



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
*Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962*  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

SECRETARIA ACADEMICA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Cajamarca, a los veintiocho días del mes de agosto del dos mil diecisiete, se reunieron en el ambiente 2E-301 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 113-2016-FCA-UNC, de fecha 27/07/2016 con el objetivo de evaluar la sustentación de la Tesis Titulada: "EVALUACIÓN DEL FILTRO ROCA EN EL TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DEL LIXIVIADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS - CAJAMARCA", la misma que fue sustentada por el Bachiller en Ingeniería Ambiental, Sr. **CHRISTIAN FRANCILES CHÁVEZ CHÁVEZ**, para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**.

A las dieciséis horas y veinte minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición de la Tesis, formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado; el presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de catorce (14)

A las diecisiete horas y treinta minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 28 de agosto de 2017.

  
Dr. Eduardo Torres Carranza.  
PRESIDENTE

  
Ing. M.Sc. David Ricardo Uriol Valverde  
SECRETARIO

  
Ing. M.Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal  
VOCAL

  
Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno  
ASESOR

  
Ing. Eugenio Llanos Villanueva  
ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental**



**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DEL FILTRO ROCA EN EL TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO DEL  
LIXIVIADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS -  
CAJAMARCA**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller**

**CHRISTIAN FRANCILES CHÁVEZ CHÁVEZ**

**Asesor**

**Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno**

**Ing. Eugenio Llanos Villanueva**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis a Dios a quién amo y admiro; a mis Extraordinarios Padres, Juan y Zoila por su noble dedicación y amor, por ser mis amigos, mis consejeros, y por siempre guiarme y ser la voz y bendición de Dios como prioridad en mi vida.

A mi novia, Kelly Chávez, por ser mi apoyo fundamental e incondicional en los momentos muy difíciles de mi vida profesional y emocional, por haber dedicado tiempo y esfuerzo para culminar una meta más, por ser mi pareja idónea, por ser un ejemplo a seguir y por sobre todas las cosas, por amar a Dios.

Los llevo siempre en el corazón.

A mi Hijo que es aquel instante que se hace eterno en mi corazón.

Christian Franciles Chávez Chávez.

## **AGRADECIMIENTOS**

Como prioridad en mi vida agradezco a Dios por su infinita bondad, y por haber estado conmigo en los momentos que más lo necesitaba, Por darme salud, fortaleza, responsabilidad y sabiduría, por haberme permitido culminar un peldaño más de mis metas, y porque tengo la certeza y el gozo de que siempre va a estar conmigo.

A mis Padres, Juan y Zoila por ser los mejores, por haber estado conmigo apoyándome en los momentos difíciles, por dedicar tiempo y esfuerzo para ser un hombre de bien, y darme excelentes consejos en mi caminar diario. A mis hermanos, que con su ejemplo y dedicación me han instruido para seguir adelante en mi vida profesional.

De todo corazón aquella mujer muy especial, a quien amo mucho, mi novia, Kelly Chávez, que con su valor y entrega ha sido una persona incondicional en mi vida, ha sido mi soporte, mi mejor amiga, mi consejera, mi apoyo, mi luz, mi guía, mi todo para seguir adelante y no bajar los brazos en los momentos difíciles, sobre todo por amar a Dios, por ser la mujer que Dios me presentó en la vida para ser muy feliz y por su innegable dedicación, amor y paciencia.

# ÍNDICE GENERAL

## DEDICATORIA

## AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL .....	1
----------------------	---

RESUMEN .....	5
---------------	---

ABSTRAC .....	6
---------------	---

## CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN .....	7
-----------------------	---

1.1. Problema de investigación .....	8
--------------------------------------	---

1.2. Formulación del problema .....	8
-------------------------------------	---

1.3. Objetivos de la investigación .....	9
--	---

1.3.1. Objetivo general .....	9
-------------------------------	---

1.3.2. Objetivos específicos .....	9
------------------------------------	---

1.4. Hipótesis de la investigación.....	9
---	---

## CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	10
---------------------------------	----

2.1. Antecedentes.....	10
------------------------	----

2.2. Marco Teórico .....	11
--------------------------	----

2.2.1. Residuos sólidos.....	11
------------------------------	----

2.2.2. Ley general de residuos sólidos.....	12
---	----

2.3. Problemas de los residuos sólidos .....	12
--	----

2.4. Cantidad, calidad y humedad de los residuos.....	13
---	----

2.5. Clasificación de los residuos. ....	13
--	----

2.6. Lixiviados en los vertederos.....	15
--	----

2.6.1. Recogida de lixiviados.....	16
------------------------------------	----

2.6.2. Balance de agua en los vertederos .....	19
--	----

2.7. Lixiviado o líquido percolado.....	20
---	----

2.7.1. Planta convencional de tratamiento de lixiviados.....	22
--	----

2.7.2. Planta de tratamiento biológico de lixiviados en reactores.....	32
--	----

2.7.3. Control de los lixiviados o percolados.....	23
2.7.4. Tratamiento de lixiviados.....	24
2.7.5. Producción de lixiviados .....	25
2.8. Parámetros fisicoquímicos.....	27
2.9. Construcción de filtros naturales para aguas residuales.....	31
2.10. 3.1.1. Clima y meteorología .....	35
3.1.2. Topografía .....	35
3.1.3. Aguas superficiales .....	36
3.1.4. Aguas subterráneas .....	37
3.1.5. Usos del suelo .....	37
3.1.5. Flora y fauna .....	38

### **CAPÍTULO III**

<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación .....	39
3.2. Materiales y equipos .....	40
3.2.1. Materiales y equipos de laboratorios .....	40
3.2.2. Materiales de campo .....	41
3.3. Metodología .....	42
3.3.1. Trabajo de campo.....	42
3.3.1.1. Construcción de los filtros.....	43
3.3.1.2. Periodicidad del muestreo.....	43
3.3.1.3. Toma de muestras .....	44
3.3.1.4. Métodos utilizados para el análisis.....	44
3.3.2. Trabajo de laboratorio .....	46
3.3.2. Trabajo de gabinete.....	49

### **CAPÍTULO IV**

<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
4.1. Resultados promedio del lixiviado antes y después del filtro roca...	51
4.2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos.....	52

## **CAPÍTULO V**

<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
---	-----------

## **CAPÍTULO VI**

<b>6 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
-----------------------------	-----------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>
--------------------	-----------

<b>GLOSARIO.....</b>	<b>73</b>
----------------------	-----------

### **Índice de tablas**

Tabla N° 1: Composición física de los residuos sólidos.....	14
Tabla N° 2: Composición química típica del lixiviado.....	15
Tabla N° 3: Niveles propuestos por UE para lixiviados .....	17
Tabla N° 4: Variación de los lixiviados con la edad de vertido.....	18
Tabla N° 5: Capas pétreas de los filtros .....	40
Tabla N° 6: Periodicidad de muestreo.....	40
Tabla N° 7: Concentración química del lixiviado.....	47
Tabla N° 8: pH .....	48
Tabla N° 9: Sólidos totales .....	50
Tabla N° 10: Valores de la DBO.....	51
Tabla N° 11: Determinación DQO .....	53
Tabla N° 12: Índice de biodegradabilidad.....	54
Tabla N° 13: Valores de la dureza total.....	55
Tabla N° 14: Valores de la conductividad eléctrica.....	56
Tabla N° 15: Valores de los nitratos .....	57

### **Índice de figuras**

Figura N° 1: Elementos del balance de agua .....	20
Figura N° 2: Imagen satelital de la planta.....	33
Figura N° 3: Ubicación del área de estudio .....	34
Figura N° 4: Dimensiones de los tanques filtros .....	40
Figura N° 5: Valores del pH.....	48

Figura N° 6: Valores de sólidos totales .....	50
Figura N° 7: Valores de la DBO .....	51
Figura N° 8: Determinación de la DQO .....	53
Figura N° 9: Comparación del ensayo para la dureza total.....	56
Figura N° 10: Conductividad.....	57
Figura N° 11: Concentración de nitratos .....	58

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el propósito de evaluar y proponer mejoras en el lixiviado generado por la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca, y darle el manejo adecuado al sistema, con la finalidad de mejorar la calidad fisicoquímica del lixiviado; de tal manera que se cumpla con los Límites máximos permisibles (LMP) según DS – 2009 - MINAM para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad, para el cual se utilizó el método analítico, que determinaron los variables que se consideran de importancia para el análisis del lixiviado y su tratamiento mediante el filtros roca.

Se hizo la propuesta para la descontaminación de lixiviados generados mediante el filtro roca compuestos por diferentes capas de materiales pétreos. Para lo cual se construyeron tres filtros de diferente cantidad de carbón, los cuales tuvieron unos resultados eficaces, siendo el más óptimo, el filtro F-1. El trabajo de investigación comprendió dos fases: La primera fase, fue el reconocimiento de campo y ubicación de los puntos para extraer la muestra de lixiviado de cada uno de los filtros para su respectivo análisis en laboratorio. La segunda fase correspondiente al trabajo de laboratorio y consistió en realizar el análisis de las muestras provenientes de los filtros: F-1, F-2, F-3. En el trabajo de gabinete se dio la interpretación correspondiente a los resultados del laboratorio y se realizaron las comparaciones con LMP para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad, que establece la Legislación peruana debido a que, los puntos potenciales de descarga son los pozos de almacenamiento área de investigación. La evaluación realizada en este trabajo de investigación muestra que la concentración de algunos elementos como: La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) registra 237 mg/L; demanda química de oxígeno (DQO) registra 1 179 mg/L; sólidos totales, valores de 14 450 mg/L; oxígeno disuelto valores de 0,05 mg/L; que superan los LMP, establecidos por la legislación peruana. El lixiviado presenta un índice de biodegradabilidad, es decir la relación DBO/DQO de 0,33; conociendo el valor de biodegradabilidad define en gran medida el tipo de lixiviado y el tipo de tratamiento, mediante procesos aerobios.

## ABSTRACT

The present work was carried out with the purpose of to evaluate and to propose improvements in the one leached generated by the plant of treatment of solid residuals of Cajamarca, and to give the appropriate handling to the system, with the purpose of improving the quality fisicoquímica of the one leached; in such a way that is fulfilled the permissible maximum Limits (LMP) according to DS - 2009 - MINAM for the discharge of liquid efluentes of treatment of solid and leached residuals of sanitary fillers and of security, for which the analytic method was used which you/they determined the variables that are considered of importance for the analysis of the one leached and its treatment by means of the filters rock.

The proposal was made for the descontaminación of had leached generated by means of the filter rock composed by different layers of stony materials. For that which three filters of different quantity of coal were built, which had some effective results, being the best, the filter F-1. El investigation work understood two phases: The first phase, was the field recognition and location of the points to extract the sample of having leached of each one of the filters for its respective analysis in laboratory. The second phase corresponding to the laboratory work and he/she consisted on carrying out the analysis of the samples coming from the filters: F-1, F-2, F-3. In the cabinet work the interpretation corresponding to the results of the laboratory was given and they were carried out the comparisons with LMP for the discharge of liquid efluentes of treatment of solid and leached residuals of sanitary fillers and of security that establishes the Peruvian Legislation because, the potential points of discharge are the wells of storage investigation area. The evaluation carried out in this investigation work shows that the concentration of some elements like: The biochemical demand of I oxygenate (DBO) it registers 237 mg/L; it demands chemistry of I oxygenate (DQO) it registers 1 179 mg/L; total solids, values of 14 450 mg/L; oxygen dissolved values of 0,05 mg/L; that the LMP overcomes, settled down by the Peruvian legislation. The one leached presents a biodegradabilidad index, that is to say the relationship DBO/DQO 0,33; knowing the biodegradabilidad value defines in great measure the type of having leached and the treatment type, by means of aerobic processes.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El problema más grave relacionado con el manejo de los residuos sólidos a nivel mundial, nacional, regional y local es su disposición final; la generación de los residuos sólidos se incrementa a medida que el crecimiento de la población aumenta realizando diferentes actividades y procesos que vienen produciendo un incremento considerable en la cantidad y variedad de residuos sólidos, la disposición final de los residuos sólidos en las plantas de tratamiento origina lixiviados, que sin ningún control contaminan el suelo, el agua superficial-subterránea y el aire. El desarrollo industrial, la urbanización, diferentes procesos y efectos del desarrollo vienen produciendo un incremento considerable en la cantidad y variedad de los residuos sólidos generados en las actividades desarrolladas por la población, a nivel local, regional, nacional e internacional.

La Municipalidad Provincial de Cajamarca es la encargada de brindar el servicio de barrido, recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos municipales; la disposición final se realiza en la planta de tratamiento de residuos sólidos el que está diseñado técnicamente y tiene pozos de almacenamiento de lixiviado; en la planta de tratamiento se genera lixiviados, líquidos altamente agresivos con el ambiente si no son controlados sin ningún pre-tratamiento, los cuales son considerados como un agente contaminante peligroso; estos se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial, que arrastran todo tipo de sustancias tóxicas solubles existentes en los residuos acumulados.

El trabajo de investigación consistió en evaluar el filtro roca en el tratamiento fisicoquímico del lixiviado en la planta de tratamiento de residuos sólidos – Cajamarca; mediante la instalación de un filtro constituido con diferentes capas pétreas y carbón mineral, con la finalidad de reducir las concentraciones de los diferentes parámetros como: pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos

totales (ST), dureza total (DT), conductividad eléctrica (CE), nitratos ( $\text{NO}_3$ ); a fin de obtener un producto que se encuentre dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-3), y poder ser vertidos al medio ambiente.

### **1.1 Problema de la Investigación**

La generación de lixiviado en la planta de tratamiento de residuos sólidos Cajamarca aumenta a medida que aumenta la disposición de materia orgánica y el agua proveniente de las precipitaciones pluviales

El lixiviado presenta elevadas concentraciones de pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), dureza total (DT), conductividad eléctrica (CE), nitratos ( $\text{NO}_3$ ), que representa un potencial contaminante al medio ambiente si es vertido directamente al río. Por lo tanto, ha sido necesario la construcción de tres filtros para reducir las concentraciones de los elementos contaminantes que contiene los lixiviados.

Los lixiviados obtenidos son depositados en diferentes pozos de almacenamiento para lo cual es necesario sacar una muestra representativa del lixiviado y de cada filtro, para su respectivo análisis.

### **1.2 Formulación del Problema**

¿Cuál son los niveles de concentración fisicoquímica (pH, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, conductividad eléctrica, y nitratos), del lixiviado tratado por el filtro roca, en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Evaluar los niveles de concentración de los parámetros fisicoquímicos del lixiviado tratado por el filtro roca, generados en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar los niveles de concentración de los parámetros fisicoquímicos (pH, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, conductividad eléctrica, y nitratos) del lixiviado tratado por el filtro roca, generado en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca.
- Evaluar los filtros y determinar aquel que se aproxime a los valores de los límites máximos permisibles (LMP) según DS – 2009 - MINAM para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad.

### **1.4 Hipótesis de la investigación**

Los valores de los niveles y las concentraciones fisicoquímicas del lixiviado tratado por el filtro roca en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Cajamarca, son superiores a los valores dados por los Límites máximos permisibles (LMP) según DS – 2009 - MINAM para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISION DE LITERATURA**

#### **2.1 Antecedentes**

La Municipalidad Provincial de Cajamarca (MPC) por intermedio de la Gerencia de Desarrollo Ambiental, viene realizando diferentes actividades en la planta de tratamiento y disposición final de residuos sólidos (PTDFRS) - Cajamarca, en cumplimiento a lo estipulado en el Expediente Técnico de Operación, aprobado por el área correspondiente de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

La planta de tratamiento y disposición final de residuos sólidos (PTDFRS) - Cajamarca, viene funcionando bajo la orientación técnica de personal especializado en residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

#### **2.2 Marco Teórico**

##### **2.2.1 Residuos Sólidos**

Los residuos sólidos son todos aquellos materiales sólidos y semisólidos procedentes de las actividades del hombre que se desechan por carecer de suficiente valor para retenerlo, (Aliaga, 1997).

Se define como residuos sólidos aquellos que se producen por las actividades del hombre o por los animales, (Kiely 1999).

##### **2.2.2 Según la ley general de residuos sólidos (Ley N° 27314)**

Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido de la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos:

- Minimización de residuos sólidos

- Segregación en la fuente
- Reaprovechamiento
- Almacenamiento
- Recolección
- Comercialización
- Transporte
- Tratamiento
- Transferencia
- Disposición final

### **2.3 Problema de los residuos sólidos**

Los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria y artesanía), institucionales (administración pública, establecimientos de educación), de mercados, y los resultantes del barrido y limpieza de vías y áreas públicas de un conglomerado urbano, y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales. La gestión de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la disposición final, es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo. Ello se refleja en la falta de limpieza de las áreas públicas, la recuperación de residuos en las calles, el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas, de ambos sexos y de todas las edades, en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a toda clase de enfermedades y accidentes. El problema de los RSM está presente en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, el uso generalizado de envases y empaques y materiales desechables, que aumentan considerablemente la cantidad de residuos.

