

1-1-2009

## **Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR's jurisdicción de la Car**

Karenn Andrea Márquez Supelano  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Cristian Steven Parra Mahecha  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)

---

### **Citación recomendada**

Márquez Supelano, K. A., & Parra Mahecha, C. S. (2009). Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR's jurisdicción de la Car. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/638](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/638)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE  
LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE  
PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**KARENN ANDREA MÁRQUEZ S.      41022068**

**CRISTIAN STEVEN PARRA M.      41022077**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ D.C.  
2.009**

---

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE  
LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE  
PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**KARENN ANDREA MÁRQUEZ S.      41022068**  
**CRISTIAN STEVEN PARRA M.      41022077**

**Proyecto de grado para optar al título de  
Ingenieros Ambientales y Sanitarios**

**Director**  
**NÉSTOR MANCIPE**  
**Ing. Ambiental y Sanitario**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**2.009**

---

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

---

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

Director del Programa

---

Firma del director.

---

Firma del jurado.

---

Firma del jurado.

Bogotá D.C. Abril de 2.009

---

---

## **DEDICATORIA**

Aquí concluye una etapa más de nuestra vida y junto a ello, nuestros conocimientos adquiridos plasmados en este proyecto por esto y más, se la dedicamos a quienes lo convirtieron en realidad.

A Dios por acompañarnos durante este trayecto y permitirnos alcanzar una meta más sin desfallecer en los momentos difíciles y de angustia.

A Nuestros padres quienes han sido más que una luz en nuestro camino, nuestro motivo de inspiración y un apoyo constante durante el transcurso de nuestras vidas.

A nuestras familias, hermanos y hermanas por el gran interés y apoyo en cada uno de los momentos difíciles.

A nuestros profesores y todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto.

***GRACIAS A ELLOS, LO QUE UN DÍA FUE UN SUEÑO HOY SE CONVIERTE EN REALIDAD.***

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Los Autores expresan sus agradecimientos:

Al Ingeniero Néstor Mancipe, director de esta investigación por su colaboración, dedicación y apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Jorge González, asesor de la investigación, por su constante motivación en el desarrollo del trabajo.

La Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), por permitir desarrollar el proyecto de grado en las PTAR's de los Municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá

A Germán Gómez Serna, Gerente General de la Ladrillera Superior, por su colaboración fundamental para el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Oscar Contenido, Coordinador del Laboratorio de ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, por su constante apoyo en los diferentes análisis

A José Luis Martínez, Coordinador del Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, por su colaboración.

A los tecnólogos y operarios de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de los Municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá por su colaboración.

---

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	23
<b>OBJETIVOS</b>	24
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	24
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	24
<b>1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES</b>	25
1.1. PROCESO AEROBIO	26
1.2. LODOS ACTIVADOS	27
1.2.1. Zanjón de Oxidación	29
1.2.2. Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	30
1.3. LODOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	33
1.3.1. Características de los lodos	33
1.3.2. Tratamiento de lodos	34
1.3.3. Alternativas de disposición de los lodos	38
<b>2. METODOLOGÍA</b>	41
2.1. PRIMERA FASE: Diagnóstico situacional de las PTAR's El Rosal, La Calera y Bojacá y sus lodos secundarios	41
2.2. SEGUNDA FASE: Comparación de alternativas de uso y aprovechamiento para lodos secundarios y selección y acondicionamiento del lodo secundario.	43
2.3. TERCERA FASE: Implementación de las alternativas de uso y aprovechamiento para la disposición de lodos secundarios	44
2.3.1. Alternativa No. 1: Recuperación del suelo erosionado por parte del sector floricultor	44
2.3.2. Alternativa No. 2: Fabricación de ladrillos cerámicos	45
2.4. CUARTA FASE: Evaluación técnica y económica de las alternativas de aprovechamiento y disposición de los lodos secundarios	45
<b>3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LOS LODOS SECUNDARIOS PROCEDENTES DE LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS DE LA CALERA, EL ROSAL Y BOJACÁ</b>	46
3.1. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA PTAR EL MUNICIPIO DE LA CALERA	46
3.1.1. Generalidades de la PTAR de La Calera	47
3.1.2. Funcionamiento de la PTAR La Calera	48
3.1.3. Unidades de tratamiento de la PTAR de La Calera	50
3.2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA PTAR EL MUNICIPIO DEL ROSAL	52
3.2.1. Generalidades de la PTAR del Rosal	52
3.2.2. Funcionamiento de la PTAR El Rosal	53
3.2.3. Unidades de tratamiento de la PTAR del Rosal	56
3.3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA PTAR DEL MUNICIPIO DE BOJACÁ	60
3.3.1. Generalidades de la PTAR de Bojacá	60
3.3.2. Funcionamiento de la PTAR de Bojacá	61

