles 1997.

Capacidad de tratamiento = 1,33 l/h/kg

Tamaño de partícula (clinoptilolita) = 425 – 850  $\mu$

Material necesario para filtrado de 4,35 m<sup>3</sup>/h = 6541,4 kg

Volumen de zeolita en cada cámara = 3,84 m<sup>3</sup>

Profundidad de la cámara = 1m

Área de la cámara = 4,35 m<sup>2</sup>

Borde libre en la cámara = 0,2 m

Diseño de la Cámara zeolítica:

- Relación largo/ancho:  $M = L/b$ , ambos en (m)

$$\text{Donde, } b = \left(\frac{A_f}{N}\right)^{1/2} = \left(\frac{4,35 \text{ m}^2}{2}\right)^{0,5} = 2,175 \text{ m}$$

$$M = \frac{2,40 \text{ m}}{1,1827 \text{ m}} = 2,03 \text{ m}$$

- Longitud de la cámara ( $L_f$ ) =  $L \times 1,2 = 2,4 \text{ m} \times 1,2 = 2,88 \text{ m}$

Altura de pared de la cámara ( $H_c$ )

$$H_c = H_{lz} + H_{bl}$$

Donde:  $H_{lz}$  = altura del lecho de zeolita (1,0m)

$H_{bl}$  = altura borde libre (0,2m)

Sustituyendo:

$$H_c = 1,0 + 0,2 = 1,2 \text{ m}$$

### **Cámara de infiltración**

Para el diseño de la cámara de infiltración se consideran las siguientes medidas:

Longitud de la cámara = 2,40 m

Ancho de la cámara = 1,80 m

Profundidad efectiva de la cámara = 0,60 m

Borde libre en la cámara = 0,2 m

c) Determinación de costos del sistema de tratamiento de lixiviados

**Tabla 6.8. Construcción de dos filtros gruesos dinámicos, dos cámaras zeolíticas y una fosa de infiltración.**

<b>MOVIMIENTO DE TIERRA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO USD</b>	<b>COSTO TOTAL USD</b>
Excavación (m <sup>3</sup> )	40	9,00	360,00
Hierro 12 mm (qq)	4	48,00	192,00
Hierro 8 mm (qq)	2	40,00	80,00
Sacos de cemento (kg)	60	5,00	300,00
Arena	8 m <sup>3</sup>	15,00	120,00
Ripio	8 m <sup>3</sup>	10,00	80,00
Piedra bola No. 3 (m <sup>3</sup> )	8 m <sup>3</sup>	10,00	80,00
Tablas encofrado (4m)	25	2,75	68,75
Cuartones	17	2,00	34,00
Clavos (lb):	20	0,90	18,00
alambre amarre(lb):	20	0,90	18,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1350,75</b>
Mano de obra y dirección técnica			
Mano de obra (albañil) diario	10	24,00	240,00
Mano de obra (ayudante) diario	10	15,00	150,00
Dirección técnica	---	1000,00	1000,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1390,00</b>
<b>MATERIAL FILTRANTE</b>			
Arena fina (m <sup>3</sup> )	1,7	15	25,50
Arena gruesa (m <sup>3</sup> )	1,7	15	25,50
Grava fina (m <sup>3</sup> )	2,61	15	39,15

Grava gruesa (m <sup>3</sup> )	2,61	15	39,15
Zeolita, clinoptilolita (tn)	13	300	3900
<b>SUBTOTAL</b>			<b>4029,3</b>
Cerramiento metálico			
Malla galvanizada cocos 2'' (m)	50	1,00	50,00
Tubo galvanizado de 2''(postes principales) (m)	12	1,50	18,00
Tubo galvanizado de 1''(contravientos) (m)	12	1,25	15,00
Pernos de 1/2 '' x 1 1/2''	24	0,25	6,00
Puerta de malla	1	50	50,00
Platina de 1/4'' x 1/8''	20	0,90	18,00
Mano de obra mecánico	100	100	100,00
Muros y cinta de cemento	50	2	100,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>357,00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>7127,05</b>

Elaborada por: BonifazA. (2012).