El problema de los residuos sólidos, en la gran mayoría de los países, y particularmente en determinadas regiones, se viene agravando como consecuencia del acelerado crecimiento de la población, los cambios de hábitos de consumo, concentración en las áreas urbanas y el desarrollo industrial; porque no se les da el manejo adecuado a los residuos sólidos en su disposición final. Desafortunadamente, por lo general el desarrollo de cualquier región viene acompañado de una mayor producción de residuos sólidos y, sin duda, ocupa un papel importante entre los distintos factores que afectan la salud humana y al medio ambiente, ya que el almacenamiento de residuos sólidos genera lixiviados que sin ningún control contamina el suelo, agua, aire, flora y fauna, Con el progreso y desarrollo de la humanidad, el aumento de los residuos sólidos se ha ido acrecentando, siendo en la actualidad una de las actividades importantes que tienen que considerar las comunidades, los residuos sólidos manipulados inadecuadamente generan impactos negativos a la salud humana y al medio ambiente, ya que la deposición o almacenamiento de residuos sólidos generan lixiviados. La manipulación y disposición final de los residuos sólidos y semisólidos, originados como productos de la convivencia humana, tiene significado social, de salud pública y económica, y requiere de la técnica de la ingeniería para darle solución, (Jaramillo, 2002) y (Opazo, 2003).

#### **2.4 Cantidad, calidad y humedad de los residuos**

La cantidad de basura que se elimina por día y por persona está condicionada por factores regionales, climáticos, raciales, costumbres, estacionales.

#### **2.5 Clasificación de los residuos**

Los residuos se pueden definir como el conjunto de elementos heterogéneos resultantes de desechos o desperdicios del hogar y de la comunidad en general, cuya clasificación distingue los siguientes grupos:

- a) **Residuos orgánicos.** Es la de cualquier naturaleza que se puede descomponer por procesos naturales dentro de un período razonable. Son los derivados de la preparación de alimentos, restos de comidas, desechos de mercados, desperdicios de fábricas de productos agropecuarios, animales muertos y hojarasca.
- b) **Desperdicios comerciales de comidas.** Incluye los restos de comida que se originan en los restaurantes, hoteles, hospitales, regimientos, etc. A menudo se recolectan separadamente y son vendidos como alimentos para cerdos.
- c) **Residuos doméstica.** Se origina en los hogares y está formada por residuos de alimentos, ceniza, polvo, papel, cartones, maderas, huesos, vidrios, trapos, restos de verduras, frutas, flores. Algunas veces, excreta humana y de animales domésticos, tarros de hojalata.
- d) **Residuos comerciales.** Incluye los desechos comerciales no incluidos en desperdicios comerciales de comidas y provenientes de la operación y mantenimiento de los establecimientos comerciales, fábricas, tiendas, almacenes, talleres, etc. Comprenden principalmente papel, cartón, tarros, material de embalaje y otros desechos sólidos.
- e) **Despojos.** Es el residuo no incluido en el tipo de residuo orgánico; incluye vidrios, llantas de goma, tarros vacíos, trapos, huesos.
- f) **Residuos de establos y caballerizas.** Está constituida por estiércol, paja, pasto, restos de forraje, alimentos concentrados.
- g) **Residuos de la calle.** Polvo, estiércol, hojas, ramas, papeles, polos, colillas de cigarro, tierra, arena, piedrecillas, animales muertos.
- h) **Desperdicios provenientes de mercados, ferias, quioscos y vendedores ambulantes.** Restos de frutas y verduras; envases, papeles.

- i) **Escombros.** Restos fraccionados de material de demolición, tales como adobes, tierra de revoque y enlucidos, papeles, palos, arena, trozos de hormigón, hierro, fonolitas, pizarreño.
- j) **Cenizas.** El término cenizas se refiere a los residuos provenientes de la combustión del carbón, madera u otro material combustible utilizado en el hogar, industria o establecimiento comercial, con propósito de calefacción, producción de energía. (Opazo, 2003)

**TABLA 1.** Composición física de los residuos solidos

COMPOSICIÓN GENERAL	COMPOSICIÓN TÍPICA	COMPOSICIÓN ESPECÍFICA
<b>ORGÁNICA</b>	Alimentos putrescibles	Alimentos Vegetales
	Papel y cartón	Papel Cartón
	Plásticos	Polietileno tereftalato (PETE) Polietileno de alta densidad (HDPE) Cloruro de polivinilo (PVC) Polietileno de baja densidad (LDPE) Polipropileno (PP) Poliestireno (PS) Otros plásticos multicapa
	Ropa / telas	Productos textiles Alfombras Goma Pieles
	Residuos de jardín	Restos del jardín
	Madera	Madera
	Restos orgánicos	Huesos
	<b>INORGÁNICA</b>	Metales
Vidrio		Incoloros Coloreados
Tierra, cenizas.		Tierra, sólidos de desbaste Cenizas Piedras Ladrillos
No clasificados		Objetos voluminosos

FUENTE: (Kiely, 1999).

## 2.6 LIXIVIADOS EN LOS VERTEDEROS

El lixiviado es el agua “contaminada” de los vertederos, que llegó a éstos a través de la precipitación exterior. La composición química típica de los lixiviados se muestra en la tabla 02 y hay que saber que hay un rango de valores para cada parámetro, (Kiely, 1999).

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

Parámetro del lixiviado	Unidades	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	8,000			1,000	2,000
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/L	50	400			10	30
N total	mg/L			500	1,500		
N amoniacal	mg/L			200	1,200		
P total	mg/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			20	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	mg/L			0,01	10		
Fenol	mg/L			0,5	5		
Aceite/grasa	mg/L			2	20		

FUENTE: (Kiely, 1999).

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. La relación  $SO_4/Cl$  también disminuye con el tiempo. La mayoría de lixiviado recogido actualmente se trata con el agua residual municipal o, en algunos casos, plantas depuradoras específicas se ocupan del tratamiento del lixiviado. Los vertederos se pueden diseñar con recirculación del lixiviado de las etapas nuevas a las viejas en condiciones anaerobias totales. Esta recirculación hace uso del efecto del reactor biológico anaerobio de los vertederos más antiguos para reducir la gran demanda de oxígeno de los lixiviados “jóvenes”. Las condiciones climáticas más adecuadas para ello son las secas. El lixiviado se trata in situ de forma convencional en una planta depuradora adyacente o bien se transporta hasta una planta de ese tipo. En algunos casos (climas secos), el lixiviado se recoge y se pulveriza sobre el vertedero. Esto sirve para disminuir el nivel de contaminación. El lixiviado también se analiza regularmente para hallar su fuerza y composición. Para que se pueda tratar el lixiviado en una planta depuradora convencional, su calidad debe satisfacer los niveles que aparecen en la tabla 02. (Kiely, 1999).

### **2.6.1 Recogida de lixiviados**

El sistema de drenaje debe de estar conectados a algunos pozos, y quizás también, a una estación de bombeo. Sin embargo, es peligroso entrar en estas instalaciones cuando ha empezado el vertido. Esto se debe a los gases de metano del vertedero y a la ausencia de oxígeno. Se debe tener en cuenta estos problemas en la etapa de diseño, así como en la operación diaria del vertedero. Si no se puede bombear el lixiviado directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario el uso de un depósito. Éste debe tener la capacidad suficiente para una producción máxima cuando se ponga en servicio una fase nueva en el vertedero. (Kiely, 1999).

**TABLA 3.** Niveles propuestos por la UE para lixiviados de los residuos peligrosos e inertes

<b>Parámetro</b>	<b>Rango para residuos peligrosos</b>	<b>Rango para residuos inertes</b>
pH	4 – 13	4 – 13
COT	40 - 220 mg/L	< 200 mg/L
Arsénico (II)	0,2 - 1,0 mg/L	< 0,1 mg/L
Plomo	0,4 - 2,0 mg/L	<b>Total &lt; 5 mg/L</b>
Cadmio	0,1 - 0,5 mg/L	
Cromo (VI)	0,1 - 0,5 mg/L	
Cobre	2 - 10 mg/L	
Níquel	0,4 - 0,2 mg/L	
Mercurio	0,02 - 0,1 mg/L	
Cinc	2 - 10 mg/L	
Fenoles	20 - 100 mg/L	
Fluoruro	10 - 50 mg/L	< 5 mg/L
Amonio	0,2 - 1 g N/L	< 50 mg/L
Cloruro	1,2 - 6 g/L	< 0,5 g/L
Cianuro	0,2 - 1 mg/L	< 0,1 mg/l
Sulfato	0,2 - 1 g/L	< 1 mg/L
Nitrito	6 - 30 mg/L	< 3 mg/L
AOX *	0,6 - 0,3 mg/L	< 0,3 mg/L
Disolventes **	0,02 - 0,10 mg/L	< 10 µg /L
Pesticidas **	1 - 5 µg/L	< 0,5 µg/L

\* Halógenos adsorbidos ligados orgánicamente

\*\* Clorados

FUENTE: (Kiely, 1999).

**TABLA 4.** Composición química del lixiviado

Contaminante	Concentración (mg/L)			
	1 año	2 años	3 años	4 años
DBO	4,460	13,000	11,359	10,907
DQO	11,210	20,032	21,836	18,533
Sólidos Disueltos	11,190	14,154	13,181	13,029
pH	7,1	6,6	7,3	6,9
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> )	5,685	5,620	4,830	5,404
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	5,116	4,986	3,135	4,652
Calcio	651	894	725	818
Magnesio	652	454	250	453
Fosfatos	3	3	3	3
N-Kjeldahl	1,660	760	611	984
Sulfatos	114	683	428	462
Cloruros	4,816	4,395	3,101	4,240
Sodio	1,177	1,386	1,457	1,354
Potasio	969	950	968	961
Cadmio	0,04	0,09	0,1	0,09
Cromo	0,16	0,43	0,22	0,28
Cobre	0,44	0,39	0,32	0,39
Hierro	245	378	176	312
Niquel	0,53	1,98	1,27	1,55
Zinc	8,7	31	11	21
Mercurio	0,007	0,005	0,011	0,007

FUENTE: <http://www.muliarum.com/Publicidad/welcome.asp>

## 2.6.2 Balance de agua en los vertederos

La cantidad de lixiviado producido en un vertedero depende de su balance de aguas, que es:

$$LC = PR + SRT - SRO - EP - ST$$

Dónde:

LC = lixiviado

PR = precipitación

SRO = salida de escorrentía superficial

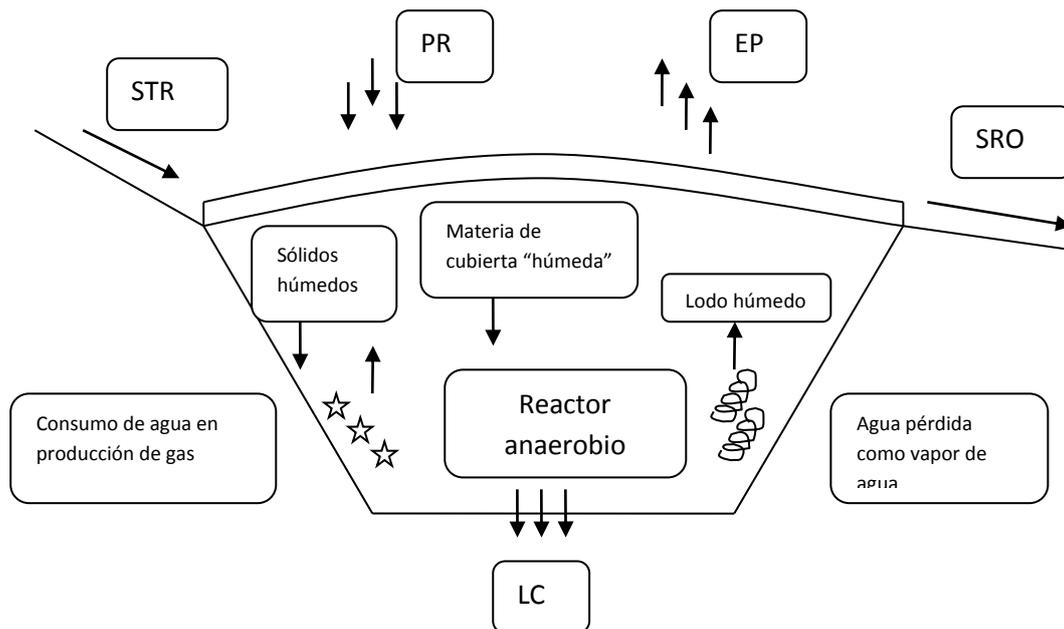
SRT = entrada de escorrentía superficial (los vertederos deben diseñarse de manera que el agua exterior no pueda penetrar SRT = 0)

EP = evapotranspiración

ST = cambio en el agua almacenada

En hidrología de cuencas, la ecuación del balance de agua se puede simplificar si el marco de tiempo es, digamos, de un año, cuando ST se toma como cero. Sin embargo, no se puede hacer esta simplificación en los vertederos ya que la EP y el ST cambia debido a las reacciones bioquímicas y al llenado en curso del vertedero. El cambio en el almacenamiento de agua, ST, no es simplemente un cambio debido a las variaciones de la infiltración; sino que también debe contar con el agua gastada en el vertedero en la producción de gas de vertedero y en la pérdida de agua en forma de vapor, así como también el agua introducida en el vertedero por los sólidos “húmedos” y material de cobertura “húmedo”. El objetivo del diseño del vertedero (y la directiva UE sobre vertederos) es minimizar la cantidad de lixiviado. En un clima continuamente húmedo como el de Irlanda, es necesario un diseño detallado centrandó la atención particularmente en las coberturas superiores, en los revestimientos y en la recogida del lixiviado, (Kiey, 1999).

**Figura 1.** Elementos del balance de agua en un vertedero.



FUENTE: (Kiely, 1999).

## 2.7 Lixiviado o líquido percolado

La descomposición o putrefacción natural de los residuos produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de residuos aumentando su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los RSM, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos.

El volumen de lixiviado o líquido percolado en una Planta de tratamiento de residuos sólidos depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea (balance de agua).
- Evapotranspiración.

- Humedad natural de los RSM.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).
- Composición de los residuos.
- Edad del relleno.
- Diseño y operación de la planta de tratamiento.
- Solubilidad de los desechos.

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área de la Planta haciendo que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno, (Jaramillo, 2002).

Los residuos sólidos, especialmente los orgánicos, al ser compactados por maquinaria pesada liberan agua y líquidos orgánicos, contenidos en su interior, el que escurre preferencialmente hacia la base de la celda. Los Residuos, que actúa en cierta medida como una esponja, recupera lentamente parte de estos líquidos al cesar la presión de la maquinaria, pero parte de él permanece en la base de la celda. Por otra parte, la descomposición anaeróbica rápidamente comienza actuar en una Planta de tratamiento de Residuos sólidos, produciendo cambios en la materia orgánica, primero de sólidos a líquido y luego de líquido a gas, pero es la fase de licuefacción la que ayuda a incrementar el contenido de líquido en el relleno, y a la vez su potencial contaminante. En ese momento se puede considerar que los residuos están completamente saturadas y cualquier agua, ya sea subterránea o superficial, que se infiltre en el relleno, lixiviara a través de los desechos arrastrando consigo sólidos en suspensión, y compuestos orgánicos en solución. Esta mezcla heterogénea de un elevado potencial contaminante es lo que se denomina lixiviados o líquidos percolados. El lixiviado que se forma en los rellenos controlados es una fuente potencial y seria de contaminación

de agua subterránea. Las acciones eficaces ahora requieren que los desperdicios que puedan producir lixiviados contaminantes se depositen en rellenos controlados diseñados para contener todos los productos de descomposición; en los rellenos controlados la producción de lixiviados también se reducen disminuyendo la infiltración de agua de lluvia en la superficie, (Price, 2003).

### **2.7.1 Planta convencional de tratamiento de lixiviados**

Este tratamiento se basa en una depuración biológica mediante fangos activos, con posterior separación de los fangos mediante una flotación. Para disminuir aún más la DQO del efluente, el agua tratada se somete a un tratamiento físico-químico con aporte de lechada de cal y posterior neutralización. El tratamiento finaliza haciendo pasar el agua neutralizada a través de unos filtros de arena y carbón activo.

### **2.7.2 Planta de tratamiento biológico de lixiviados en reactores a presión con posterior ultrafiltración**

Esta planta, de alto rendimiento, presenta varias ventajas frente a la planta convencional:

- ✓ alta eficacia de aireación de los fangos biológicos.
- ✓ soporta elevadas concentraciones de fangos.
- ✓ menores requerimientos de superficie de instalación.
- ✓ elevada automatización.
- ✓ separación de los fangos mediante ultrafiltración.
- ✓ flexible a cambios de concentración y caudal de los lixiviados

El proceso biológico en ambas plantas se basa en una depuración biológica mediante bacterias nitrificantes y desnitrificantes (proceso de nitrificación - desnitrificación).

La acción combinada de estos dos tipos de bacterias permite convertir el amonio presente en los lixiviados en nitrógeno, a la vez que se reduce el contenido de materia orgánica biodegradable.