---

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

3.3.3. Unidades de tratamiento de la PTAR Bojacá	64
<b>3.4. CARACTERIZACIONES PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS DE LA CALERA, EL ROSAL Y BOJACÁ</b>	<b>67</b>
3.4.1. Caracterización del agua residual	67
3.4.2. Caracterización de lodos	73
3.4.3. Parámetros Físicoquímicos	74
3.4.4. Parámetros Microbiológicos	79
3.4.5. Metales Pesados	79
<b>4. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE USO Y APROVECHAMIENTO PARA LODOS SECUNDARIOS</b>	<b>81</b>
4.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	83
4.1.1 Alternativas de uso y aprovechamiento para los Biosólidos norma EPA 40 CFR-503.	83
4.1.2 Variables de comparación:	84
<b>5. SELECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL LODO SECUNDARIO DE UNO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO MUNICIPAL EN ESTUDIO</b>	<b>88</b>
5.1. SELECCIÓN DEL LODO SECUNDARIO	88
5.2. ACONDICIONAMIENTO DE LOS LODOS SECUNDARIOS DE LA PTAR EL ROSAL	90
<b>6. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL LODO SECUNDARIO DE LA PTAR EL ROSAL</b>	<b>91</b>
6.1. ALTERNATIVA 1: <i>Recuperación de suelo erosionado por el sector floricultor</i>	91
6.1.1. Determinación del suelo para estudio	91
6.1.2. Toma de muestra	92
6.1.3. Experimentación	94
6.2. ALTERNATIVA 2: <i>Incorporación del lodo secundario para la fabricación de ladrillo cerámico</i>	98
6.2.1. Pre-experimentación	99
6.2.2. Experimentación	105
6.2.3. Pruebas de Resistencia	108
<b>7. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS</b>	<b>113</b>
7.1. TÉCNICA	113
7.2. ECONÓMICA	114
7.2.1. Alternativa 1: <i>Recuperación de suelo erosionado por el sector floricultor</i>	114
7.2.2. Alternativa 2: <i>Incorporación de lodo secundario en la fabricación de ladrillo cerámico.</i>	118
7.2.3 Punto de Equilibrio	121
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>125</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>130</b>

---



## **LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Proporciones para la incorporación de lodo en la recuperación del suelo .....	44
<b>Tabla 2.</b> Información general del Municipio de La Calera.....	46
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones de la PTAR de La Calera .....	47
<b>Tabla 4.</b> Especificaciones de diseño de la PTAR La Calera.....	47
<b>Tabla 5.</b> Información general del Municipio del Rosal .....	52
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones de la PTAR del Rosal.....	53
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones de diseño de la PTAR del Rosal .....	53
<b>Tabla 8.</b> Información general del Municipio de Bojacá .....	60
<b>Tabla 9.</b> Especificaciones de la PTAR del Municipio de Bojacá.....	61
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones de diseño de la PTAR del Municipio de Bojacá .....	61
<b>Tabla 11.</b> Comparación de valores del lodo secundario de las PTAR´s El Rosal, La Calera y Bojacá con la norma EPA 40 CFR - 503 .....	82
<b>Tabla 12.</b> Matriz de comparación entre las alternativas de la categoría A y B para la disposición de Biosólidos .....	85
<b>Tabla 13.</b> Matriz de comparación de eficiencias de las PTAR`s objeto de estudio	89
<b>Tabla 14.</b> Cantidad de Nitrógeno total, Potasio y Fósforo contenido en las muestras de estudio.....	93
<b>Tabla 15.</b> Comparación de valores de acuerdo al tipo de suelo .....	94
<b>Tabla 16.</b> Proporciones para la incorporación de lodo en la recuperación del suelo .....	94
<b>Tabla 17.</b> Proporciones Mezcla de lodo – suelo estudio (Aguapucha II), para un montaje .....	95
<b>Tabla 18.</b> Mezcla de lodo – arcilla en gramos .....	101
<b>Tabla 19.</b> Costos de implementación para la Alternativa 1 (Abono orgánico) .....	114
<b>Tabla 20.</b> Costos de implementación para la Alternativa 1 (Lodo secundario)....	115
<b>Tabla 21.</b> Cálculo del VF para la alternativa 1 (Abono orgánico).....	116
<b>Tabla 22.</b> Cálculo del VF para la alternativa 1 (Lodo secundario) .....	117
<b>Tabla 23.</b> Costos de la fabricación de ladrillos cerámicos 100% arcilla para la Alternativa 2.....	118
<b>Tabla 24.</b> Costos de la fabricación de ladrillos cerámicos 10% 90% lodo – arcilla para la Alternativa 2 .....	119
<b>Tabla 25.</b> Cálculo del VF para la alternativa 2 (100% arcilla) .....	120
<b>Tabla 26.</b> Cálculo del VF para la alternativa 2 (10% 90% Lodo–arcilla) .....	120
<b>Tabla 27.</b> Valores de Caudal durante el periodo de muestreo PTAR Rosal.....	133