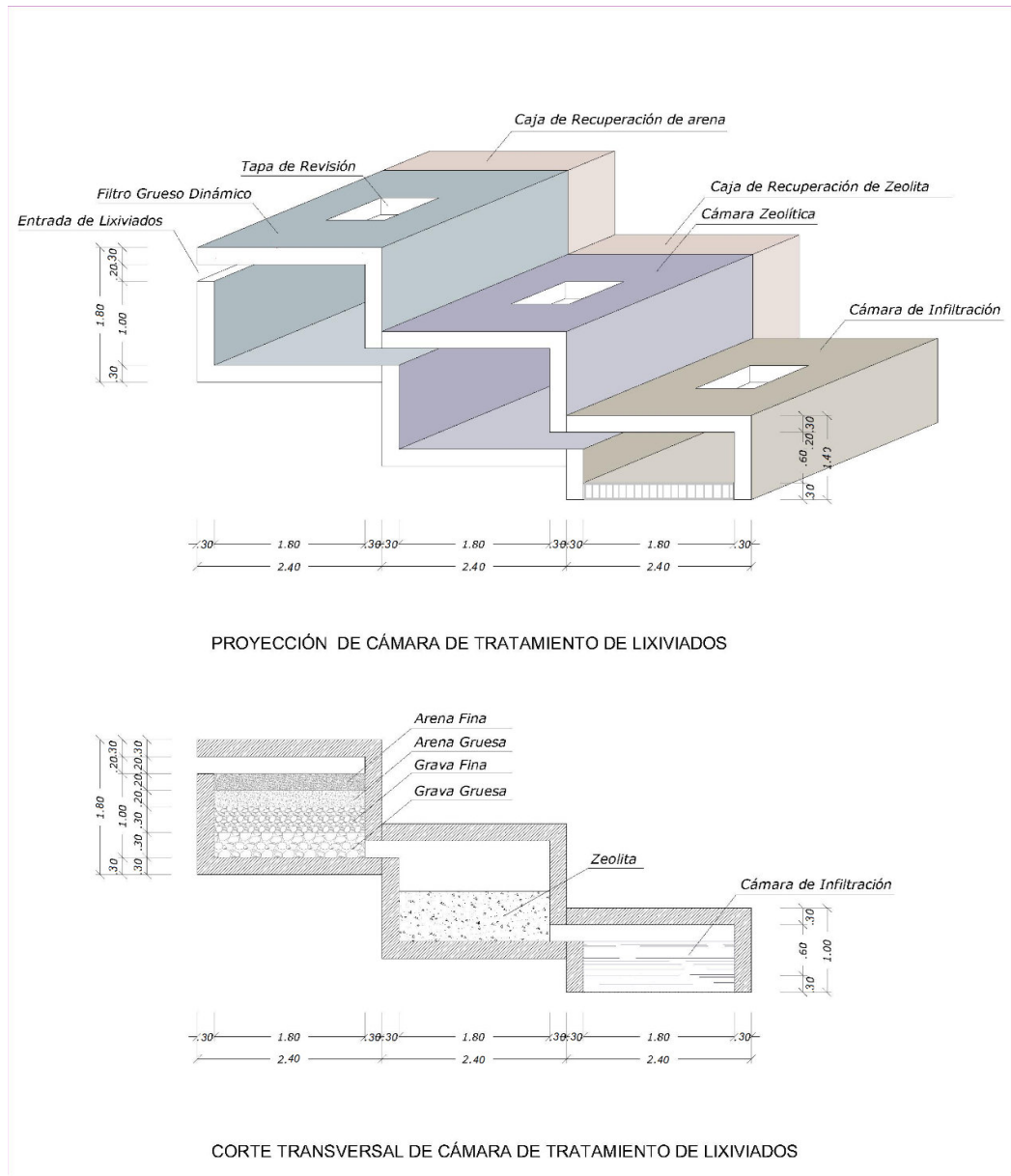
#### d) Implementación del sistema de tratamiento de lixiviados

El sistema propuesto deberá ser instalado a una distancia de 123,5 metros del vertedero en el curso del antiguo estero, entre el vertedero y los afloramientos de agua en la orilla izquierda del estero Valencia, tal como se muestra en el perfil del terreno (Figura 6.2.).

Para implementar el sistema es necesario la excavación de 40 m<sup>3</sup> en el sitio donde se instalará el filtro grueso dinámico, la cámara zeolítica y la fosa de infiltración (Ver Figura 6.3.), así como los pasillos necesarios para la operación y mantenimiento del sistema.

#### e) Análisis físico – químico y microbiológico del efluente tratado

**Figura 6.3 Sistema de Tratamiento de Lixiviado.**



Elaboración: Bonifaz A. (2013)

## **6.10 RECURSOS**

El costo de la construcción del sistema de tratamiento de lixiviado planteado en esta investigación es de 7127,05 USD que pueden ser asumidos sin dificultad por el G.A.D de Valencia considerando los beneficios directos e indirectos de la implementación de la propuesta.