El lixiviado es considerado como el principal y gran contaminante de un relleno sanitario, el lixiviado de un relleno sanitario es un agua residual compleja, con considerables variaciones en la composición y el flujo volumétrico; la calidad de los lixiviados es determinada fundamentalmente por la composición de los residuos depositada en las celdas, por los procesos de reacción bioquímica que tienen lugar en el mismo, por las condiciones de manejo del lixiviado y por las condiciones ambientales. De acuerdo con lo anterior, la concentración y composición de contaminantes en el lixiviado pueden ser muy diferentes según las condiciones antes mencionadas, pero principalmente la edad del relleno. De hecho, las características de los lixiviados varían incluso dentro de un mismo relleno sanitario dado que pueden coexistir etapas aerobias de los frentes de trabajo de los rellenos, con las fases acidogénicas de las primeras semanas del relleno y con las metanogénicas que siguen a la fase ácida; se hace necesario por tanto, realizar estudios de tratabilidad de cada lixiviado de cada relleno sanitario, por lo que no es posible transferir directamente el tipo de tratamiento aplicado a un lixiviado,

### **2.7.3 Control de los lixiviados o percolados**

Como consecuencia de la impermeabilización del relleno sanitario, se acumulan en este una gran cantidad de líquidos percolados, los cuales deben ser manejados en forma apropiada. Es importante tener en el relleno sanitario los elementos necesarios para mantener un control total de los lixiviados, estos pueden ir desde almacenamientos en lagunas para luego recircularlos con equipos de bombeo, hasta sistemas de drenaje al interior del relleno, depósitos de almacenamiento y tratamiento químico y/o biológico.

Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar y anticipar un eventual paso de líquidos percolados a través del terreno y subsecuentemente adoptar las

medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población, por consumo de agua de mala calidad.

#### **2.7.4 Tratamiento de lixiviados**

El tratamiento de los lixiviados, es una necesidad que se repite a nivel mundial, pues en toda infraestructura de disposición de residuos se generan de manera inevitable los líquidos lixiviados que no es otra cosa que líquidos que arrastran contaminantes que son liberados por fenómenos de descomposición que ocurren en el interior de las zonas donde se realizó la disposición y confinamiento de residuos, se relaciona directamente con la cantidad de materia orgánica porque las estructuras moleculares orgánicas, después de ser asimiladas por actividad bacterial, producen grandes cantidades de metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, amoníaco, calor, entre otros y agua; ésta cantidad de agua generada es el lixiviado, que siempre está en contacto con todos los contaminantes y que logra arrastrarlos por la sencilla razón de que los compuestos pesados insolubles se convierten en materiales más simples y solubles. En las pequeñas poblaciones es necesario evitar a toda costa la generación de lixiviado, pero si a pesar de todo se genera un poco, hay que mantenerlo dentro del relleno sanitario ya que su tratamiento es impracticable. Es importante tener un suelo impermeable o bien hay que impermeabilizarlo artificialmente para que se pueda construir la red de zanjas de almacenamiento que retendrá el lixiviado en el relleno.

Otra práctica que minimiza el problema del lixiviado al clausurarse algunas áreas del relleno sanitario o cuando este acaba su vida útil es la siembra de pasto, grama y pequeños arbustos de raíces cortas que se adapten a las condiciones de la obra. Se los debe sembrar tanto sobre la superficie ya clausurada como en los alrededores del sector relleno; la evapotranspiración puede ser muy efectiva y en algunos casos hasta evita la producción de

lixiviado. En casos extremos en que no se logre controlar su producción y dado que el lixiviado de los RSM de las pequeñas poblaciones presenta características semejantes a las aguas residuales domésticas (con gran porcentaje de materia orgánica biodegradable de difícil decantación), se podrán aplicar tratamientos biológicos para mejorar en lo posible la calidad de este líquido, (Jaramillo, 2002).

El lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto material suspendido o disuelto, generalmente ambos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a Rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado. Si el Relleno Sanitario no tiene sistema de recogida de lixiviados, éstos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar, como resultado, problemas medioambientales y/o de salud. Típicamente, el lixiviado es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro. El lixiviado tiene un olor bien característico, difícil de ser confundido y olvidado. Los peligros de los lixiviados, son debidos a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal. Microorganismos patogénos y substancias tóxicas que pueden estar presentes, son a menudo citadas como las más importantes, pero el contenido de microorganismos patogénos se reduce rápidamente en el tiempo en los Rellenos Sanitarios, aplicándose esto último al lixiviado fresco.

#### **2.7.5 Producción de lixiviados**

En la época de verano es casi nula la producción de lixiviados dentro del vertedero, pero en época de invierno la producción de lixiviados se dará en base a la cantidad de lluvia (agua) que entra al vertedero y la cantidad que se lixivia va a depender de varios

factores como el agua consumida en la formación de gas de vertedero, el agua presente como vapor de agua en el gas de vertedero y la fracción de agua en los residuos.

Ley de los Recursos Hídricos, prohíbe verter o emitir cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas causando daños o poniendo en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna o comprometiendo su empleo para otros usos; manifiesta, asimismo que podrán descargarse únicamente cuando:

- a) Sean sometidas a los necesarios tratamientos previos
- b) Se compruebe que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación
- c) Se compruebe que con su lanzamiento submarino no se causará perjuicio a otro uso; y
- d) En otros casos que autorice el Reglamento. Las aguas servidas o aguas negras son los desechos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial; llevan disueltas o en suspensión una serie de materias orgánicas e inorgánicas que provienen de la descarga de sumideros, fregaderos, inodoros, cocinas, lavanderías (detergentes), residuos de origen industrial (aceites, grasas, curtiembres, etc.). Donde existen sistemas de alcantarillado, todas confluyen a un sistema colector de aguas cloacales, que debería terminar en una planta de tratamiento, (Brack y Mendiola. 2002).
- e) El pH es un factor importante en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua. El grado de disociación de ácidos y bases débiles es afectado por cambios en el pH.

Este efecto es muy importante debido a que la toxicidad de muchos compuestos es afectada por el grado de disociación

(rompimiento de una molécula por absorción de calor). Así por ejemplo, un incremento del pH causará un incremento en el nitrógeno amoniacal a niveles tóxicos. En sentido inverso, un pH bajo incrementará la toxicidad de especies como el cianuro y sulfuro de hidrógeno, la solubilidad de ciertos metales tóxicos, presentes en el material suspendido y en sedimentos es afectada por el pH.

Los valores de pH obtenidos de los lixiviados se encuentran entre los rangos permisibles. Según los ECA categoría 3. El valor medio oscila entre 6,98 y 6,99, la figura siguiente muestra estos resultados.

El pH de las aguas superficiales de los cuerpos de agua debe encontrarse en el intervalo de 6,5 a 8,5 unidades de pH.

## **2.8 Parámetros fisicoquímicos**

### **a) Potencial de hidrógeno (pH)**

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, control de corrosión, precipitación, coagulación y desinfección depende del pH. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad de ión Hidrógeno o pH. En aguas naturales el valor puede variar entre los rangos de 6.5 – 8.5, El pH es una medida del contenido de ion hidrogeno en medio acuoso. Las aguas que poseen un valor de pH superior a siete son alcalinas, y si es inferior son acidas. El agua de los ríos que no está afectada por la contaminación presenta un pH entre 6,5 y 8,5, dentro del cual los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono durante la fotosíntesis y respiración, respectivamente (Hem 1985).

## **b) Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad es una medida de la actividad eléctrica de los iones en una disolución. Se expresa en unidades de microsiemen por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y se mide con un conductímetro (APHA *et al.* 1995), las aguas nacientes de manantiales oscilan entre 39 y 294  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (Tassi *et al.* 2005).

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y casi en su totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad. El aparato utilizado es el conductímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia de paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de un prisma rectangular comparado con la de una solución de KCl a la misma temperatura (Tassi *et al.* 2005).

La medida de la conductividad es buena forma de control, siempre que:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables
- Las mediciones se realizan a la misma temperatura
- La composición se mantenga relativamente constante (Tassi *et al.* 2005).

## **c) Sólidos totales (ST)**

Los SDT es una medida de cantidad de solidos después de ser evaporado la fase acuosa a una temperatura superior a 100 °C. Se determinan por medio de la gravimetría (OMS, 1998). En el agua para consumo humano, la mayoría de la materia orgánica se encuentra en forma de solidos disueltos y consiste en sales y

gases disueltos. Los iones predominantes son el bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias influyen sobre otras características del agua, tales como el sabor, dureza y tendencia a la incrustación (APHA *et al.* 1995). Este parámetro es un indicador de alguna filtración o descarga de aguas en manantiales superficiales. Los sólidos totales son la sumatoria de los sólidos disueltos y de los sólidos en suspensión.

**d) Dureza total**

Es la propiedad del agua que evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. Es debida principalmente a los iones metálicos Ca y Mg. No presenta riesgo para la salud, pero las desventajas económicas del agua dura incluyen un consumo excesivo de jabón y costos más altos de combustible. La dureza se expresa en términos de Carbonato de Calcio y se divide en dos formas: Dureza de Carbonato y de no Carbonato. (OMS, 1995).

**e) Nitratos**

Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno (OMS 1995). Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas. Las concentraciones pueden alcanzar varios cientos de miligramos por litro. En algunos países, hasta un 10% de la población puede estar expuesta a niveles de nitratos en agua potable superiores a 50 mg/l (OMS 1995).

En general, cuando los niveles de nitratos en el agua potable se encuentran por debajo de los 10 mg/l, la fuente principal de toma de nitratos para los seres humanos son los vegetales. Cuando los niveles de nitratos en el agua potable superan los 50 mg/l, el agua

potable será la fuente principal del consumo total de nitratos (OMS 1995).

Amplios datos epidemiológicos respaldan el valor pauta actual de 10 mg/l para el nitrato-nitrógeno propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, este valor no debe ser expresado en base al nitrato nitrógeno sino en base al nitrato en sí mismo, puesto que es la especie química que presenta peligro para la salud, y el valor pauta para el nitrato es por lo tanto 50 mg/l (OMS 1995).

**f) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO, con valores numéricos expresados en mg/L-O<sub>2</sub>. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de las aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.

**g) Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura, la DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en sólo unas tres horas. En general, se espera que

la DQO sea aproximadamente igual a la DBO última; pero, especialmente en aguas residuales industriales.

## **2.9 Construcción de filtros naturales para aguas residuales**

Muchos son los lugares donde se llegan a perder cientos de sembradíos por falta de agua para riego. Pero si las personas reutilizaran el agua residual este problema se reduciría en gran medida. Pasos cómo hacer un filtro con materiales naturales. Es como hacer un filtro casero, pero a gran escala:

- Se propone colocar una rejilla en la salida del vertedero de la presa para la retención de partículas de mayor tamaño previo a su paso por el filtro.
- Luego se hacen los contenedores o estanques por los que circulará el agua a través de estratos granulares (piedras pequeñas), los cuales estarán constituidos por tres capas: tezontle, grava y arena.
- Se deben tener en cuenta: el tamaño de los estratos granulares, la distribución debe ser uniforme, la carga de agua y la velocidad de filtración, misma que dependerá de la consistencia de los estratos granulares y el tamaño de ellos.

Los filtros funcionarán de la siguiente manera:

- ✓ Las partículas de mayor tamaño que los poros del tezontle, son retenidas mecánicamente por el material.
- ✓ Las partículas de tamaño menor que los poros del estrato granuloso quedan atrapadas dentro del filtro por contacto aleatorio. Las partículas más pequeñas quedarán atrapadas en el último filtro de arena.

Se debe tener un mantenimiento constante de los filtros; dado que al acumularse las partículas formarán partículas de mayor tamaño, las cuales disminuirán la funcionalidad de los mismos. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el crecimiento biológico (principalmente de algas) las cuales reducirán el volumen del poro.

Después de pasar por los cajones de tezontle, grava y arena, se puede proponer además un área de humedal para que el agua salga aún más limpia. Las plantas que se pueden utilizar para los humedales pueden ser gramíneas, ya que son organismos euri (amplio espectro) para casi todos los factores ambientales, los que les dan una amplia adaptabilidad para cualquier lugar.

Las gramíneas utilizadas deberán ser nativas, ya que se corre el riesgo que al utilizar gramíneas de otro lugar puedan volverse plaga.

### **Construcción de filtros**

Tal vez llegue el día donde no haya más opción y tengamos la obligación de reutilizar el agua. Para cuando eso suceda debes estar preparado y conocer los procesos de tratamiento a tu alcance.

Muchos son los lugares donde se llegan a perder cientos de sembradíos por falta de agua para riego. Pero si las personas reutilizaran el agua residual este problema se reduciría en gran medida.

Los pasos cómo hacer un filtro con materiales naturales es como hacer un filtro casero pero a gran escala, que puedes construir con ayuda de tus vecinos y así, en caso de tener una presa o similares en la cual se esté estancando y desperdiciando el agua, todos podrían tener acceso al agua tratada.

- Se propone colocar una rejilla en la salida del vertedero de la presa para la retención de partículas de mayor tamaño previo a su paso por el filtro.
- Luego se hacen los contenedores o estanques por los que circulará el agua a través de estratos granulares (piedras pequeñas), los cuales estarán constituidos por tres capas: tezontle, grava y arena.

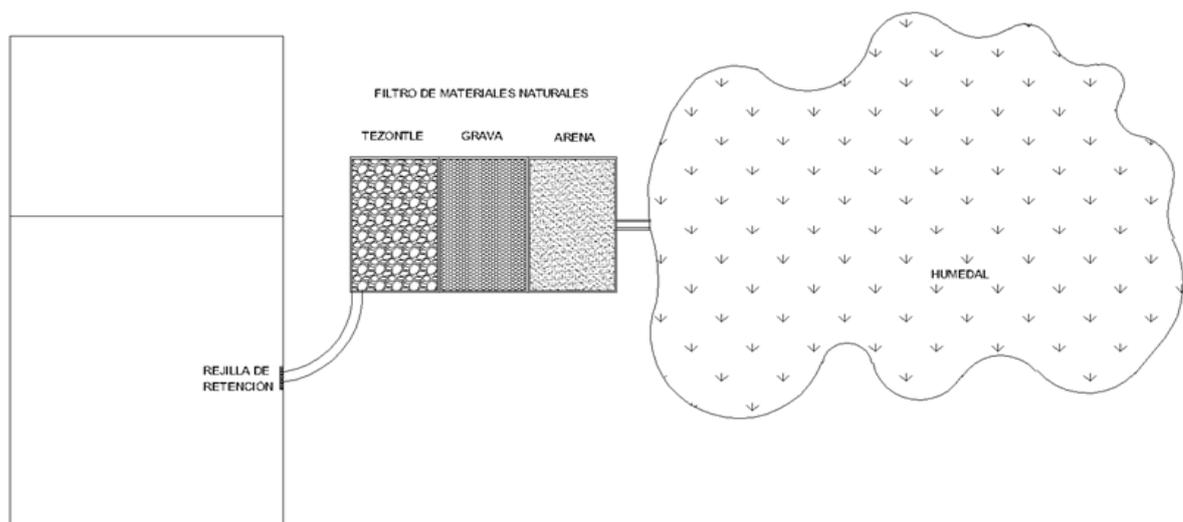
Se deben tener en cuenta: el tamaño de los estratos granulares, la distribución debe ser uniforme, la carga de agua y la velocidad de

filtración, misma que dependerá de la consistencia de los estratos granulares y el tamaño de ellos.

Los filtros funcionarán de la siguiente manera:

- Las partículas de mayor tamaño que los poros del tezontle, son retenidas mecánicamente por el material.
- Las partículas de tamaño menor que los poros del estrato granuloso quedan atrapados dentro del filtro por contacto aleatorio. Las partículas más pequeñas quedarán atrapadas en el último filtro de arena.

**Se debe tener un mantenimiento constante de los filtros;** dado que al acumularse las partículas formarán partículas de mayor tamaño, las cuales disminuirán la funcionalidad de los mismos. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el crecimiento biológico (principalmente de algas) las cuales reducirán el volumen del poro.



Después de pasar por los cajones de tezontle, grava y arena, se puede proponer además un área de humedal para que el agua salga aún más limpia.

Las plantas que se pueden utilizar para los humedales pueden ser gramíneas, ya que son organismos euri (amplio espectro) para casi todos los factores ambientales, los que les dan una amplia adaptabilidad para cualquier lugar.

Las gramíneas utilizadas deberán ser nativas, ya que se corre el riesgo que al utilizar gramíneas de otro lugar puedan volverse plaga.

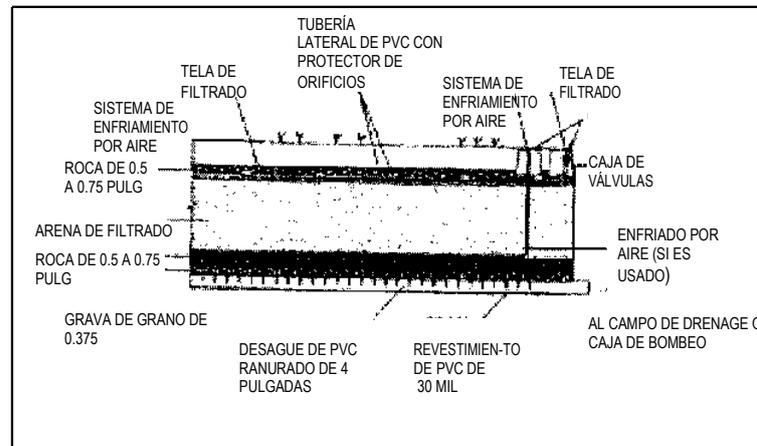
(Fuentes: Entrevista a los Ing. Amb. Nancy Sánchez e Ing. Amb. Aldo Miranda)

<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/filtro-aguas-residuales-133051.html>

### **Filtros intermitentes de arena**

Los filtros intermitentes de arena (FIA) tienen un lecho de filtración de 24 pulgadas de profundidad con un medio de tamaño cuidadosamente seleccionado. La arena es el medio más comúnmente usado, pero la antracita, residuos de minería, ceniza de fondo de incineradores, etcétera, también han sido usados. La superficie del lecho se dosifica en forma intermitente con efluente, el cual se percola en un paso simple hasta el fondo del filtro a través de la arena. Después de ser recolectado en el desagüe inferior, el efluente tratado es conducido a una tubería para tratamiento adicional o para su disposición. Los dos componentes básicos del sistema de FIA son una unidad (o unidades) de tratamiento primario (un tanque séptico u otro método de sedimentación) y el filtro de arena.