---

---

<b>Tabla 28.</b> Valores de T durante el periodo de muestreo PTAR Rosal .....	133
<b>Tabla 29.</b> Valores de pH durante el periodo de muestreo PTAR Rosal.....	134
<b>Tabla 30.</b> Valores de Caudal durante el periodo de muestreo PTAR Bojacá .....	134
<b>Tabla 31.</b> Valores de T durante el periodo de muestreo PTAR Bojacá .....	135
<b>Tabla 32.</b> Valores de pH durante el periodo de muestreo PTAR Bojacá.....	135
<b>Tabla 33.</b> Valores de Caudal durante el periodo de muestreo PTAR La Calera ..	136
<b>Tabla 34.</b> Valores de T durante el periodo de muestreo PTAR La Calera.....	136
<b>Tabla 35.</b> Valores de pH durante el periodo de muestreo PTAR La Calera .....	137
<b>Tabla 36.</b> Parámetros fisicoquímicos evaluados del agua residual de las PTAR`s, El Rosal, Bojacá y La Calera .....	138
<b>Tabla 37.</b> Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos evaluados del agua residual de las PTAR`s, El Rosal, Bojacá y La Calera.....	139
<b>Tabla 38.</b> Parámetros fisicoquímicos evaluados de los Lodos secundarios de las PTAR`s, El Rosal, Bojacá y La Calera .....	140
<b>Tabla 39.</b> Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos evaluados de los Lodos secundarios de las PTAR`s, El Rosal, Bojacá y La Calera .....	141
<b>Tabla 40.</b> Valores promedio de los macronutrientes presentes en las proporciones al cabo de dos meses de prueba: Mezcla de Lodo y Suelo estudio .....	174
<b>Tabla 41.</b> Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de pre-experimentación .....	176
<b>Tabla 42.</b> Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de experimentación: mezcla 10% lodo - 90% arcilla .....	177
<b>Tabla 43.</b> Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de Experimentación: Mezcla 20% Lodo - 80% Arcilla .....	178
<b>Tabla 44.</b> Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de Experimentación: 100% Arcilla.....	179
<b>Tabla 45.</b> Valores obtenidos durante la prueba de Absorción para las proporciones de 10%-90%, 20%-80%, Lodo-Arcilla y 100% arcilla.....	180
<b>Tabla 46.</b> Valores obtenidos durante la prueba de Compresión para las proporciones de 10%-90%, 20%-80%, Lodo-Arcilla y 100% arcilla .....	181
<b>Tabla 47.</b> Valores obtenidos durante la prueba de Flexión para las proporciones de 10%-90%, 20%-80%, Lodo-Arcilla y 100% arcilla.....	182

---

---

**LISTA DE CUADROS**

<b>Cuadro 1.</b> Análisis fisicoquímico del agua residual de las PTAR`s, El Rosal, La Calera y Bojacá.....	42
<b>Cuadro 2.</b> Análisis de los lodos secundarios de las PTAR`s, El Rosal, La Calera y Bojacá.....	42
<b>Cuadro 3.</b> Unidades de tratamiento PTAR La Calera .....	50
<b>Cuadro 4.</b> Unidades de tratamiento PTAR El Rosal.....	56
<b>Cuadro 5.</b> Unidades de tratamiento PTAR Bojacá .....	64
<b>Cuadro 6.</b> Parámetros evaluados lodos secundarios.....	73
<b>Cuadro 7.</b> Parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos .....	81

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Reacción proceso aerobio .....	26
<b>Figura 2.</b> Metabolismo microbioal en el proceso de respiración aerobia.....	26
<b>Figura 3.</b> Planta zanjón de oxidación .....	30
<b>Figura 4.</b> Espesador por gravedad.....	35
<b>Figura 5.</b> Lecho de secado.....	37
<b>Figura 6.</b> Esquema de procesos de la PTAR La Calera.....	48
<b>Figura 7.</b> Plano en planta de la PTAR del Municipio La Calera .....	49
<b>Figura 8.</b> Esquema de procesos PTAR El Rosal.....	54
<b>Figura 9.</b> Plano en planta de la PTAR del Municipio El Rosal.....	55
<b>Figura 10.</b> Esquema de procesos PTAR Bojacá.....	62
<b>Figura 11.</b> Plano en planta de la PTAR del Municipio de Bojacá .....	63
<b>Figura 12.</b> Comportamiento Caudal PTAR's CAR.....	68
<b>Figura 13.</b> Comportamiento pH PTAR`s CAR.....	68
<b>Figura 14.</b> Comportamiento temperatura PTAR's CAR.....	69
<b>Figura 15.</b> Comportamiento sólidos sedimentables PTAR's CAR.....	70
<b>Figura 16.</b> Comportamiento sólidos suspendidos totales PTAR`s CAR.....	70
<b>Figura 17.</b> Comportamiento DBO <sub>5</sub> PTAR's CAR.....	71
<b>Figura 18.</b> Comportamiento DQO PTAR's CAR .....	72
<b>Figura 19.</b> Comportamiento Grasas y Aceites PTAR`s CAR .....	72
<b>Figura 20.</b> Comportamiento DBO <sub>5</sub> lodo secundario PTAR`s CAR .....	74
<b>Figura 21.</b> Comportamiento DQO lodo secundario PTAR's CAR.....	75
<b>Figura 22.</b> Comportamiento SST lodo secundario PTAR`s CAR .....	76
<b>Figura 23.</b> Comportamiento Grasas y aceites lodo secundario PTAR's CAR.....	76
<b>Figura 24.</b> Comportamiento pH lodo secundario PTAR`s CAR.....	77
<b>Figura 25.</b> Comportamiento del contenido de humedad lodo secundario PTAR's CAR .....	78
<b>Figura 26.</b> Comportamiento del contenido de cenizas lodo secundario PTAR's CAR .....	78
<b>Figura 27.</b> Comportamiento Cromo - Cobre lodo secundario PTAR's CAR.....	80
<b>Figura 28.</b> Comportamiento Cadmio - Níquel - Plomo lodo secundario PTAR's CAR .....	80
<b>Figura 29.</b> Comparación de Nitrógeno total en cada réplica .....	96
<b>Figura 30.</b> Comportamiento de fósforo en cada réplica .....	97
<b>Figura 31.</b> Comparación de Potasio en cada réplica.....	97
<b>Figura 32.</b> Molde para la fabricación de un ladrillo.....	101