## **6.11 IMPACTO**

El impacto asociado a la implementación del Sistema de Tratamiento de Lixiviados se reflejará en los aspectos: social, económico y ambiental, considerando que disminuirá el costo asociado a la recuperación de las aguas subterráneas y por ende del estero Valencia, lo que se traduce en una significativa mejora de la calidad del agua utilizada en actividades domésticas, recreativas, irrigación de cultivos, entre otros; disminuyendo de esta forma las afectaciones negativas a la salud y a la flora y fauna acuática.

## **6.12 EVALUACIÓN**

Una vez implementada la propuesta, deberá realizarse el monitoreo del afluente y de la calidad del agua superficial y subterránea en los cinco puntos establecidos para el muestreo semestralmente conforme lo establecido en la Tabla 6.2 Parámetros a monitorear en aguas superficiales y subterráneas.

La comparación con la línea base establecida en esta investigación y con la normativa ambiental, esto es "*Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional*" y "*Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario*" permitirá evaluar la eficiencia del sistema propuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABARCA F. 2002. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros sistemas acuáticos.
- Aenor. 1997. Calidad de agua. (En línea). Madrid. Consultado el 19 de junio del 2012. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- ALVAREZ A. & SUÁREZ J. 2006. Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta. Ingeniería y Desarrollo, julio – diciembre, número 20, San José de Cúcuta, Colombia. ISSN: 0122-3461.
- ALVAREZ A., RUBIÑOS E, GAVI F., ALARCÓN J., HERNÁNDEZ E, RAMÍREZC., MEJÍA E., PEDRERO F., NICOLAS E., SALAZAR E. 2006. Índices de Calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. Revista Phytón (Buenos Aires), Argentina. Versión On-line ISSN 1851-5657
- ASAMBLEA CONSTITUYENTE. 2008 Constitución del Ecuador, Montecristi.
- BASCUÑÁN C, CAMPOS – REALES E. 2011. Zeolitas naturales y sintéticas para las industrias petroquímica y agropecuaria. Elementos. Núm. 12, año 3. Vol.2; impreso en México.
- CASTRO RODRÍGUEZ Y., y otros. 2005. Situación actual de la producción de lixiviados en los vertederos provinciales de ciudad de la habana. Impacto ambiental y propuestas de sistemas de tratamiento. Cub@:Medio ambiente y Desarrollo. Año 5 No. 9.
- CASTRO VALAREZO A. 2007. Regresión Lineal. Regresión Lineal Simple.

COLINAW., RUIZ B., TORRES N., WARTON D. 2001. Boletín introductorio a la problemática de residuos sólidos urbanos. Estrucplan Consultora S.A. Argentina. Disponible en: [webmaster@estrucplan.com.ar](mailto:webmaster@estrucplan.com.ar)

Comité Directivo Waterwatch Australia. 2002. Módulo 4 Monitoreo de la calidad del agua: Parámetros físicos y químicos. Environment Australia. Actualizado el 30-sept-2007

Lenntech B.V. 2012. Tabla comparativa estándares de calidad del agua de la OMS y de la UE (en línea). Consultado el: 3 de diciembre de 2012. Disponible en: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)

ESPINOSA M., LÓPEZ M., PELLÓN A., ROBERT M., DIAZ S., GONZÁLEZ A., RODRÍGUEZ N., FERNÁNDEZ A. Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. Rev. Int. Contam. Ambient vol.26 no.4 México nov. 2010

ESPINOSA, A.& GONZÁLEZ, A. 2000. La acumulación de Basuras como material geotécnico II: Comportamiento de las Basuras. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Rv14-A9

ESTRUCPLAN. 2004. Relleno sanitario. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Fecha de pub: 20/9/2004. Argentina. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones>

GENINI E. 2011. Las ciencias Físico – químicas – El método científico.

GILER P., MYERS A., O'HALLORAN J. 1999. Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Capítulo Seis: Perspectivas ecológicas de la contaminación del agua. Vol I. McGraw Hill. Madrid, España. 1309 p