La Figura 1 muestra un esquema de un FIA típico.



Fuente: Orenco Systems, Inc., 1998.

Los FIA (filtro intermitente de arena), remueven contaminantes del agua residual mediante procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos. Si bien los procesos fisicoquímicos juegan un papel importante en la remoción de muchas partículas, los procesos biológicos desempeñan el papel más significativo en los filtros de arena. Los FIA generalmente se construyen debajo del nivel del terreno, en excavaciones de 3 a 4 pies de profundidad que están recubiertas por una membrana impermeable, en donde esto sea requerido. El desagüe está rodeado por una capa de grava de tamaño seleccionado y roca triturada cuyo extremo aguas arriba es ventilado y sobresale a la superficie. Sobre la capa de grava y roca se coloca grava de grano (de tamaño de arveja), y encima de esta se deposita la capa de arena. A continuación, se coloca otra capa de grava de tamaño seleccionado en donde se encuentran las tuberías de distribución. Una válvula de lavado se encuentra en el extremo de cada tubería lateral de distribución. Una tela de filtro de baja densidad se coloca sobre la capa final de roca, la cual evita que los limos se entremezclen con la arena al mismo tiempo que permite el paso del

agua y el aire. La capa superior del filtro se rellena finalmente con arena gredosa que puede contener vegetación herbácea.

## **2.10 Clima y meteorología de la zona de estudio**

La extensión del terreno, área donde funciona el relleno sanitario presenta un clima correspondiente al Bosque Húmedo – Montano Tropical (bh – MT), encontrándose a una altitud de 2810 a 2910 m.s.n.m. El ambiente es templado seco y soleado en el día, y frío en las noches, con una precipitación pluvial promedio de 650 mm anuales (siendo los meses de mayor precipitación los comprendidos entre octubre a abril y los meses de menor precipitación los comprendidos entre julio a agosto); la temperatura máximo promedio es de 21,75 °C y la mínima promedio es de 5,67 °C, mientras que la humedad relativa promedio es de 67 %. (MPC Ampliación y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos en el distrito de Cajamarca)

## **2.11 Topografía**

La topografía de la extensión del terreno, área donde funciona la Planta de Tratamiento, se caracteriza por variar de plana a ondulada en la parte central y de moderada a media en la parte inferior (10 a 15%), los márgenes en algunos tramos de las quebradas tienen pendientes del orden de 30 a 70 %. (MPC Ampliación y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos en el distrito de Cajamarca).

## **2.12 Aguas superficiales**

Las aguas superficiales en la extensión del terreno, área donde funciona la Planta de tratamiento, están representadas por la quebrada Chilca con un caudal constante del orden de 0.35 L/seg, el cual está alimentado por manantiales provenientes de las partes altas y del manantial Chilca, ubicado antes del límite norte, a su vez las quebradas temporales como Buitrón, y del medio sin nombre, y la tercera más al sur también sin nombre, todos estas quebradas drenan hacia el río

Cajamarca, de régimen permanente, ubicado a una distancia de 2930 metros lineales. (Municipalidad provincial de Cajamarca: ampliación y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos en el distrito de Cajamarca)

### **2.13 Aguas subterráneas**

En relación a las aguas subterráneas, la presencia de fuentes de abastecimiento de agua, son una evidencia de su presencia, como se puede corroborar de acuerdo el estudio geofísico. De los 13,60 metros respecto a la cota del terreno, hay una probabilidad de suelo húmedo y con indicios de agua, desde los 13,60 metros hasta una profundidad de 41,60 metros, a manera de una “bolsonada” de agua de 28 metros del SEV2, su origen es la acumulación y filtración de las aguas de lluvia, aprovecha las zonas planas principalmente que permite la infiltración de las aguas estancadas. (Municipalidad provincial de Cajamarca: ampliación y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos en el distrito de Cajamarca)

### **2.14 Usos del suelo**

En relación a la capacidad de uso mayor, la extensión del terreno, área donde funciona la Planta de tratamiento se encuentra ubicado dentro de la zona denominada producción forestal – protección. Estas tierras presentan limitaciones que no permiten la actividad agropecuaria, pero que sí son aptas para la producción de especies forestales, adaptados a las condiciones ecológicas del medio.

Con respecto al uso potencial del suelo, el área donde se realizó el estudio se encuentra ubicado dentro de la zona VII – VIII, donde el suelo es apto para pastizales o bosques con severas limitaciones al normal desarrollo, y donde también los suelos no son aptos para cultivos, pasturas ni forestales.

Por último, en referencia al uso actual, el área donde se ejecutó el estudio se encuentra ubicada dentro de la zona de tierras sin uso

actual, es decir dicha zona no es agrícola, y es factible de instalar edificaciones y viviendas o servicios. (Municipalidad provincial de Cajamarca: ampliación y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos en el distrito de Cajamarca)

## **2.15 Flora y fauna**

La flora predominante en la extensión del terreno, área donde funciona la Planta de Tratamiento son los denominados cultivos de pan llevar, tales como papa (*Solanum tuberosum*), olluco (*Ollucus tuberosum*), alverja (*Pisum sativum*), habas (*Vicia faba*), lentejas (*lens culinaris*), entre otros. Estos llegan a ocupar un área aproximada de 4 has. Según manifestaciones de algunos pobladores, se llega a cosechar entre 1 a 2 veces por año. También existen diversas especies de la zona tales como “pie de perro”, “chamisa”, “lloctara”, “retama”, “calvandro”, “penca”, entre otros. La fauna predominante la conforman aves como la “cargacha”, “santa rosa”, “lig lig”, “rabo blanco”, “huanchaco”, “perdiz”; eventualmente se han avistado vizcachas y zorrillos .

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

La Investigación se llevó acabo en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, ubicada en el sector denominado Palturo, jurisdicción del distrito de Jesús, provincia de Cajamarca, departamento y Región de Cajamarca cuyas coordenadas son: 788370E y 9201426N y una altitud de 2 818 msnm. La vía de acceso lo constituye la carretera Cajamarca - Namora, hasta la altura del kilómetro 13+800, para luego continuar en dirección Este a través de una trocha carrozable de 0.6 km. La sección de la trocha de acceso tiene un ancho promedio aproximado de 4 metros, encontrándose actualmente en regular estado de conservación.



**Figura 2.** Imagen satelital de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Cajamarca  
Fuente: Google Earth.2016

### Ubicación del área de Estudio

- El área del proyecto tiene por límites:
- Por el norte, con la Quebrada Chilca
- Por el este, con terreno de propiedad de terceros
- Por el sur, con la zona conocida como Capulipampa
- Por el oeste, con terreno de propiedad de terceros

## 3.2. Materiales y Equipos

### 3.2.1 Materiales y equipos de Laboratorio para análisis fisicoquímico

- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada
- Almidón al 10%
- Baldes de 20 litros
- Balanza marca "Sartorius" de 0,0001 g de sensibilidad
- Bureta graduada de 50 mL
- Beaker de 100 mL
- Campana desecadora, marca pobel modelo 929220
- Equipo multiparámetro Delta OHM HD 98569
- Espectrofotómetro MERCK SQ 118
- Estufa Marca MEMMERT rango Max °T = 250 °C
- Frascos Winkler
- Gotero
- Incubadora Solfarma
- Matraz Erlenmeyer de 50 y 100 mL
- Pipeta de 10 mL
- Recipiente para preparar la solución digestora
- Rejillas para tubos de ensayos.
- Solución buffer de fosfato
- Solución de sulfato de magnesio
- Solución del sulfato de manganeso
- Solución de cloruro de calcio

- Solución de cloruro férrico
- Solución yoduro alcalina
- Soporte universal con pinzas para buretas
- Tiosulfato de sodio 0,01 N

### **3.2.2. Materiales de campo**

- Alcohol puro de 96 °
- Arena gruesa
- Botas de jebe
- Cilindros 03 de 200 L
- Cámara fotográfica
- Caja de tecnopot
- Calculadora
- Carbón mineral
- Cita de embalaje.
- Geo textil
- Gravilla de ¾"
- Guantes quirúrgicos de latex descartables
- GPS Garmin Oregon 515
- Lapicero
- Libreta de campo
- Linterna de mano
- Mascarilla descartable.
- Manguera de ½"
- Palanas
- Papel toalla
- pH-metro
- Picos
- Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras (ácido sulfúrico).
- Plumón indeleble.
- Reloj

- Recipientes para muestras
- Válvulas de ½"
- Wincha.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1 Trabajo de campo**

Se realizaron las coordinaciones correspondientes con las autoridades encargados de la planta de tratamiento de disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, a fin de concedernos la autorización y así poder ubicar e identificar los puntos donde se tomaron las respectivas muestras de lixiviado. Además, para ubicar el lugar con su respectiva cubierta en donde se instalaron los filtros F-1, F-2 y F-3.

Luego se procedió a reunir todos los materiales necesarios que se utilizaron para la construcción de los 3 filtros, los cuales fueron: 03 cilindros, (fig N° 3), 23 latas de carbón mineral, 03 metros de manguera de ½", 01 wincha, 01 balde, 01 mandil, 01 par de guantes, 03 frascos de 1 litro de capacidad, 01 lentes, 03 micas, 0,5 m<sup>2</sup> de geotextil.

Luego de la instalación y puesta en marcha de los filtros, se realizó la toma de muestras después de dos días de iniciado el proceso de filtrado, en frascos de aproximadamente 01 litro por cada filtro y llevados al laboratorio para su análisis correspondiente, este proceso se realizó durante 04 meses. Durante el muestreo se tomaron todas las medidas de seguridad, tratando de que las muestras sean las más representativas posible, teniendo en cuenta, el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos que establece los procedimientos utilizados en la ejecución del Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos de la Autoridad Sanitaria – DIGESA para evaluar la calidad sanitaria.

### 3.3.1.1 Construcción de los filtros

#### a) Materiales empleados

Se construyeron tres filtros a base de cilindros metálicos rellenos con diferentes capas de materiales como: gravilla de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro, arena gruesa, carbón mineral y material propio (suelo); se instalaron frascos para recoger el líquido filtrado por un periodo aproximado de 30 minutos hasta obtener una muestra representativa para luego enviar al laboratorio para su respectivo análisis.

#### b) Capas pétreas de los filtros

Los diferentes materiales utilizados en las capas superpuestas son:

**Tabla N° 5.** Capas pétreas de los filtros

MATERIAL	FILTROS		
	F-1	F-2	F-3
Gravilla $\frac{3}{4}$ "	26,42 dm <sup>3</sup>	26,42 dm <sup>3</sup>	26,42 dm <sup>3</sup>
Carbón Mineral	39,63 dm <sup>3</sup>	26,42 dm <sup>3</sup>	13,21 dm <sup>3</sup>
Arena Gruesa	26,42 dm <sup>3</sup>	26,42 dm <sup>3</sup>	26,42 dm <sup>3</sup>
Suelo combinado	79,26 dm <sup>3</sup>	79,26 dm <sup>3</sup>	79,26 dm <sup>3</sup>
Lixiviado	39,63 dm <sup>3</sup>	39,63 dm <sup>3</sup>	39,63 dm <sup>3</sup>

### 3.3.1.2 Periodicidad del muestreo

Para cada punto de muestreo se realizó lo siguiente:

**Tabla N° 6:** periodicidad de muestreo

Mes	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Punto de muestreo (Planta de TRSC)
Agosto	29/08/2016	08:30 am	Lix F-1, F-2, F-3
Setiembre	20/09/2016	08:45 am	Lix F-1, F-2, F-3
Octubre	17/10/2016	08:20 am	Lix F-1, F-2, F-3
Noviembre	08/11/2016	08:40 am	Lix F-1, F-2, F-3

### 3.3.1.3 Toma de muestras

Se tomaron las muestras en los frascos debidamente rotulados de la llave ubicado a la salida de cada filtro F-1, F-2 y F-3, luego las muestras fueron llevadas al laboratorio con su respectiva codificación para su análisis. Los frascos y contenedores son rotulados correctamente y se tomaron las debidas medidas de seguridad durante el transporte de las muestras.

### 3.3.1.4 Métodos utilizados para el análisis

- **pH:** Método electrométrico. parte 4500-h-b SMEWW.APHA-AWWA-WEF.20 Ed.
- **Conductividad eléctrica:** Método de laboratorio. Parte 2510B. SMEWW.APHA-AWWA-WEF.20 Edition.
- **Solidos totales disueltos:** Gravimétrico. Parte 2540c.SMEWW.APHA-AWWA-WEF.20 Ed.
- **Cloruros:** Colorímetro, Method. Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
- **Nitratos:** cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls).
- **Dureza total:** Titulometria con EDTA.APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the examination of water and wastewater.
- **Sulfatos:** Sulfa ver 4 method. Adaptado de standard methods para análisis de aguas.
- **Cobre:** Bicinchoninate Methods Adaptado de nakano, s (chemical abstracts, 583390e: 1963).
- **Cromo:** 1,5 Diphenylcarbohydrazide Methods Adaptado de standard methods para análisis de aguas.
- **Hierro:** Ferro Ver Methods Adaptado de standard methods para análisis de aguas.

- **DBO:** *SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand 5 – Day BOD Test.*
- **DQO:** *SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method*

Las muestras fueron tomadas en unos frascos colocados a la salida de cada uno de los filtros: F-1, F-2 y F-3, y luego fueron llevados al laboratorio para su respectivo análisis, teniendo en cuenta que los parámetros a medir fueron:

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) corresponde a la cantidad de oxígeno consumido para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada. La muestra o dilución adecuada de la misma es incubada por 5 días a 20 °C en la oscuridad. Se midió la concentración de oxígeno disuelto antes y después de la Incubación, y el consumo de oxígeno corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno. (Aguinaga. 1996)

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida de oxígeno equivalente a la materia orgánica que es susceptible a ser oxidada por un oxidante químico fuerte, en condiciones específicas de temperatura y tiempo. La muestra se oxida con una cantidad conocida de dicromato de potasio en exceso, en medio ácido y con catalizadores. El dicromato de potasio remanente es determinado espectrofotométricamente a 600 nm. (Aguinaga. 1996)

- **pH**

El pH se determinó mediante la utilización de un electrodo específico de pH, in situ, en el lugar de muestreo. Al igual que la medición de temperatura, la medición del pH se realizó en la salida de los tres filtros F-1, F-2 y F-3.

- **Conductividad eléctrica**

Se inició Lavando cuidadosamente el electrodo con agua destilada luego se procedió a encender el Conductímetro asegurándose que la pantalla mostrará 0.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Luego Introducimos el electrodo en la muestra de lixiviado ya filtrado y directamente, aparecerá el resultado de la conductividad eléctrica que fue anotada en la libreta de campo reportando el dato obtenido.

- **Sólidos totales**

Es la sumatoria de todos los sólidos presentes en una muestra de lixiviado. Se procedió a Tarar una cápsula de la siguiente manera. Caliente la cápsula de porcelana limpia y seca a 103 - 105  $^{\circ}\text{C}$ , por una hora, enfriar en un desecador y pesar hasta peso constante. Luego se dejó enfriar la cápsula en el desecador hasta que sea necesario, se Pesó inmediatamente antes de usar la cápsula. Se procedió a Pipetear 100 mL de la muestra bien mezclada y depositar en la cápsula de porcelana tarada y evaporar hasta sequedad. Se dejó enfriar en el desecador y se pesó. Luego se Efectuaron los cálculos por medio de la ecuación:

$$ST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

ST: Sólidos totales, en mg/L

A: Peso final de la cápsula con el residuo seco, en gramos.

B: Peso inicial de la cápsula tarada en gramos.

V: Volumen de muestra desecada, en litros.

- **Dureza total**

Es la determinación de iones de calcio y magnesio presentes en una muestra de agua mediante el método titrimétrico. En un Erlenmeyer de 250 mL se logró pipetear 50 mL de muestra o una porción menos diluida con agua destilada hasta alcanzar un volumen de 50 mL.

Se añadió 1 o 2 mL de solución amortiguadora de acetato de amonio o de pH = 10, luego agregamos de 2-3 gotas de la solución indicadora de negro de eriocromo T.

Luego se colocó sobre un agitador magnético y se le agrega a la solución una barra agitadora forrada de teflón.

Se agito continuamente la solución, se titula con la solución de EDTA 0,02 N hasta el punto final de equivalencia, cuando la solución cambia de color rojo vino a azul.