---

---

<b>Figura 33.</b> Comportamiento del peso del ladrillo con la cantidad de agua .....	103
<b>Figura 34.</b> Comportamiento del peso del ladrillo durante el proceso de fabricación .....	104
<b>Figura 35.</b> Comportamiento del volumen de los ladrillos.....	105
<b>Figura 36.</b> Comportamiento en peso vs cantidad de agua.....	107
<b>Figura 37.</b> Comportamiento del peso del ladrillo durante el proceso de fabricación .....	107
<b>Figura 38.</b> Comportamiento del volumen de los ladrillos.....	108
<b>Figura 39.</b> Absorción de agua .....	109
<b>Figura 40.</b> Prueba de compresión .....	111
<b>Figura 41.</b> Prueba de Flexión .....	112
<b>Figura 42.</b> Comparación del punto de equilibrio de la fabricación de ladrillos cerámicos 10%:90% lodo-arcilla y 100% arcilla.....	124

---

## **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

<b>Fotografía 1.</b> Finca Aguapucha II.....	92
<b>Fotografía 2.</b> Muestreo suelo .....	93
<b>Fotografía 3.</b> Réplicas de cada proporción .....	95
<b>Fotografía 4.</b> Ladrillera Superior .....	99
<b>Fotografía 5.</b> Cilindro Triturador.....	100
<b>Fotografía 6.</b> Lodo Secundario Homogenizado .....	100
<b>Fotografía 7.</b> Muestra de un ladrillo cerámico a diferentes proporciones .....	102
<b>Fotografía 8.</b> Ladrillos cerámicos de cada proporción .....	106
<b>Fotografía 9.</b> Prueba de absorción proporción del 10%.....	110
<b>Fotografía 10.</b> Prueba de absorción proporción del 20%.....	110
<b>Fotografía 11.</b> Prueba de absorción blanco .....	110
<b>Fotografía 12.</b> Prueba de Compresión para la proporción del 10%.....	111
<b>Fotografía 13.</b> Prueba de Flexión para la proporción del 20%.....	112
<b>Fotografía 14.</b> Localización del suelo (Blanco). .....	144
<b>Fotografía 15.</b> Finca Aguapucha II.....	144
<b>Fotografía 16.</b> Ladrillera Superior. ....	145
<b>Fotografía 17.</b> Etapa de Trituración de la arcilla. ....	145
<b>Fotografía 18.</b> Etapa de Mezcla de la Arcilla. ....	146
<b>Fotografía 19.</b> Etapa de Prensado del Ladrillo crudo.....	146
<b>Fotografía 20.</b> Etapa de Corte del Ladrillo crudo. ....	147
<b>Fotografía 21.</b> Patio de secado.....	147
<b>Fotografía 22.</b> Etapa de Cocción. ....	148
<b>Fotografía 23.</b> Producto Final. ....	148

---

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO A.</b> CARACTERIZACIONES PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS EL ROSAL, BOJACÁ Y LA CALERA ....	133
<b>ANEXO B.</b> NORMA EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: USO Y DISPOSICIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS.....	142
<b>ANEXO C.</b> REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA FINCA AGUA PUCHA II .....	144
<b>ANEXO D.</b> REGISTRO FOTOGRÁFICO LADRILLERA SUPERIOR .....	145
<b>ANEXO E.</b> RESOLUCIÓN 16395 DE 2.004 .....	149
<b>ANEXO F.</b> NORMA NTC-4017: MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA .....	150
<b>ANEXO G.</b> METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE MACRONUTRIENTES.....	157
<b>ANEXO H.</b> REPORTE DE MACRONUTRIENTES .....	171
<b>ANEXO I.</b> PROCEDIMIENTO FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS ...	175
<b>ANEXO J.</b> RESULTADOS FASE DE PRE-EXPERIMENTACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS.....	176
<b>ANEXO K.</b> DETERMINACION DEL VOLUMEN DIARIO DE LODOS SECUNDARIOS EN LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS DE LA CALERA, BOJACÁ Y EL ROSAL.....	183