- GIL PASCUAL, 2003. "Métodos de investigación en educación. Vol III: Análisis Multivariante" Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- GIRALDO E. 1997. Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Rv14-A8
- GLYNN H. & RUNNALLS.1999. Ingeniería Ambiental. Capítulo Quince: Residuos Peligrosos. Tratamiento y eliminación de lixiviados. Prentice Hall. 2ª. Ed. México. 800 p.
- GONZÁLEZ R. 2002. Riesgo a la salud por consumo de agua contaminada por lixiviados de SDFDS. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002.
- GUTIÉRREZ L. 2003. Rellenos sanitarios. UTECNoticias Grupo de Estudios en Ingeniería Ambiental. Argentina. Número 14 - Julio 2003. Disponible en: <http://www.frbb.utn.edu.ar/utec/14/n04.html>
- IBÁÑEZJ. 2006. El agua en el suelo 1: agua de escorrentía. (En línea) consultado el 5 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/>
- KIELY G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol III. Cap. 14: Tratamiento de Residuos Sólidos. Ed. McGraw – Hill/Interamericana de España, S.S.U. Madrid, España.
- LUTFI AL-MEFLECH. 2003. Investigación relativa a la minimización de lixiviados en vertederos y su depuración. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España.

- LITTLE T., & HILLS J. 1980. Métodos estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Capítulo 13 Correlación Lineal y Regresión. Edit. Trillas S.A. México D.F.
- MARÍN, R. 1995. Análisis de aguas y ensayos de tratamiento. Gestión y Promoción Editorial, S.A., Barcelona.
- MÉNDEZ NOVELO R., CASTILLO BORGES E., SAURI RIANCHO M., QUINTAL FRANCO C., GIÁCOMAN VALLEJOS G., JIMÉNEZ CISNEROS B., 2009. Comparación de 4 Tratamientos Físicoquímicos de Lixiviados. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 133-145, 2009.
- MENDEZ R., CASTILLO E., SAURI M., QUINTAL C., GIACOMAN G., JIMENEZ B. 2004. Tratamiento Físicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. Ingeniería Revista Académica, mayo – agosto, año/vol. 8, número 002. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- MONTERROSO C. & MACÍAS F. 1998. Procesos de inmovilización de elementos traza en aguas acidas de mina. Santiago de Chile. Rev. Edafología. Volumen 5. Diciembre 1998. pág. 59-70
- MORTENSEN E. & KIELY G. 1999. Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Capítulo Catorce: Tratamiento de Residuos Sólidos. Lixiviado en los vertederos. Vol III. McGraw Hill. Madrid, España. 1309 p.
- PASTOR J. 2000. Vertederos controlados: Problemática de los lixiviados. Gestión de residuos. Madrid, España.
- PÁSTOR PIÑEIRO J. 2000. Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados. CSIC. Artículo de investigación financiado con proyectos de Comunidades de CASTILLA La Mancha y de Madrid.

- PELLÓN ARRECHEA A., LÓPEZ TORRES M., ESPINOSA LLORÉNS, ESCOBEDO ACOSTA R. 2009. Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. Rev. TECNOLOGÍA QUÍMICA Edición Especial. LA Habana, Cuba.
- PÉREZ C., 2005. Métodos estadísticos avanzados con SPSS". International Thomson Editores Spain Paraninfo, S. A.
- PÉREZ LÓPEZ. 2005. Métodos estadísticos avanzados con SPSS" International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A.
- PLANT & RAISWELL. 1983. Tabla Movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh.
- PRIMO M. 2008. Mejoras en el Tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada. Tesis Doctoral.
- SCHULZE DONNA, EGGERS SARA, RANDALL ESSER. 2001. Annual Report. Water Quality Studies – Red Rock and Saylorville Reservoir s Des Moines River, Iowa.
- SEMINARIO NACIONAL DE LIMPIEZA PÚBLICA SENALIMP. 2011. Madrid, Tratamiento de Lixiviados. Fornieles J. Madrid, España. Disponible en: [www.ablp.org.br/pdf/dia\\_15\\_Juan\\_Fornieles.pdf](http://www.ablp.org.br/pdf/dia_15_Juan_Fornieles.pdf)
- GARCÍA I & DORRONSORO C. Tecnología de Suelos. Tema 15: Contaminación por metales pesados. Factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad (en línea). Revisado el 12 de marzo de 2013. Disponible en: [edafología.ugr.es/..fact.htm](http://edafología.ugr.es/..fact.htm)

TARBUCK E. & LUTGENS F. 2000. Ciencias de la Tierra 8 va edición: Una introducción a la Geología Física (en línea). Consultado el 8 de febrero de 2013. Disponible en: [www.casadellibro.com](http://www.casadellibro.com)

TERRÁDEZ GURREA M. 2012. Análisis de Conglomerados. Proyecto e-Math. Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD).

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria [TULSA]. Libro VI Anexo 6 Norma De Calidad Ambiental para el Manejo Disposición Final de Desechos Sólidos No Peligrosos. Decreto Ejecutivo 3399. Disponible en: [www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%](http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20)

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria [TULSA]. Libro VI Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua;

VALLARDÓN V. 2007. Introducción al Análisis de Clúster (en línea) Disponible en: [www.introduccionanalisiscluster](http://www.introduccionanalisiscluster.com).