- **Determinación de nitratos**

1. **Intervalo de medida.**

El intervalo se muestra es:

Longitud de onda: 338 nm

Intervalo de medida: 0,10 – 25 mg/L de  $\text{NO}_3^-$

2. **Campo de aplicación**

Aguas subterráneas y superficiales, agua de manantiales y pozos, agua potable, aguas industriales, aguas residuales y de infiltración, aguas minerales y medicinales, suelos y fertilizantes.

3. **Reactivos.**

- ✓ Ácido amido sulfúrico
- ✓ Varillas indicadoras de pH
- ✓ Hidróxido de sodio 1M
- ✓ Ácido sulfúrico al 25 %

#### 4. Preparación de la muestra

Se analizó las muestras inmediatamente después de la toma de muestras. Caso contrario conservar con ácido nítrico (1 mL por cada litro)

Se comprobó el contenido de cloruros con Merckoquant test de cloruros. Deben diluirse con agua destilada las muestras con más de 1,000 mg/L de  $\text{Cl}^-$ , también se comprobó el contenido de nitritos con Merckoquant test de nitritos. Si es necesario, eliminar los iones nitritos interferentes (las cantidades indicadas son válidas para contenidos en nitritos hasta 50 mg/L): tratar 10 mL de la muestra con aprox. 50 mg de ácido amido sulfúrico y disolver. El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 1 – 3. Si es necesario ajustar con ácido sulfúrico, hervir brevemente y dejar enfriar, también se revisó el contenido de nitratos con merckoquant test nitratos. Deben diluirse con agua destilada las muestras con más de 111 mg/L de  $\text{NO}_3^-$

#### 5. Técnica

- ✓ Introducir con una jeringa de plástico en un tubo de ensayo 4 mL del reactivo  $\text{NO}_3^-1$
- ✓ Añadir con una pipeta 0,5 mL de la muestra preparada (5 – 25 °C) ¡no mezclar!
- ✓ Añadir con una pipeta 0,5 mL del reactivo  $\text{NO}_3^-2$ . el tubo se calienta, luego mezclar.
- ✓ Dejar en reposo 10 minutos, luego introducir la muestra en el fotómetro.

#### 6. Recomendaciones

- ✓ Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco.
- ✓ Para la medición fotométrica las cubetas deben estar limpias.
- ✓ Las turbideces después de acabada la reacción dan como resultado valores falsamente elevados.

- ✓ El color de la solución es estable durante 30 min. se recomienda observar exactamente el tiempo de reacción de 10 min.

### **3.3.2 Trabajo de gabinete**

El trabajo de gabinete consistió en el procesamiento de datos, análisis y redacción de los mismos, teniendo siempre presente la codificación tabulación y revisión bibliográfica.

Para las determinaciones fisicoquímicas, se desarrollaron las formulas con los cálculos correspondientes a la determinación del oxígeno disuelto para poder hallar la demanda bioquímica de oxígeno. igualmente, los resultados obtenidos del análisis para la demanda química de oxígeno están representados en el capítulo IV al igual que los demás parámetros como los sólidos suspendidos totales, los valores del pH en cada uno de los puntos de muestreo, y los valores de la temperatura.

Los resultados tuvieron que ser contrastados con los estándares de calidad ambiental para aguas categoría 3.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados promedio del lixiviado antes y después del filtro roca

Se tomó de la poza de lixiviado antes de pasar por el filtro (INACAL) y después de cada filtro y los resultados fueron:

**Tabla N° 7.** Composición química del lixiviado y en los filtros

PARÁMETRO	Unidad de medida	RESULTADOS				
		Laboratorios				
		F-1	F-2	F-3	LIXIVIADO	INACAL (Lix)
pH	-	<b>7,72</b>	7.76	7,87	8.39	8,35
Sólidos Totales	mg/L	<b>2 814</b>	7 620,60	11 530,50	14 450	15 350
Conductividad Eléctrica	μS/cm	<b>3 610,50</b>	7 500,15	9 413,75	12 627,25	19 595
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	<b>101,50</b>	172,25	197,75	264,50	316.9
Dureza Total	mg/L	<b>456,50</b>	459,50	469,50	446,50	705
DBO <sub>5</sub>	mg/L	<b>21,50</b>	39,25	59,25	237,00	1 424
DQO	mg/L	<b>68,75</b>	253	518,50	1 179,25	4 449

Estos resultados nos muestran que el filtro F-1, tiene mayor recepción de sólidos totales, en comparación con los demás filtros colocados en cada cilindro, con un valor promedio de 2 814 mg/L, el valor de la conductividad eléctrica en el filtro F-1, también tiene una considerable disminución en comparación con los otros filtros, al igual que los valores de la DBO y DQO.

## 4.2 Resultados de los parámetros fisicoquímicos

### a) pH

El pH del lixiviado registrado es alcalino (pH = 8,39), lo que correspondería a un lixiviado joven.

**Tabla N° 8.** Resultados del ensayo para pH en lixiviado

	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
<b>LIXIVIADO</b>	8,48	8,42	8,35	8,41	8,39
<b>F-1</b>	7,68	7,65	7,76	7,81	7,72
<b>F-2</b>	7,40	7,96	7,77	7,90	7,76
<b>F-3</b>	7,66	7,96	7,91	7,94	7,87
<b>LMP max</b>	8,5	8,5	8,5	8,5	8,50

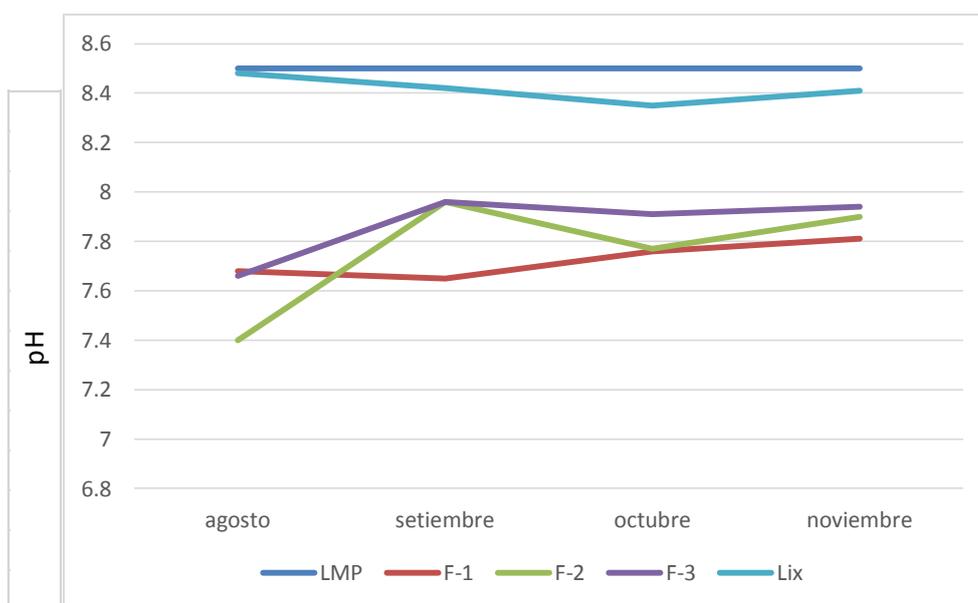


Figura N° 5. pH del lixiviado y producto final filtrado

El pH del lixiviado es 8,39 antes de su ingreso a los filtros; después de haber pasado por el filtro F-1, tiene un valor promedio de pH = 7,72; por el filtro F-2, tiene un valor promedio de pH = 7,76; por el filtro F-3, tiene un valor 7,87; los valores del líquido filtrado se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad (anexo tabla 1), se aprecia que a medida que pasa por el filtro hay un descenso en el valor, en comparación a la muestra de lixiviado inicial, esto indica que ha intervenido las diferentes capas pétreas que conforman el filtro obteniendo un pH, más bajo que la muestra inicial del lixiviado. Según Los Ecas-3, el pH en las aguas de riego es de 6,50 y 8,50. Las aguas con pH anormal pueden crear desequilibrios de nutrición o contener iones tóxicos que alterarían el crecimiento normal de la planta. El pH de la solución nutriente en contacto con las raíces puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas principalmente: El pH puede afectar la disponibilidad de los nutrientes: para que el aparato radical pueda absorber los distintos nutrientes, éstos obviamente deben estar disueltos. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas.

El pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan unos rasgos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (aluminio).

Respecto a su efecto sobre la bebida de animales, el riesgo se da si el pH es menor que 5,5, puede darse acidosis y una ingesta reducida de alimento en el ganado. El producto final filtrado en el tanque F-1 experimenta un leve descenso debido que la capa de

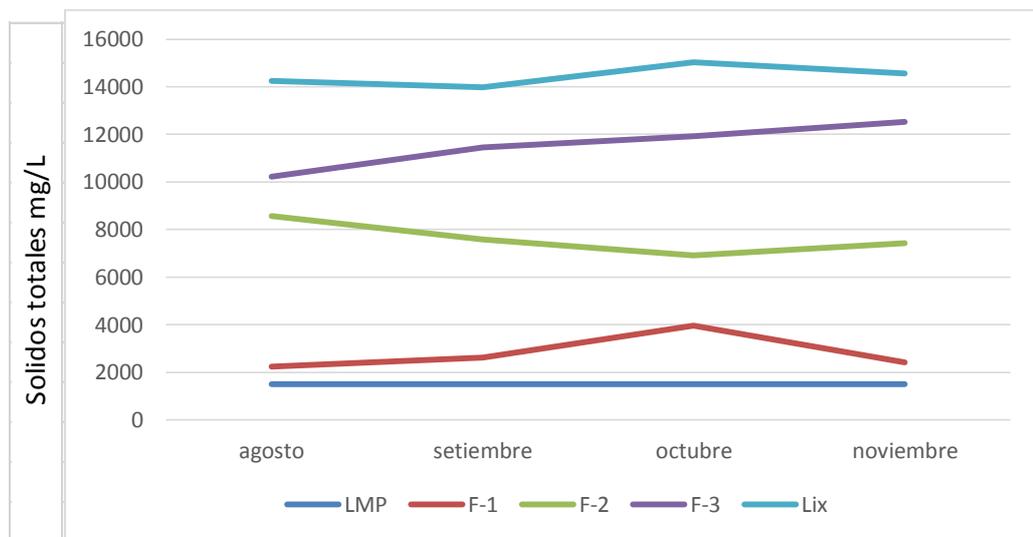
filtro de carbón mineral es de mayor altura con respecto a los demás tanques, como hay una mayor concentración de carbón mineral en el tanque F-1 produce cierta acidez al producto filtrado.

**b) Sólidos totales**

Se observan valores muy elevados de debido a la gran cantidad de materia orgánica que posee estos lixiviados.

**Tabla N° 9. Sólidos totales**

	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
<b>LIXIVIADO</b>	14 250	13 980	15 020	14 550	14 450
<b>F-1</b>	2 240	2 630	3 966	2 420	2 814
<b>F-2</b>	8 560	7 590	6 910	7 422	7 620,60
<b>F-3</b>	10 230	11 450	11 920	12 522	11 530,50
<b>LMP</b>	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500



**Figura N° 6. sólidos totales**

Las altas concentraciones de sólidos disueltos son debido al arrastre de materiales provocados por el aumento del caudal; es un índice importante en la determinación de los usos del agua, luego el producto filtrado tiene una menor concentración producto que los sólidos totales quedan retenidos en las diferentes capas filtrantes.

Se observaron valores un poco elevados debido a la gran cantidad de materia orgánica que posee estos lixiviados. En el filtro F-1, presentando una menor concentración de sólidos, en comparación a la del filtro F-3, esto se debe a las variaciones de materiales con la que está construido el filtro roca.

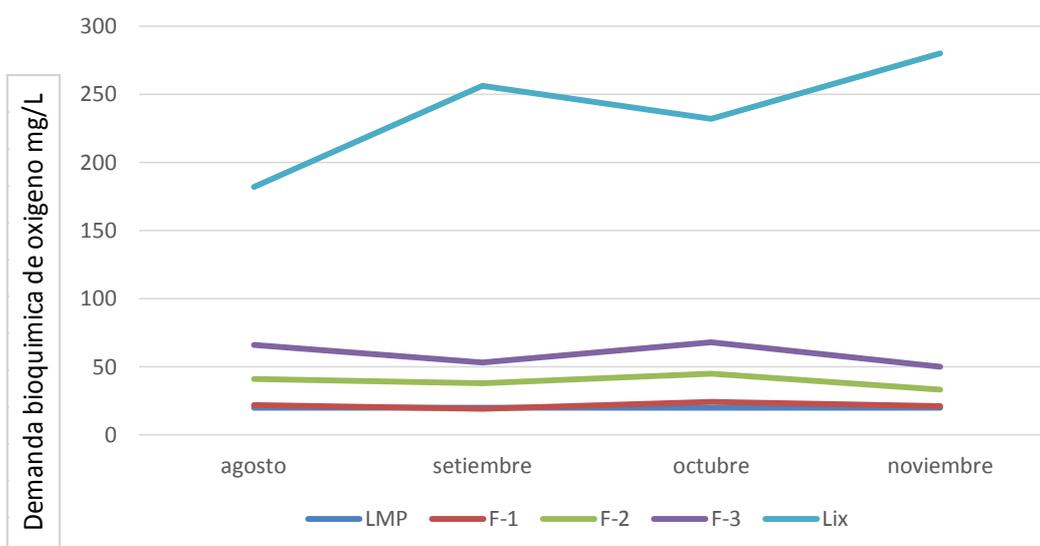
### c) DBO

Para la determinación de la Demanda Bioquímica de oxígeno se obtuvieron los siguientes valores durante los meses de monitoreo.

**Tabla N°10.** Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
<b>LIXIVIADO</b>	182	256	232	280	237,00
<b>F-1</b>	22	19	24	21	21,50
<b>F-2</b>	41	38	45	33	39,25
<b>F-3</b>	66	53	68	50	59,25
<b>LMP</b>	20	20	20	20	20,00

La normativa Nacional establecida en los Estándares de Calidad Ambiental para aguas categoría 3, ha señalado que la cantidad que rige como norma para la demando Bioquímica de oxígeno tiene un valor de 20 mg/L.



**Figura N° 7.** Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como DBO<sub>5</sub>. Según las reglamentaciones, se fijan valores de DBO. máximo que pueden tener las aguas residuales, para poder verterlas a los ríos y otros cursos de agua. De acuerdo a estos valores se establece, si es posible arrojarlas directamente o si deben sufrir un tratamiento previo.

Los valores encontrados nos indican que la planta de tratamiento de residuos sólidos Cajamarca está generando un lixiviado con una concentración promedio de 237 mg/L tomadas de agosto a noviembre. En el filtro F-1, se observa una concentración de 21,50 mg/L y en el filtro F-3 una concentración de 59,25 mg/L, lo que significa que en el filtro F-1 hay una disminución de la DBO.

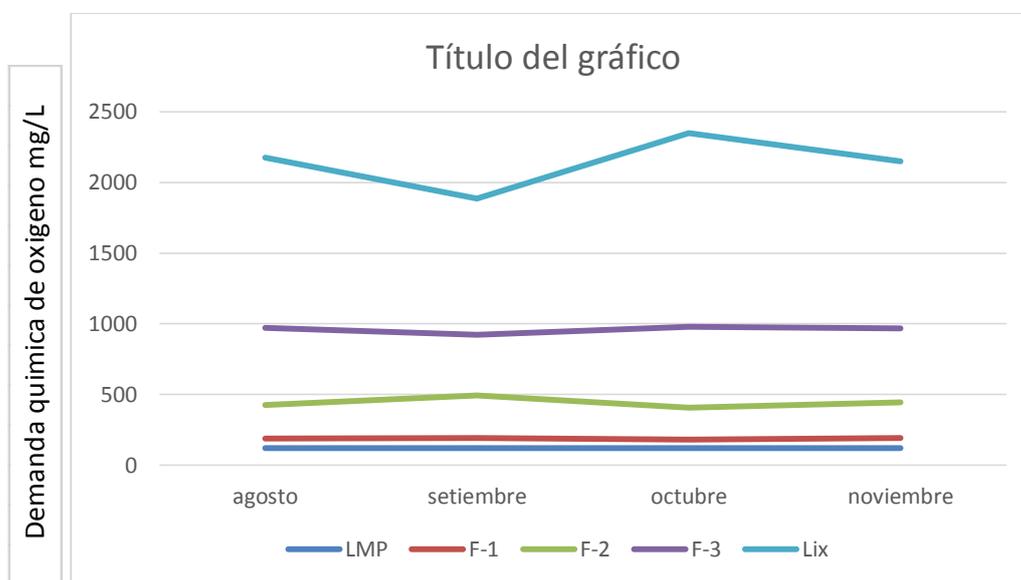
#### **d) DQO**

La DQO del lixiviado registrado correspondería a un lixiviado en la etapa metanogénica. La DQO, es la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación química de sustancias orgánicas (y algunas inorgánicas) contenidas en el agua analizada. Dado que el compuesto químico oxidante es mucho menos selectivo que los microorganismos, toda la materia oxidable presente se oxidará (incluso aquella que no sería descompuesta por microorganismos). Por lo tanto, los valores obtenidos de DQO serán superiores (o como mínimo iguales) a los valores correspondientes de DBO. Las muestras de lixiviados presentaron valores muy elevados (Villegas 2007).