---

## **ABREVIATURAS**

**A:** Área  
**ASTM:** Sociedad Americana para Ensayos y Materiales  
**B.S:** Biomasa base seca  
**B.H:** Biomasa base húmeda  
**BID:** Banco Interamericano de Desarrollo  
**CAR:** Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca  
**CC:** Contenido de Cenizas  
**CH:** Contenido de Humedad  
**DQO:** Demanda química de oxígeno  
**DBO<sub>5</sub>:** Demanda bioquímica de oxígeno  
**E:** Eficiencia de remoción  
**EPA:** Agencia de protección ambiental (*Environmental Protection Agency*)  
**GYA:** Grasas y Aceites  
**i:** Inflación  
**L:** Largo  
**n:** Número de datos  
**N<sub>T</sub>:** Nitrógeno Total  
**M:** Unidad de mampostería Maciza  
**MO:** Materia Orgánica  
**NTC:** Norma Técnica Colombiana  
**OD:** Oxígeno Disuelto  
**P<sub>T</sub>:** Fósforo Total  
**PLC:** Controlador Lógico Programable  
**PTAR`s:** Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales  
**pH:** Potencial de Hidrogeno  
**PH:** Unidad de mampostería de perforación Horizontal  
**PV:** Unidad de mampostería de perforación vertical  
**Q:** caudal  
**RPM:** Revoluciones por minuto  
**SBR:** Reactor secuencial Discontinuo (*Sequencing Batch Reactor*)  
**SSe:** Sólidos sedimentables  
**SSLM:** Sólidos Suspendidos de licor mezclado  
**SST:** Sólidos suspendidos totales  
**t:** tiempo  
**T:** temperatura  
**V:** volumen  
**VF:** valor futuro  
**VP:** valor presente  
**VPN:** valor presente neto  
**W:** ancho

---



## GLOSARIO

**ABONO ORGANICO:** Producto solido, obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos que contiene como mínimo el 15% de carbono orgánico y que aplicado al suelo suministra a la planta uno o mas nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

**ABSORCIÓN DE AGUA:** La absorción es la propiedad de la unidad de concreto de absorber agua hasta llegar al punto de saturación durante un periodo de 24 horas, y esta directamente relacionado con el paso de agua a través de las paredes de la unidad

**AFLUENTE:** Agua residual u otro líquido que ingresa a un proceso de tratamiento.

**AFORADOR BALLOFET:** Vertedero compuesto por un canal de paredes paralelas , fondo plano y una garganta que permite el escurrimiento, la lectura de la lámina de agua en el aforador, se toma de una regla de medición ubicada antes de la garganta y esta lectura nos permite hallar el caudal con una formula sencilla y con una buena exactitud.

**AGUA RESIDUAL:** Agua que contiene material disuelto y en suspensión luego de ser usada por una comunidad o industria.

**APROVECHAMIENTO:** Proceso mediante el cual, a través del manejo integral de residuos sólidos y líquidos los materiales orgánicos recuperados previamente separados, tratados y transformados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente.

**ARCILLA:** Suelo de grano fino o la porción de grano fino de un suelo que es plástico dentro de una gama de proporciones de agua, y que presenta gran resistencia cuando se seca al aire.

**BIOMASA:** Volumen o masa total de todos los organismos vivientes de una zona particular.

**BIOSOLIDO:** Producto resultante de la estabilización de los materiales orgánicos (lodos) obtenidos en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO:** medida de la capacidad de los suelos para retener cationes en los coloides de los suelos como resultado de las cargas negativas.

---

**CARGA ORGÁNICA:** Producto de la concentración de DBO o la DQO por el caudal; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

**CONCENTRACIÓN:** Es la relación existente entre el peso de una sustancia, elemento o compuesto y el volumen de líquido que lo contiene.

**DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO):** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo cinco días y temperatura de 20 °C. Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA:** Capacidad de descomposición biológica o química de los compuestos orgánicos. Se desarrolla principalmente, en razón de los procesos metabólicos de microorganismos.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales orgánicas de permanganato en un ambiente acuoso a altas temperaturas.

**DIGESTIÓN AEROBIA:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

**DIGESTIÓN ANAEROBIA:** Es la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo dióxido de carbono.

**EFICIENCIA DE TRATAMIENTO:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente para un proceso o planta de tratamiento.

**EFLUENTE:** Agua residual u otro líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**ESTABILIZACIÓN:** Proceso que comprende los tratamientos destinados a reducir la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patogenicidad de los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.

**LADRILLO CERAMICO:** Son piezas generalmente ortoédricas, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, Se emplea en albañilería para la ejecución de fábricas de ladrillo, ya sean muros, tabiques, tabicones, etcétera. Se distinguen tres tipos de unidades: perforación vertical, perforación horizontal y macizos.

---

**LODO SECUNDARIO:** Producto final semisólido que se genera en los procesos biológicos del agua residual, generalmente son microorganismos producidos que exceden a la cantidad requerida por el sistema.