VILLAMAYOR J., & GRAU J. 2007. Determinación de la cantidad de lixiviado generado en rellenos sanitarios. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIIRS05.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIIRS05.pdf)

Wikilibros. 2002. Ingeniería de Aguas Residuales, versión para imprimir. Modificado el 24 de noviembre de 2006. Disponible en: [«http://es.wikibooks.org/w/index.php?title=Ingeniería\\_de\\_aguas\\_residuales/Versión\\_para\\_imprimir&oldid=60399](http://es.wikibooks.org/w/index.php?title=Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Versi%C3%B3n_para_imprimir&oldid=60399)

WIKIPEDIA. (2010). Tipos de vertederos de basura. Blog: Derecho Ecológico. Consultado el 3 de mayo de 2012. Disponible en: <http://derecho-ecologico1.blogspot.com/>

# **ANEXOS**

## ANEXO A. AFOROS DE GASTO LÍQUIDO REALIZADOS EN ESTERO VALENCIA

AFORO No.	1	2	3	4	5	6	<b>DISMINUCIÓN CAUDAL (%)</b>
FECHA	4-ago-2012	18-ago-2012	15-sept-2012	24-sept-2012	7-oct-2012	12-oct-2012	
CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	338,1	280,7	171,1	144,9	103,3	95,1	71,87≈ 72



*Datos del aforo: (4 de agosto de 2012)*  
 Velocidad media = 0,3693 m/s  
 Área = 0,915696 m<sup>2</sup>  
 Caudal (Q) = 0,33814 m<sup>3</sup>/s ~ 338,1 dm<sup>3</sup>/s



*Datos del aforo: (24 de septiembre de 2012)*  
 Velocidad media = 0,1783 m/s  
 Área = 0,81259 m<sup>2</sup>  
 Caudal (Q) = 0,14489 m<sup>3</sup>/s ~ 144,9 dm<sup>3</sup>/s



*Datos del aforo: (12 de octubre de 2012)*  
 Velocidad media = 0,1736 m/s  
 Área = 0,548028 m<sup>2</sup>  
 Caudal (Q) = 0,09514 m<sup>3</sup>/s ~ 95,1 dm<sup>3</sup>/s

## ANEXOB. REGISTRO FOTOGRÁFICO

### 1. Descarga de RSU y trabajo de minadores en vertedero.



### 2. Remoción y compactación de tierra para celdas.



### 3. Ingreso a celdas de disposición de RSU.



#### 4. Estero Valencia.



#### 5. Monitoreo y análisis de la calidad del agua superficial y subterránea.



#### 6. Equipo para levantamiento topográfico y obtención de pendientes del vertedero municipal y toma de coordenadas del curso del estero Valencia.



## ANEXO C. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL, SUBTERRÁNEA Y DEL LIXIVIADO

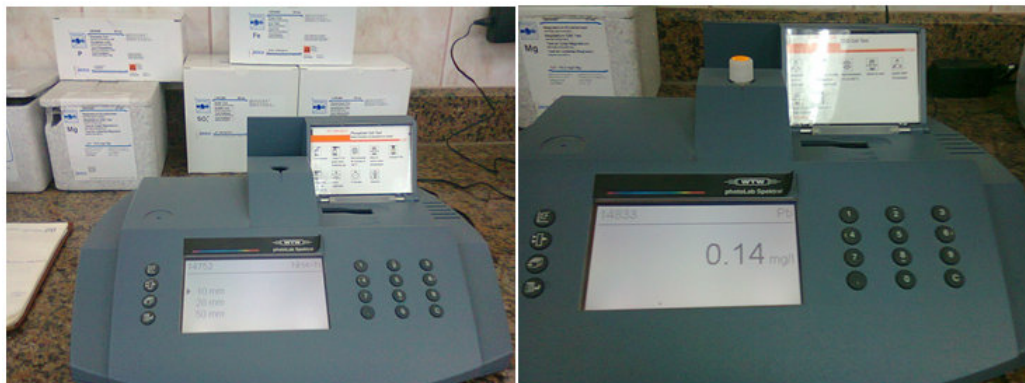
### 1. Equipos de medición de pH, Conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto WTW.



### 2. Turbidímetro HACH 2100 AN.



### 3. Fotespectrómetro WTW



#### 4. Termoreactor WTW CR-3200.



#### 5. Equipo de medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