En la Demanda Química de Oxígeno, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N°11.** demanda química de oxígeno (DQO)

ENSAYO	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
LIXIVIADO	1 202	965	1 372	1 180	1 179,25
F-1	69	72	61	73	68,75
F-2	236	301	225	250	253,00
F-3	548	428	572	526	518,50
LMP	120	120	120	120	120,00



**Figura N° 8.** Demanda química de oxígeno (DQO)

En los análisis promedio obtenidos tenemos que la demanda bioquímica de oxígeno supera largamente a lo que establece los Estándares de calidad ambiental categoría 3, según la legislación peruana. La concentración de este parámetro se debe a que el mayor componente de los residuos sólidos está dado por la materia orgánica

### **DBO, DQO e Índice de biodegradabilidad**

Otra característica observada en la muestra de lixiviado es el índice de biodegradabilidad es decir la relación DBO/DQO. Este valor es de

suma importancia dado que definen en gran medida el tipo de lixiviado y el tratamiento al cual deberá someterse.

En el cuadro 12, se describen las características del índice de biodegradabilidad.

**Tabla N° 12.** Índice de biodegradabilidad.

Índice de Biodegradabilidad	Tipo de lixiviado	Tipo
DBO/DQO > 0.3	Lixiviados jóvenes (1 fase ácido génica)	Biodegradable
DBO/DQO < 0.1 a 0.3 >	Lixiviados viejos parcialmente estabilizados	Medianamente biodegradable
DBO/DQO < 0.1	Lixiviados bien estabilizados (2 fase metano génica)	No /muy poco biodegradable

Fuente: Ingeniería Ambiental 2da edición (1999) J.Glynn & Gary W. Heinke

- (1) Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.
- (2) Esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono

Se puede observar de los resultados registrados que el índice de biodegradabilidad de la muestra de lixiviado es de 0.32 en el filtro F-1, lo que nos indica que es un lixiviado joven (fase acidogénica) de tipo biodegradable y pudiese ser tratado mediante procesos aerobios.

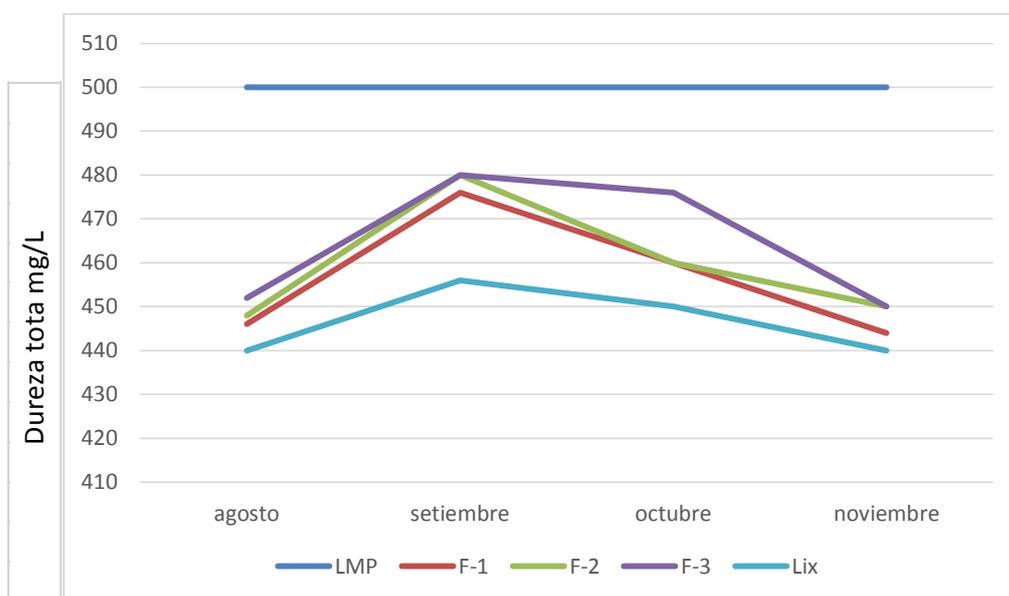
#### e) Dureza total

La dureza del agua se definió por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella, evaluados como carbonato de calcio y magnesio. Las aguas con bajas durezas se denominan blandas y biológicamente son poco productivas, por lo contrario las aguas con dureza elevada duras son muy productivas, la productividad esta generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a

estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada pero son menos productivas en términos de biomasa. El ECA-3, no establece valores de referencia para este parámetro, por esta razón se está comparando con el ECA-1. Se mide en unidades mg/L

**Tabla 13.** Dureza total.

ENSAYO	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
<b>LIXIVIADO</b>	440,00	456,00	450,00	440,00	446,50
<b>F-1</b>	446,00	476,00	460,00	444,00	456,50
<b>F-2</b>	448,00	480,00	460,00	450,00	459,50
<b>F-3</b>	452,00	480,00	476,00	450,00	464,50
<b>ECA-01</b>	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00



**Figura N° 9.** Dureza total en la muestra.

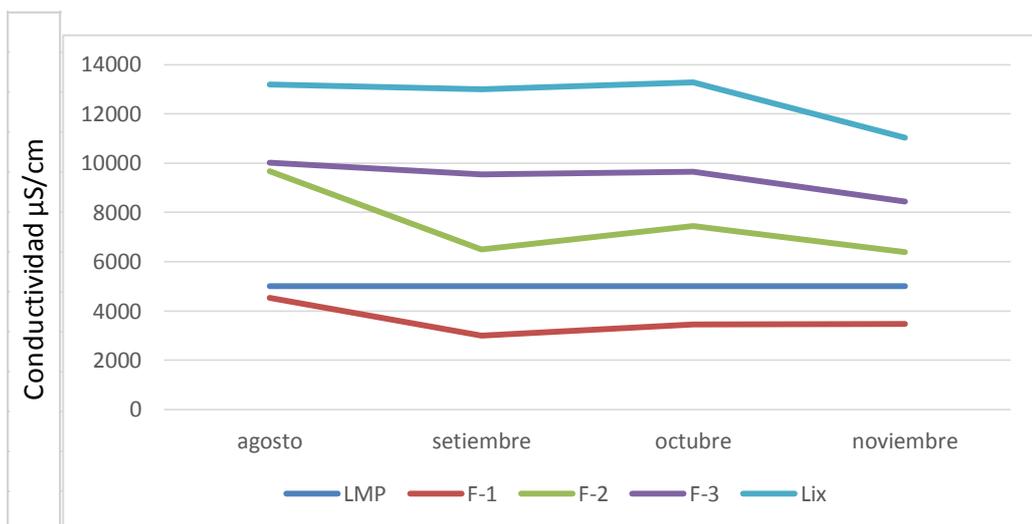
El análisis de este parámetro indico el aporte de compuesto formados por calcio y magnesio que dan la dureza a las muestras filtrada analizadas. Por lo que se torna más alcalina ya que el

lixiviado fluye por un filtro de naturaleza arcillosa y calcárea. Los datos obtenidos del análisis de laboratorio indican que este parámetro no superan los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en la legislación peruana. (ECA-03). Observamos que en filtro F-1, tiene una dureza de 456,50 mg/L y la máxima reportada es la del filtro F-3 con 464,50 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Lo que indica, que el filtro F-1 tiene una pequeña disminución de dureza del lixiviado y puede considerarse como el mejor filtro.

**f) Conductividad eléctrica.**

**Tabla 14.** Conductividad

ENSAYO	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
LIXIVIADO	13 200	12 992	13 279	11 038	12 627,25
F-1	4 524	2 988	3 450	3 480	3 610,50
F-2	9 680	6 490	7 455	6 378	7 500,75
F-3	10 020	9 540	9 645	8 450	9 413.75
ECA-03	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000



**Figura N° 10.** Conductividad

La conductividad eléctrica se mide en unidades  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y está relacionada con el contenido de sólidos disueltos en las aguas; según los resultados obtenidos los lixiviados presentan valores altos de conductividad lo cual indican que en estos se presentan un alto grado de mineralización.

Los riesgos de un agua de riego con una alta conductividad eléctrica son:

- **Daño al cultivo:** por una solución demasiado concentrada en sales que produce interferencias en la absorción radical. Normalmente la concentración de sales es mayor dentro de la célula que en el agua del suelo. Si esto no ocurre, no se produce absorción de agua y la planta se marchita. (Salinización del suelo)

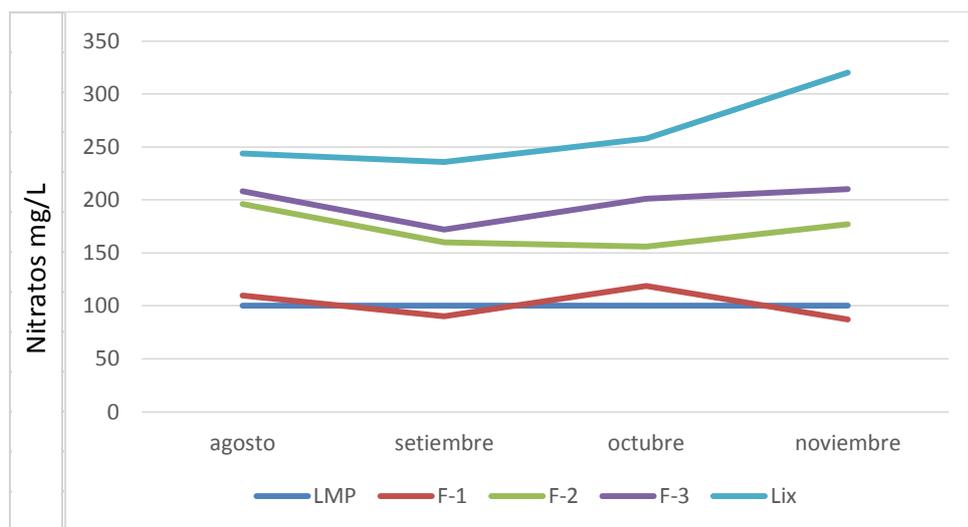
El lixiviado no paso los estándares del ECA-03, el lixiviado ya filtrado tiene una concentración menor de sales ya que estas quedaron retenidas en las capas filtrantes por lo que experimenta un menor rango de conductividad eléctrica.

#### g) Nitratos.

**Tabla 15.** Resultados del ensayo para nitratos en lixiviado.

	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	PROMEDIO
LIXIVIADO	244	236	258	320	264,50
F-1	110	90	119	87	101,50
F-2	196	160	156	177	172,25
F-3	208	172	201	210	197,75
ECA-03	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Los nitratos se encontraron en el lixiviado en forma natural; sin embargo, su concentración se puede incrementar a niveles que afecten la calidad del agua, debido a actividades ganaderas o prácticas agrícolas. Se miden en unidades de  $\text{mg}/\text{L}$  y los valores obtenidos están por encima de los ECAs.



**Figura N° 11:** Concentración de nitratos en lixiviado y filtros

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- Podemos concluir que el pH del lixiviado al pasar por el filtro F-1, arroja un valor de 7,72; en el filtro F-2 con un valor de 6,76, y por el filtro F-3 un valor de 6,87; lo cual indica que para este parámetro se mantiene estable comparado con los límites máximos permisibles según norma MINAM DS-2009 ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ).
- De los resultados obtenidos, se observa que el filtro F-1, es el que mejor trata los lixiviados, ya que presenta valores que se acercan a los Límites máximos permisibles (LMP) según DS – 2009 - MINAM para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad, en comparación con los otros filtros F-2 y F-3.
- La conductividad eléctrica, registra valores altos que sobrepasan los LMP. En el F-1 fue 3 610,50  $\mu\text{S/cm}$ ; en el F-2; fue de 7 500,15  $\mu\text{S/cm}$  y en el F-3 fue 9 413,75  $\mu\text{S/cm}$  (tabla 07), teniendo en cuenta que el valor máximo para riego de vegetales es 2 500  $\mu\text{S/cm}$  y para bebidas de animales es de 5 000  $\mu\text{S/cm}$ .
- De acuerdo a la concentración de Sólidos Totales, se observan valores muy elevados debido a la gran cantidad de materia orgánica que posee estos lixiviados, los cuales son retenidos por los filtros quedando en el Filtro F-1, la mayor concentración de sólidos totales con un valor de 2 814 mg/L.
- De manera general se logró evaluar el filtro roca, mediante un análisis fisicoquímico del lixiviado, realizados en diferentes periodos, mostrándose resultados con parámetros que no cumplen con los Límites máximos permisibles (LMP) según DS – 2009 - MINAM para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad.

- En la muestra de lixiviado filtrado, después del filtro F-1, el índice de biodegradabilidad es decir la relación DBO/DQO es de 0,31, lo cual, se les puede dar un tratamiento mediante procesos aerobios.
- Los resultados de los lixiviados generados en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de Cajamarca, fue para conocer la calidad del lixiviado e indicar un tipo de tratamiento.

## **RECOMENDACIONES**

- Construir filtros con diferentes capas de material (aumentar espesor del carbón, probar con otros materiales) y realizar los análisis fisicoquímicos (construir tabla de carbón vs concentración) y bacteriológicos correspondientes, para caracterizar mejor la calidad del lixiviado.
- En síntesis, mediante el presente trabajo, se sugiere incentivar mayor interés en los procedimientos de tratamiento de las aguas residuales y lixiviados originadas en la ciudad de Cajamarca, obteniendo que los parámetros existentes se encuentren dentro de los Límites máximos permisibles (LMP) según DS – 2009 - MINAM para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad, estipulados por las autoridades nacionales de nuestro país, brindando de esta manera un aporte ambiental significativo a la población y su medio.
- Se recomienda que el lixiviado puro y el lixiviado filtrado, se deben someterse a más tratamientos, para obtener un conocimiento total de lo que contiene un lixiviado puro y un lixiviado filtrado
- Se debe utilizar los equipos de protección personal correspondientes, para el tratamiento de los lixiviados al llenar los filtros, y tomar las muestras.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, M. (1997). Salud Ambiental. Aportes al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú. 1era. Edición. Lima – Perú, 102 Pág.
- Arboleda. J. (2000). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Tercera Edición, por Mcgraw– Hill/Interamericana, Bogotá – Colombia, 361 Pág.
- Barnes D. y Bliss P. J. (2003) El Control Biológico de Nitrógeno en el Tratamiento de Aguas Residuales. Ed. E.& F.N. Spon. E.U.A.
- Blundi, C.E. 2008. Aplicación de métodos alternativos para la determinación de materia orgánica en aguas residuales. Trabajo de grado en Doctorado en Hidráulica y Saneamiento. Universidad de San Carlos. Brasil. 329 pp.
- Boari, G., Mancini, I., Trulli, E. 2007. Tecnologías de tratamiento para agua y aguas residuales. 31: 261 – 287.
- Brack, A. y Mendiola, C. (2002). Disposición de aguas servidas. Disponible en: [www.peruecologico.com.pe](http://www.peruecologico.com.pe).
- Chung, B. 2009. Reglamentación para Obtener Autorización de Vertimientos y/ o Reúso. Área de Gestión de la Calidad del Agua y Vertimientos, Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos. Autoridad Nacional del Agua-ANA. Consultado el 11 de octubre del 2011.
- Costanza R. et al. (2008). Sección especial: Foro sobre la valoración de los servicios de los ecosistemas. El valor de los servicios de los ecosistemas. Economía Ecológica. Vol. 25, 1-2.
- Deocón, M.; FOLCH, M., SALGOT, M. 2002. Tecnologías innovadoras de regeneración y reutilización de Aguas Residuales. In press.
- Ehrig H., 1999, “Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos domésticos”, CEPIS/OPS.
- Estándares Nacionales de la Calidad Ambiental para Agua. (2008) Decreto supremo N°002-2008- MINAM.

- Environmental Protection Agency. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. EPA 821-R-98-016. Washington, D.C.: USEPA, 2011. (Consultado el 05 de abril del 2011).
- Ferrer, J; Seco, A. 2008. *Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales*. Primera Edición. Grupo Editor Alfaomega
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAMA). 2010. *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Lima.
- Fonfría, S. Y RIBAS, P. (1991). *Ingeniería Ambiental Contaminación y Tratamientos*.
- Glim, J. y Heinke, G. (1996). *Ingeniería Ambiental*. Segunda Edición. Prentice Hall. México.
- *Impacto Ambiental de los Proyectos de Uso de Aguas Residuales*, Ing. Guillermo León Suematsu – CEPIS/OPS
- Jaramillo, J. (1999). *Guía Para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*. Washington, D.C. 169 Pág.
- Kliely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. Primera Edición por Mcgraw–Hill/Interamericana de España, S.A.U. Volumen II. 407 Pág.
- Ley General de Salud N° 26842. Congreso de la República.
- Ley orgánica de Municipalidades Ley N° 27972. Congreso de la República. Lima - 2003.
- Ley General de Residuos Sólidos Ley N° 27314. Congreso de la República. Lima, 21 de junio de 2000.
- Ley General de Ambiente, Ley N° 28611. Publicada el 27 de mayo de 2003.
- Leyva, P. 2008. *El medio ambiente en el Perú*. Primera Edición. IDEAM. Lima. 112 pp.
- Lindenauer, K.G. y Darby, J.L. 2004. *Desinfección de Aguas Residuales con Ultravioleta: Water Research*, 2004; vol. 28(4):805-817.
- Liu, D., y Lipták, B. 2009. *Tratamiento de aguas residuales*. Primera Edición. Editorial Lewis. USA. 1269 pp.