**MATERIA ORGÁNICA:** Es la combinación de carbono, hidrogeno, y nitrógeno.

**MACRONUTRIENTES:** Nutrientes que requieren las plantas para su crecimiento en altas dosis, entre estos están: Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

**MUESTRA COMPUESTA:** Combinación de muestras individuales de agua o agua residual tomadas a intervalos predeterminados a fin de minimizar los efectos de variabilidad de la muestra individual.

**OXIDACIÓN:** Conversión de materia orgánica en formas más simples y estables con liberación de energía. Esto se puede lograr con medios químicos o biológicos. Adición de oxígeno a un compuesto.

**pH:** Medida de la concentración del ion hidrogeno en el agua expresado como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrogeno.

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR):** Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

**REHABILITACION DE SUELOS:** Recuperación de una o más propiedades del suelo.

**RESISTENCIA MECANICA A LA COMPRESIÓN:** Se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN:** También llamada modulo de ruptura corresponde a la fuerza máxima para romper un espécimen de concreto o de mortero de determinado tamaño.

**TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO:** Tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

**TRATAMIENTO BIOLÓGICO:** Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

**TRATAMIENTO PRELIMINAR:** Operaciones unitarias, como el tamizado, el triturado y la remoción de arena gruesa, que preparan a las aguas residuales para su tratamiento posterior.

---

## **RESUMEN**

Este proyecto de investigación abarcó el estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de las PTAR's de los municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá pertenecientes a la (CAR), mediante el desarrollo de las siguientes actividades:

Inicialmente se realizó una descripción general y se ejecutaron pruebas diagnósticas del agua residual y del lodo secundario de las plantas objeto de estudio, evaluando la eficiencia de remoción de contaminantes, determinándose que la planta con mayor eficiencia es la planta del Rosal.

Posteriormente, se compararon los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados evaluados para el lodo secundario con las condiciones del Biosólido según la norma EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: Uso y Disposición de los Biosólidos, identificando que los parámetros analizados se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma. Para la selección de las alternativas de disposición y aprovechamiento de lodo secundario, se realizó una matriz comparativa entre las alternativas establecidas por la norma EPA 40CFR-503 PC –EQ QUALITY: Uso y Disposición de los Biosólidos, identificando que las alternativas con menor grado de investigación y de aplicabilidad son: Rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola; como insumo en la obtención de materiales de construcción.

A continuación se seleccionó y acondicionó el lodo secundario de la PTAR del Municipio del Rosal, debido a que esta PTAR presentó la mejor operatividad y la mayor eficiencia en la remoción de  $DBO_5$  (87,4%) y SST (87,1%) durante el periodo de estudio.

Posteriormente, se implementaron las alternativas seleccionadas para el aprovechamiento del lodo secundario de la PTAR del Rosal: la primera alternativa consistió en el mejoramiento de la calidad del suelo usado en el sector floricultor, incorporando lodo secundario a diferentes proporciones (10%:90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60%, 50%:50% lodo:suelo respectivamente), obteniendo como resultado que la proporción 50% suelo:50% lodo aumentó la concentración de macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) en un 2% durante dos meses.

---

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

La segunda alternativa consistió en incorporar el lodo secundario como materia prima para la fabricación de ladrillo cerámico, manejándose proporciones de 10%:90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60%, 50%:50% Lodo–Arcilla respectivamente. A cada proporción se le realizaron tres pruebas de resistencia (Compresión, flexión y absorción), con el fin de cumplir con el procedimiento exigido por la NTC-4017 y la resolución 16395 del 21 Julio de 2.004, dando como resultado que la proporción de 10%: 90% Lodo – Arcilla cumplen con las pruebas exigidas en las normas.

Finalmente se realizó la evaluación técnica y económica sobre el uso y aprovechamiento de lodos secundarios de la planta de tratamiento El Rosal, en el mejoramiento químico de macronutrientes del suelo erosionado por el sector floricultor (alternativa 1) y materia prima para la fabricación de ladrillos cerámicos (alternativa 2), obteniendo como resultado que la alternativa más viable para dar uso y aprovechamiento a los lodos secundarios es la incorporación de estos en la fabricación de ladrillos cerámicos.

## **ABSTRACT**

This project of investigation included the study of two alternatives for the secondary sludge advantage of originating aerobic systems of the WWTP of the municipalities of the Calera, the Rosal and Bojaca pertaining to the (CAR), by means of the development of the following activities:

Initially a general description was realised and situational diagnostic of the waste water and the secondary sludge of the plants were executed study object, evaluating the efficiency of removal of polluting agents, determining themselves that the plant with greater efficiency is the plant of the Rosal.

Later, the physico-chemical, microbiological and heavy metals parameters evaluated for secondary sludge with the conditions of the biosolids were compared according to norm EPA 40CFR- 503PC - EQ QUALITY: Use and Disposition of the biosolids, identifying that the analyzed parameters are within the range established in the standard. For the selection of the alternatives of disposition and advantage of secondary sludge, was realised a comparative matrix between the alternatives established by standard EPA 40CFR- 503PC - EQ QUALITY: Use and Disposition of the biosolids, identifying that the alternatives with smaller degree of investigation and applicability are: Rehabilitation and recovery of degraded ground of use non agriculturist; like consumption in the obtaining of construction equipments.