- Mara, D., y Cairncross, S. 2000. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura: medidas de protección de la salud pública. Organización Mundial de la salud. Ginebra. 212 pp.
- Marco, A., Esplugas, S. y Saum, G. 2007. Cómo y por qué se combinan los procesos químicos, biológicos para el tratamiento de aguas residuales. *Wat. Sci.Tech.*, 35,321-327.
- Martínez, S; Rodríguez, M. 2005. Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB. Determinación de los Parámetros Biocinéticas. Editorial Reverte, S.A. Impreso en México. Pág. 235.
- Menéndez, G. y Pérez, J. 2007. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. Editorial Félix. La Habana. Cuba.
- Metcalf y Eddy. 2003. Ingeniería para Aguas Residuales. Tratamiento y reuso. Cuarta Edición. Editorial Mc Graw Hill. Boston, Massashuttes. 1819 pp.
- Muñoz. 2005, Efecto de los Desplazamientos Biocenóticos sobre la Capacidad de Remoción de Fósforo en un Reactor Discontinuo con Biopelícula. Tesis de Maestría. Fac. de Química UNAM. México.
- Orozco, A. 2005. Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño. Editorial Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Páginas 412.
- Paragusu, F. y Rojas, C. (2002) Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza pública. Segunda Edición por OPS/CEPIS Lima – Perú.
- Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial (Autoridad Nacional del Agua – Ministerio de Agricultura) Marzo 2011.
- Protocolo de monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Superficiales (Dirección de ecología y protección del ambiente- área de protección de los recursos hídricos) Lima 2007.

- Qasim, S.R. 2009. Planificación, Diseño y Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Segunda Edición. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 2009.
- Ramalho, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales y Calidad de las Aguas. Editorial Reverté, S.A. Segunda Edición. España. Pág. 697.
- Romero, J. 2008. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Editor Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera Edición. Pág. 1248.
- Russell, D. 2012. Tratamiento de Aguas Residuales. Un Enfoque Práctico. Editorial Reverté .S.A. Impreso en España.
- Reglamento General de los Residuos Sólidos.  
DS. N°057- 04-PCM. Congreso de la república del Perú. Lima, 21 de junio de 2000.
- Rosa, E. Yayas B. (2006). Tratamiento Anaerobio de lixiviados. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rozano, E. y Dapena J. (2002) Tratamiento Biológico de la Aguas Residuales. Editorial Pridesa, España, 497 Pág.
- Seoáñez, M. (2000). Residuos: Problemática, Descripción, manejo, aprovechamiento y Destrucción. Ediciones Mundi – Prensa España. 486 Pág.
- Sánchez, J. 2003. Evaluación y monitoreo microbiológico y fisicoquímico de una planta de tratamiento de aguas residuales por rizofiltración, en una empresa productora de discos compactos. Bogotá D.C. Trabajo de grado

### **Bibliografía en línea**

Planta de tratamiento biológico de lixiviados en reactores a presión con posterior ultrafiltración:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/arratia>

- Estándares de Calidad Ambiental de Agua. Grupo N° 3 Riego de Vegetales y Bebida de Animales. Disponible en: <http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA>
- Cifras Ambientales 2014. Sistema Nacional de Información Ambiental <http://sinia.minam.gob.pe/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=1477>
- Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales - OEFA – Disponible en: [www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno. Disponible en: <https://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/demanda-bioquimica-de-oxigeno.pdf>.
- Caracterización de Aguas Residuales por DBO y DQO. Disponible en: <http://filtrosyequipos.com/GUEST/residuales/dboydqo2.pdf>.
- Prueba de Demanda Química de Oxígeno. Disponible en: <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-201-2006.pdf>.
- Determinación de Sólidos Suspendidos Totales. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos\\_Tecnicos.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos_Tecnicos.pdf).
- Relación DBO/DQO. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5275/1/38901.pdf>
- Construcción de filtros naturales para aguas residuales. Disponible en: <https://www.veoverde.com/2013/11/construccion-de-filtros-naturales-para-aguas-residuales/>
- Cómo hacer un filtro casero para aguas grises. Disponible en: <http://www.ocio.net/estilo-de-vida/ecologismo/como-hacer-un-filtro-casero-para-aguas-grises/>  
<http://www.ods.org.pe/ODSv2/RCZ/SA1-1.php>  
<https://www.veoverde.com/2013/11/construccion-de-filtros-naturales-para-aguas-residuales/>

# **ANEXOS**

## PANEL FOTOGRAFICO

Figura N°12: Reconocimiento de campo y ubicación del punto de muestreo.



Figura N°13: Toma de muestra de lixiviado.



Figura N° 14: Analizando las muestras



Figura N° 15: Analizando las muestras de lixiviado



Figura N°16: Preparando los filtros F-1, F-2, F-3



Figura N° 17: Estado actual de los filtros





Figura N° 18: Con el Ingeniero Residente de la planta y mi asesor verificando el estado de los filtros



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Agente Contaminante:** toda aquella sustancia cuya incorporación a un cuerpo de agua conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de este.

**Ambiente:** Es el conjunto de fenómenos o elementos naturales y sociales que rodean a un organismo, a los cuales este responde de una manera determinada. Estas condiciones naturales pueden ser otros organismos (ambiente biótico) o elementos no vivos (clima, suelo, agua). Todo en su conjunto condiciona la vida, el crecimiento y la actividad de los organismos vivos.

**Contaminación hídrica:** Cuando la cantidad de agua servida pasa de cierto nivel, el aporte de oxígeno es insuficiente y los microorganismos ya no pueden degradar los desechos contenidos en ella, lo cual hace que las corrientes de agua se asfixien, causando un deterioro de la calidad de las mismas, produciendo olores nauseabundos e imposibilitando su utilización para el consumo.

**Cuerpo Receptor:** es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, tubería, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

**Disposición Final:** es el punto de descarga final del agua que ha sido tratada anteriormente.

**Eutrofización:** el aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno o de fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta.

**Fangos:** Los lodos residuales tratados o no, procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

**Flujo de Entrada:** Es el agua que entra a las alcantarillas desde la superficie, durante eventos de precipitación, a través de fisuras en el sistema, o a través de conexiones de tejados o drenajes de sótanos.

**Flujo Permanente:** se produce cuando la descarga o caudal en cualquier sección transversal permanece constante.

**Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

**Proceso biológico:** Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

**Sedimentación:** es el proceso en donde los floculo se trasladan a un tanque, donde por su propio peso se precipitan.

**Sistema colector:** Todo sistema de conductos que recoja y conduzca las aguas residuales urbanas, desde las redes de alcantarillado de titularidad municipal, a las estaciones de tratamiento.

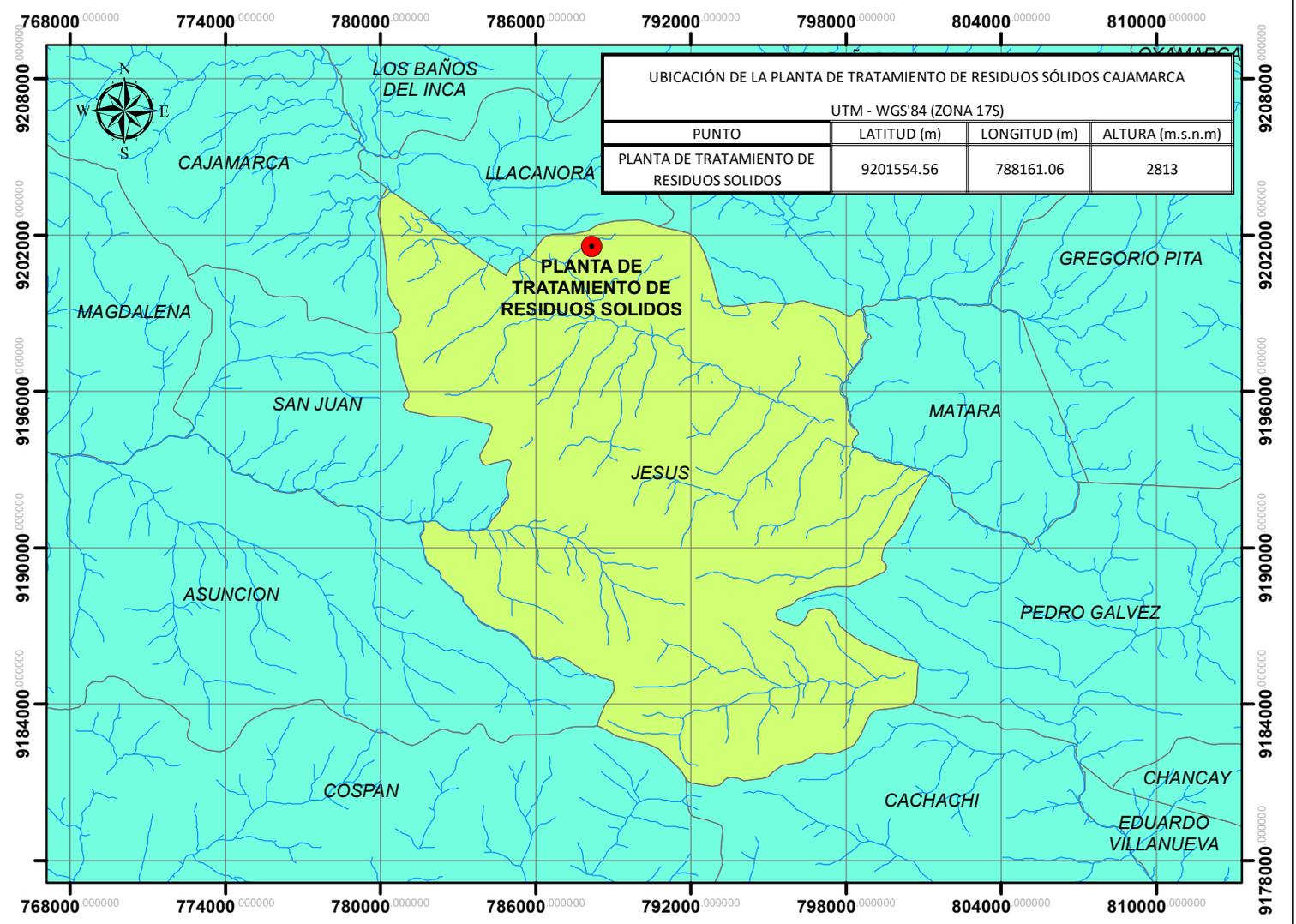
**Sólidos:** De forma genérica se puede denominar sólidos a todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua que no son agua ni gases. Atendiendo a esta definición se pueden clasificar en dos grupos: disueltos y en

suspensión. En cada uno de ellos, a su vez, se pueden diferenciar los sólidos volátiles y los no volátiles.

**Sólidos Suspendidos Totales:** son aquellos que son visibles y por lo regular flotan en las aguas residuales entre la superficie y en fondo, estos pueden ser removidos por diferentes medios, que pueden ser físicos o mecánicos a través de algún proceso de sedimentación o filtración.

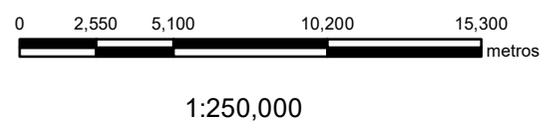
**Temperatura:** La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

**Vida Útil:** es el periodo de tiempo que las estructuras realizan su función en un 100%.

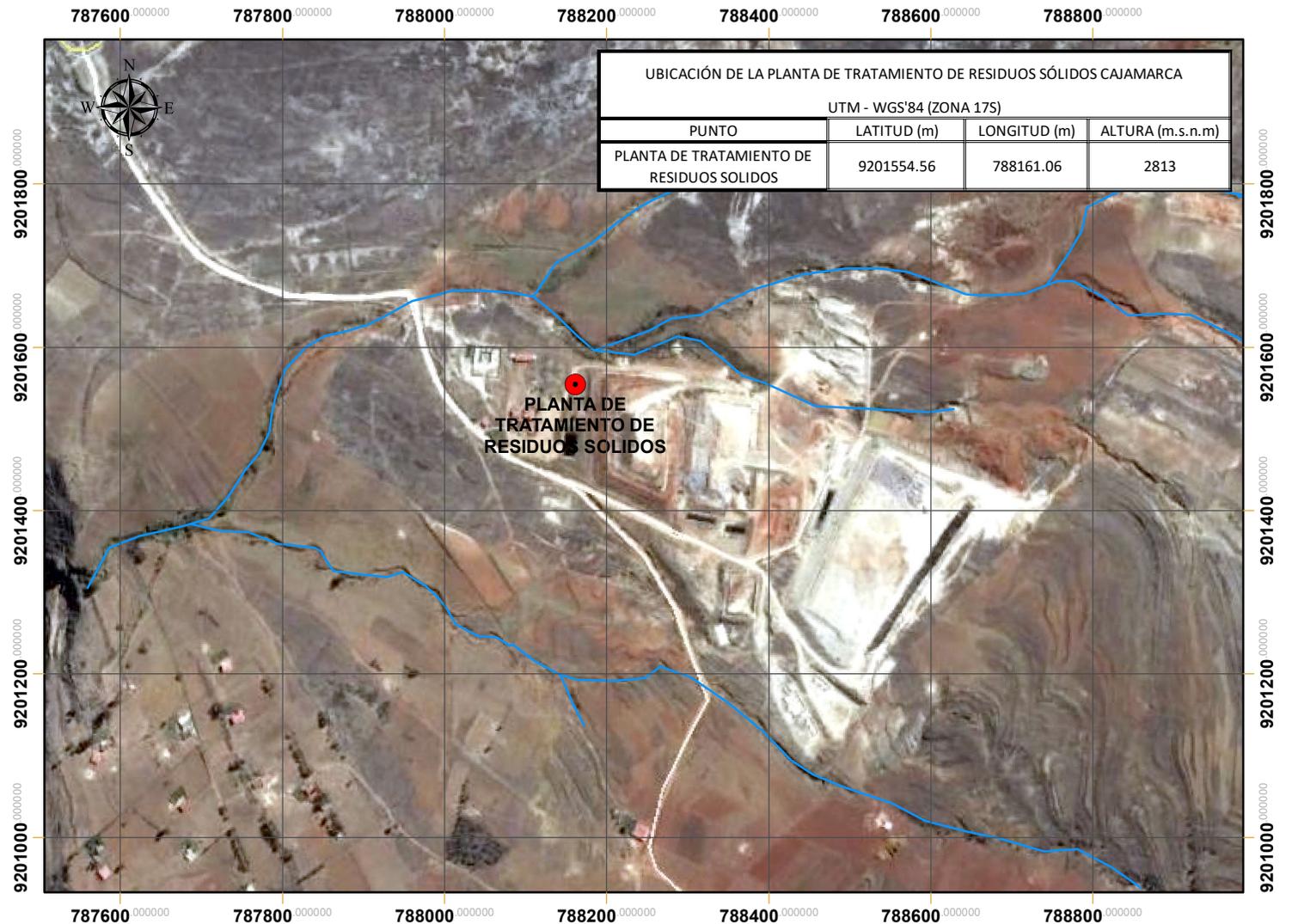


**LEYENDA**

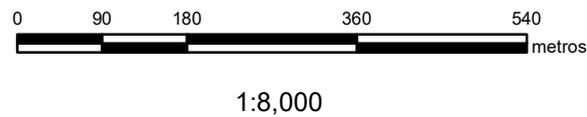
- PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS
- DRENAJE
- DISTRITOS DE CAJAMARCA
- DISTRITO DE JESUS



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS <b>E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL</b>		
<b>EVALUACIÓN DEL FILTRO ROCA PARA EL TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DEL LIXIVIADO EN LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS CAJAMARCA</b>		<b>PLANO : UBICACIÓN</b>
<b>ASESORES :</b> ING. QUÍMICO JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO ING. AMBIENTAL EUGENIO LLANOS VILLANUEVA		<b>REALIZADO POR :</b> BACH. CHRISTIAN FRANCILES CHÁVEZ CHÁVEZ
<b>UBICACIÓN :</b> COMUNIDAD : PALTURO DISTRITO : JESUS PROVINCIA : CAJAMARCA DEPARTAMENTO : CAJAMARCA		<b>ESCALA :</b> 1/250000 <b>FECHA :</b> Cajamarca, diciembre del 2016
		<b>LAMINA N°:</b> <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">01</span>

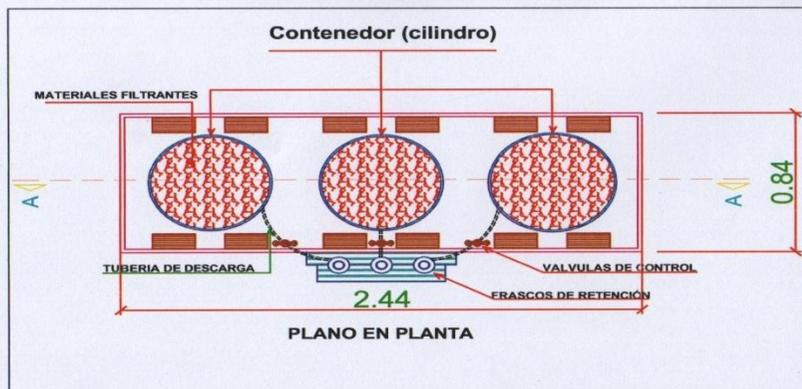


LEYENDA	
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS
	DRENAJE

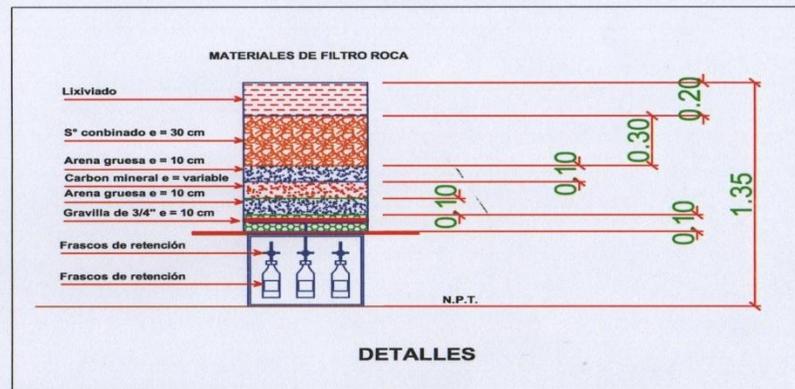


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS <b>E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL</b> 	
<b>EVALUACIÓN DEL FILTRO ROCA PARA EL TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO DEL LIXIVIADO EN LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS CAJAMARCA</b>	
<b>ASESORES :</b> ING. QUIMICO JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO ING. AMBIENTAL EUGENIO LLANOS VILLANUEVA	<b>PLANO :</b> <b>SATELITAL</b> <b>REALIZADO POR :</b> BACH. CHRISTIAN FRANCILES CHÁVEZ CHÁVEZ
<b>UBICACIÓN :</b> COMUNIDAD : PALTURO DISTRITO : JESUS PROVINCIA : CAJAMARCA DEPARTAMENTO : CAJAMARCA	<b>ESCALA :</b> 1/8000 <b>FECHA :</b> Cajamarca, diciembre del 2016
<b>LAMINA N°:</b> <b>02</b>	

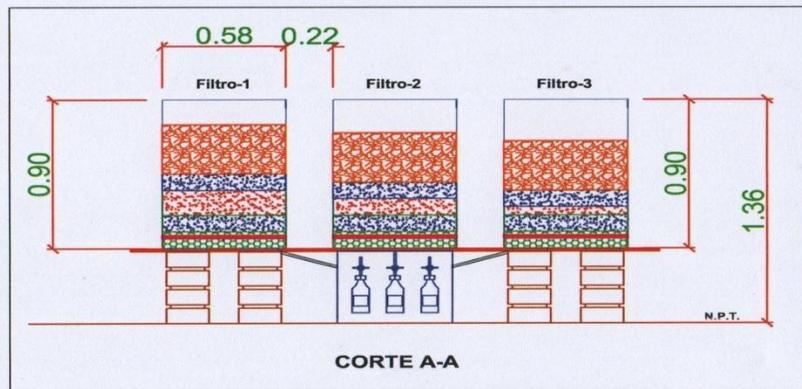
**PLANO EN PLANTA FILTRO ROCA**



**DETALLES DEL FILTRO**



**CORTE A-A**



**LEYENDA**

- N.P.T. : NIVEL DE PISO DEL TERRENO
- e : ALTURA DEL MATERIAL
- A-A : CORTE LONGITUDINAL
- 0.23 : ACOTACION EN METROS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
**E.A.P. INGENIERIA AMBIENTAL**



EVALUACIÓN DEL FILTRO ROCA PARA EL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DEL LIXIVIADO EN LA PLANTA DE T. RESIDUOS SÓLIDOS - CAJAMARCA		PLANO : <b>FILTRO ROCA</b>	
ABESORES: ING. QUÍMICO JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO ING. AMBIENTAL EUGENIO LLANOS VILLANUEVA		PLANO : BACH. CHRISTIAN FRANCILES CHÁVEZ CHÁVEZ	
UBICACIÓN		ESCALA :	LAMINA N°:
COMUNIDAD :	PALTURO	1/67	<b>03</b>
DISTRITO :	JESUS		
PROVINCIA :	CAJAMARCA		
DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA	PLANO : Cajamarca, diciembre del 2016	

DECRETO SUPREMO N° - 2009- MINAM

APRUEBA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) DE EFLUENTES DE  
INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS SÓLIDOS

Lima,

**CONSIDERANDO:**

Que, el artículo 3º de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, referido al rol del Estado en materia ambiental, dispone que éste, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseñe y aplique, entre otras, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 33º inciso 4 de la Ley General del Ambiente dispone que en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el artículo 1º de la Ley N° 28817, Ley que establece plazos para la elaboración y aprobación de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispone que la Autoridad Ambiental Nacional, que dirige el proceso de elaboración y revisión de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), culminará dicho proceso en un plazo no mayor de dos (2) años, contados a partir de la vigencia de la presente Ley;

Que, el Estado ha determinado como una acción prioritaria la determinación de LMP, para aquellas actividades que no lo tengan, de tal forma que se asegure el cumplimiento de objetivos ambientales. En ese sentido, el Congreso de la República aprobó la Ley que establece plazos para la Elaboración y Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación – Ley N° 28817 y el CONAM aprobó el Cronograma de Priorizaciones, a través del Decreto de Consejo Directivo N° 029-2006-CONAM/CD;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y sus funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y la Ley que establece plazos para la Elaboración y Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación.

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118º de la Constitución Política del Perú;

**DECRETA:**

**Artículo 1° - Del Objeto y Ámbito de Aplicación**

Establecer los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de infraestructuras de residuos sólidos con el objetivo de mitigar los efectos negativos en el ambiente, particularmente la contaminación de los cuerpos de agua, así como los riesgos a la salud de la población.

El presente Decreto Supremo es aplicable para todas las infraestructuras de residuos sólidos que se desarrollen en el territorio nacional.

**Artículo 2° - De las definiciones**

Para efectos de la presente norma, se consideran las siguientes definiciones:

- **Acreditación.** Testimonio de un tercero, relacionado con el organismo de evaluación de la conformidad, que comunica de manera formal el reconocimiento de su competencia para llevar a cabo labores específicas de la evaluación de conformidad" (Norma ISO/IEC 2004).
- **Caracterización del residuo sólido.** Determinación precisa de la calidad fisicoquímica, biológica y química del residuo sólido.
- **Contaminantes.** Sustancias sólidas, líquidas o gaseosas que al incorporarse al cuerpo receptor o al actuar sobre él, degradan o alteran su calidad anterior a dicha acción, en niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano; y/o que ponen en peligro los ecosistemas naturales o las actividades y recursos de interés humano.
- **Compost.** Es el producto final de descomposición aerobia de materia orgánica, proveniente de la apropiada separación de restos de verduras o animales. La materia orgánica es usada por los microorganismos como fuente de energía y nutriente por consiguiente ellos necesitan oxígeno. El compostaje es un proceso aerobio.
- **Cuerpo receptor.** Son cuerpos receptores, las aguas dulces superficiales, la atmósfera, los suelos, las estructuras geológicas estables y confinadas. La calidad de los cuerpos receptores se compara con los estándares de calidad ambiental respectivos.
- **Efluente líquido de las plantas de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad.** Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargado al ambiente. Los residuos sólidos son provenientes de:
  - a. El ámbito de gestión municipal (son los residuos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos).

b. El ámbito de gestión no municipal (son aquellos residuos generados en los procesos o actividades no comprendidos en el ámbito de gestión municipal).

b.1. Los residuos mineros y petroleros incluyen: los materiales que son removidos para tener acceso a los minerales, hidrocarburos y gas; sus procesos, es decir, cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras, petroleras o gas y las actividades conexas, incluyendo sísmicas, cateo, prospección, exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre, así como campamentos, cualquier campamento, oficina, taller o almacén relacionado con el desarrollo de las actividades en mención, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso y otros. Los residuos mineros y petroleros que destacan son los relaves mineros, desmontes, ripios, escorias, residuos industriales, cilindros y piezas metálicas, aceites, grasas, sustancias químicas, lodos de perforación y de cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con las actividades o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros-metalúrgicos, efluentes industriales y efluentes domésticos; entre otros.

b.2. Los restos de remediación de suelo contaminados. Los suelos contaminados que para ser remediados son llevados a otro lugar son residuo sólidos.

b.3. Los restos de las actividades productivas no mencionadas en los puntos anteriores, tales como las actividades: agrícolas, energéticas, industriales, pesqueras, forestales, turísticas.

- **Infraestructura de disposición final.** Instalación debidamente equipada y operada que permite disponer sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos, mediante rellenos sanitarios y rellenos de seguridad.
- **Infraestructura de transferencia.** Instalación en la cual se descargan y almacenan temporalmente los residuos de los camiones o contenedores de recolección, para luego continuar con su transporte en unidades de mayor capacidad, posibilitando la integración de un sistema de recolección con otro, de modo tal que se generen economías de escala.
- **Infraestructura de tratamiento.** Instalación en donde se aplican u operan tecnologías, métodos o técnicas que modifiquen las características físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, de manera compatible con requisitos sanitarios, ambientales y de seguridad.
- **Lixiviado.** Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión elementos o sustancias que se encuentren en los mismos residuos.

- **Lixiviación.** Separación de componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente adecuado.
- **Monitoreo.** Evaluación sistemática y periódica de la calidad de una muestra de un efluente o cuerpo receptor en un Punto de control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de efluentes.
- **Parámetro.** Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica de un efluente que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.
- **Punto de control.** Ubicación aprobada por la autoridad competente en la cual son obligatorios el monitoreo y el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles;
- **Programa de monitoreo.** Programa aprobado por la Autoridad Competente, en el cual se indican la ubicación de los puntos de control, muestreo, medición de parámetros, métodos de análisis y frecuencias de monitoreo de cada punto, el cual debe realizarse con su respectivo control de calidad.
- **Protocolo de monitoreo de aguas y efluentes.** Documento publicado por la Autoridad Competente en el que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo de la calidad de aguas y efluentes líquidos de las actividades mencionadas en el presente Decreto Supremo.
- **Plan de implementación para el cumplimiento del LMP.** Documento mediante el cual el Titular de la planta de tratamiento de residuos sólidos y disposición final justifica técnicamente y describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP.
- **Suelo contaminado.** Suelo cuyas características físicas, químicas y biológicas naturales han sido alteradas debido a actividades antropogénicas y que representan un riesgo para la salud humana o el ambiente.

**Artículo 3°.- De la aprobación de los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad**

Apruébense los Límite Máximos Permisibles para los efluentes de la infraestructura de residuos sólidos de acuerdo a la Tabla N° 01:

**Tabla N° 01**  
**Límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad**

	Parámetros	Unidad	LMP	Método de ensayo
I	Generales			
1	pH		6,5 – 8,5	APHA 4500-H+ - B Pág. 4-90 a 4-94 21ava edición

	Parámetros	Unidad	LMP	Método de ensayo
2	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	30	APHA 2540-D Pág. 2-58 a 2-59 21ava edición
II	<b>Orgánicos</b>			
3	DQO	mg/L	120	EPA method 410.1 600/4-79-020 REVISED MARCH
4	DBO	mg/L	20	APHA -AWWA-WEF 5210 B. 21st edition
5	Hidrocarburos Totales de Petróleo		10	DIN EN ISO 9377-2. Julio 2001
III	<b>Inorgánicos</b>			
6	Amonio (como N)	mg/L	10	
7	Arsénico total	mg/L	0,1	APHA 3114-C Pág. 3-37 a 3-38 21ava edición
8	Cadmio total	mg/L	0,1	APHA 3111-B, Pág 3-17 a 3-19, 21st Edition.
9	Cobre total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava edición
10	Cromo VI (*)	mg/L	0,1	Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA-AWWA-WEF. 3500 Cr-B 21 st Edition
11	Hierro total	mg/L	2	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava edición
12	Mercurio total	mg/L	0,01	APHA 3112-B Pág. 3-23 a 3-24 21ava edición
13	Plomo total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava edición
14	Zinc total	mg/L	0,5	APHA 3111-B Pág. 3-17 a 3-19 21ava Edición
IV	<b>Biológico</b>			
15	Coliformes totales	NMP/100 mL	1 000	APHA 9221 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition

(\*) En muestra no filtrada

Nota.-

Descarga directa: descargas a los cuerpos de aguas superficiales

#### **Artículo 4° - Obligtoriedad de los LMP y del plazo de adecuación**

El cumplimiento de los LMP establecidos en el presente Decreto Supremo es de exigencia inmediata para los titulares de infraestructuras de tratamientos, transferencias y disposición final que se inicien con posterioridad a la fecha de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Los titulares de las actividades mencionadas que, a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentren desarrollando actividades, deberán adecuar sus procesos, de tal forma que en el plazo máximo de tres años, contados a partir de la entrada en vigencia de la presente norma, cumplan con los LMP establecidos en el artículo 3°.

#### **Artículo 5° - Del programa de monitoreo**

Los titulares de infraestructuras de tratamientos, transferencias y disposición final están obligados a realizar el monitoreo de todos sus efluentes líquidos y cuerpos de



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084**

**IE 0616263**

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	ASUP . 1	ASUP . 2	ALIX . 1	-	-	-	-	
Código Laboratorio	0616263-01	0616263-02	0616263-03	-	-	-	-	
Matriz de Agua	NATURAL	NATURAL	RESIDUAL	-	-	-	-	
Descripción	Superficial	Superficial	Doméstica	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTDFRS - Caj.	PTDFRS - Caj.	PTDFRS - Caj.	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	0.006	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.021	<LCM	<LCM	1.386	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	0.073	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.095	0.225	0.2646	12.40	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.024	0.145	0.1536	0.222	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.001	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.066	101.10	107.4	134.8	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.001	<LCM	<LCM	0.014	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.011	<LCM	<LCM	0.106	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.001	<LCM	<LCM	0.554	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.003	<LCM	0.0045	0.049	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	0.330	0.3635	10.56	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.171	3.689	3.992	2017	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.010	0.0111	0.054	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.022	6.216	6.635	82.76	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.129	0.1363	0.314	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.036	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.095	26.14	26.61	1614	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	0.216	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.019	0.232	0.224	36.92	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.007	0.007	0.043	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.165	25.58	24.16	57.94	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	0.018	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	0.016	-	-	-
Silice (Si)	mg/L	0.037	6.35	6.598	7.381	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.006	0.481	0.5104	0.542	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	0.488	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.006	<LCM	<LCM	0.233	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.004	0.020	0.016	0.475	-	-	-

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084**

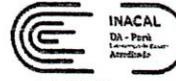


**IE 0616263**

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			ASUP . 1	ASUP . 2	ALIX . 1	-	-	-
Código Laboratorio			0616263-01	0616263-02	0616263-03	-	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	RESIDUAL	-	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	Doméstica	-	-	-
Localización de la Muestra			PTDFRS - Caj.	PTDFRS - Caj.	PTDFRS - Caj.	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	0.058	1.407	0.2044	5.482	-	-	-
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.050	25.77	38.62	3581	-	-	-
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.047	<LCM	<LCM	46.63	-	-	-
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	mg/L	0.076	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.085	2.695	6.004	316.9	-	-	-
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.067	43.20	88.36	36.13	-	-	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.056	0.399	0.120	60.01	-	-	-
° pH a 25°C	pH	NA	7.65	7.68	8.35	-	-	-
° Conductividad a 25°C	us/cm	NA	709	704	19595	-	-	-
(*) Sólidos Total	mg/L	2.5	450	485	15350	-	-	-
(*) Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	399	427	12850	-	-	-
(*) Sólidos Suspendidos Total	mg/L	2.5	<LCM	<LCM	30	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	310	301	705	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg/L	0.5	8.94	8.71	<LCM	-	-	-
(*) DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	6.0	<LCM	<LCM	1424	-	-	-
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	33.4	32.1	4449	-	-	-

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
(*) Bacterias Heterótrofas	UFC/mL	1.0	34 x 10 <sup>2</sup>	50 x 10 <sup>2</sup>	42 x 10 <sup>4</sup>	-	-	-
(*) Coliformes Totales	NMP/100mL	<1.8	9200	16000	7800	-	-	-
(*) Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	<1.8	1100	1600	1100	-	-	-
Formas Parasitarias	N° Org/L	1.0	<1.0	<1.0	18	-	-	-

Cajamarca, 28 de Junio de 2016.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084**

**IE 0616263**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag,Al,Ar,B, Ba,Be,Bi,Ca,Cd,Co,Cu,Cr,Fe,K,Li,Mn,Mg,Mo, Na,Ni,P,Pb,S,Sb,Se, Si,Sr, Ti,Ti,U,V,Zn)	mg/L	EPA 200.7(Validado). Rev 4.4. 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Mercurio por ASS-CV	mg/L	EPA 245.1(Validado). Rev 3.0. 1994. Determination of metals . Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrate, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+.B. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Conductivity. Laboratory Method
Sólidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Solids. Total. Solids Dried at 103-105°C
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Hardness EDTA Titrimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O <sub>2</sub> C, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Recuento de Bacterias Heterótrofas	UFC/mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215 A, B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Heterotrophic Plate Count. Pour Plate Method
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B,C. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B2,C,E1. 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Huevos y Larvas de Helminthos	N° HHL	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helminthos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

**OBSERVACIONES**

- BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa  
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado  
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.  
 (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado  
 (\*\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

**NOTAS FINALES**

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del Informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realizan los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

**Cajamarca, 28 de Junio de 2016.**