Next was selected and prepared the secondary sludge of the WWTP of the Municipality of the Rosal, because this WWTP presented the best operativity and the greater efficiency in the removal of BOD<sub>5</sub> (87, 4%) and TSS (87, 1%) during the period of study.

Later, the alternatives selected for the advantage of the secondary sludge of the WWTP of the Rosal were implemented: the first alternative consisted of the improvement of the quality of the ground used in the floricultor sector, incorporating secondary sludge to different proportions (10%: 90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60%, 50%:50% sludge: ground respectively), obtaining like result that proportion 50% ground: 50% sludge increased the concentration of macronutrients (Nitrogen, Phosphorus and Potassium) in a 2% during two months.

---

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

The second alternative consisted of incorporating secondary sludge like raw material for the ceramic brick manufacture, handling proportions of 10%:90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60%, sludge -Clay 50%:50% respectively. To each proportion were realised three tests of resistance (Compression, flexion and absorption), with the purpose of to fulfill the procedure demanded by the NTC-4017 and resolution 16395 of Julio of 2.004, giving like result that the proportion of 10%:90% sludge - Clay fulfills the tests demanded in the standard.

Finally it was realised the technical and economic evaluation on the use and secondary sludge advantage of the treatment plant the Rosal, in the chemical improvement of macronutrients of the ground eroded by the floricultor sector (alternative 1) and raw material for the ceramic brick manufacture (alternative 2), obtaining like result that the most viable alternative to give to use and advantage to secondary sludge is the incorporation of these in the ceramic brick manufacture.

---

## **INTRODUCCIÓN**

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), actualmente cuenta con veinticuatro (24) plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales siete (7) operan con sistemas de tratamientos aerobios y de ellas, las PTAR's de El Rosal y Bojacá fueron diseñadas y funcionan mediante zanjones de oxidación y la de La Calera con un reactor secuencial por cochadas (SBR).

La disposición de los lodos secundarios generados en las PTAR's de los municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá administradas por la CAR, le constituye en un problema ambiental, por cuanto esta Entidad no ha realizado investigaciones condiciones conducentes a establecer las alternativas para la disposición y aprovechamiento de los mismos. Por otra parte, la falta de una correcta y constante operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales jurisdicción CAR, hace que se obtengan lodos de variadas características físico, químicas y biológicas.

Con base a esta situación, el proyecto de investigación busca evaluar dos alternativas de aprovechamiento para lodos secundarios donde se incorporen a procesos agro-industriales generando beneficios económicos tanto para la CAR como para el sector agro-industrial.

El proyecto de investigación consta de las siguientes cuatro fases; en la primera fase se hace una descripción detallada del funcionamiento y operación de cada planta, se realizan pruebas de laboratorio con el fin de determinar las características físicoquímicas y microbiológicas del agua y del lodo secundario y la eficiencia de remoción de carga contaminante de cada planta de tratamiento; en la segunda fase se realizó una comparación de las alternativas de uso y aprovechamiento para lodos secundarios y se seleccionó y acondicionó el lodo secundario ;en la tercera fase se implementaron las alternativas de uso y aprovechamiento para la disposición de lodos secundarios; finalmente se realiza un evaluación técnica y económica de las alternativas seleccionadas de aprovechamiento y disposición de los lodos secundario, con el fin de determinar la mas viable.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de Sistemas Aerobios provenientes de tres PTAR's jurisdicción de la CAR.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el diagnóstico situacional de los lodos secundarios procedentes de las tres PTAR's de los Municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá de la CAR.
- Comparar las alternativas seleccionadas para la disposición y aprovechamiento de lodo secundario como materia prima en un proceso agroindustrial, con las condiciones del Biosólido según la EPA.
- Seleccionar y acondicionar el lodo secundario de uno de los sistemas de tratamiento municipal en estudio, para su aprovechamiento mediante las alternativas elegidas.
- Implementar las alternativas elegidas para la disposición de los lodos secundarios del sistema de tratamiento municipal seleccionado.
- Evaluar técnica y económicamente las alternativas de aprovechamiento y disposición de los lodos secundarios.

## **1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES**

El tratamiento de aguas residuales domésticas, incorpora procesos físicos químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es mejorar la calidad del agua para reincorporarla al ambiente o reutilizarla en algún proceso, y remover los contaminantes en un lodo el cual sea aprovechado, reciclado o reincorporado a procesos industriales.

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica. La actividad biológica se aprovecha para remover del agua residual, principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, mediante el proceso de conversión a gases y en biomasa extraíble mediante el proceso de sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual.

En el nivel más fundamental, el tratamiento biológico comprende: la conversión de la materia orgánica carbonácea disuelta y en estado coloidal en diferentes gases y tejidos celulares, la formación de flocs biológicos compuestos de materia celular y de los coloides orgánicos presentes en las aguas residuales, y la subsecuente remoción de dichos flocs por medio de sedimentación por gravedad. Con el paso de los años se ha encontrado que, con análisis adecuado y control ambiental, casi todas las aguas residuales se pueden tratar biológicamente.

Existen los siguientes grupos principales de procesos biológicos: aerobios, anóxicos, y combinados que comprenden anóxicos con aerobios y anóxicos con anaerobios. Dentro de cada grupo podemos encontrar crecimiento biológico suspendido, crecimiento biológico adherido o una combinación de ellos. Así mismo, dependiendo del régimen de flujo predominante, los procesos biológicos se consideran de flujo continuo o intermitente y del tipo de mezcla completa, flujo a pistón o flujo arbitrario. En los procesos de tratamiento aerobio el tratamiento se efectúa en presencia de oxígeno. Los procesos anaerobios son aquellos en los cuales el tratamiento biológico ocurre en ausencia de oxígeno. En el proceso anóxico se remueve nitrógeno, mediante conversión de nitrato en nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno. El proceso anóxico se conoce como desnitrificación anaerobia, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias, sino una modificación de las vías aerobias, se considera más apropiado denominarlo proceso anóxico en vez de anaerobio.<sup>1</sup>

---

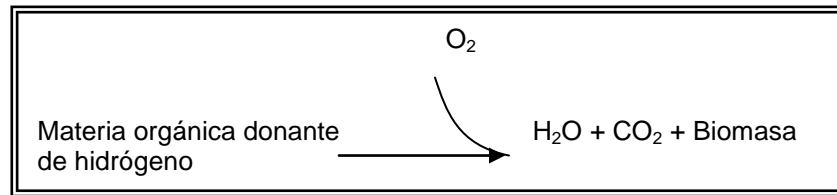
<sup>1</sup> CRITES Ron, TCHOBANOGLOUS George, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Bogotá. Editorial: Mc Graw Hill. 2000. p 345.

---

## 1.1. PROCESO AEROBIO

El proceso aerobio es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones; el oxígeno es reducido y la materia orgánica o inorgánica es oxidada. Todos los organismos que usan oxígeno libre como aceptor de electrones son aerobios. En la Figura 1 se muestra la reacción del proceso aerobio.

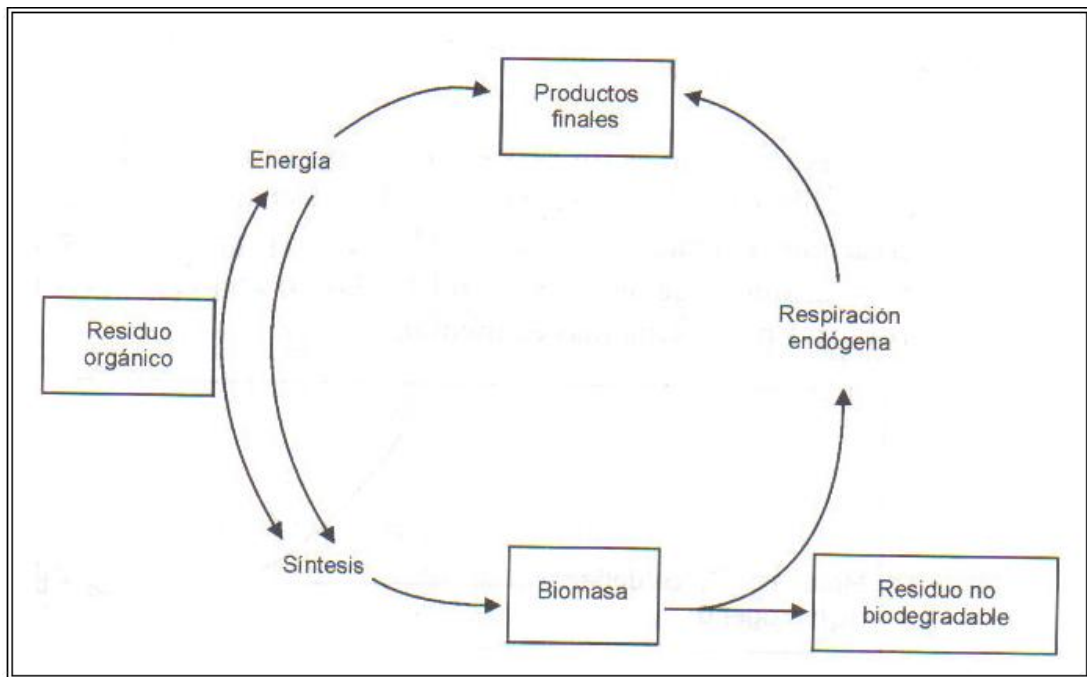
Figura 1. Reacción proceso aerobio



Fuente: ROMERO, Jairo Alberto. 2.002

El metabolismo microbial en el proceso de respiración aerobia se puede representar gráficamente como se muestra en la Figura 2:

Figura 2. Metabolismo microbial en el proceso de respiración aerobia



Fuente: ROMERO, Jairo Alberto. 2.002

---

El proceso se ejecuta con el propósito de obtener la energía necesaria para la síntesis de tejido celular nuevo. En ausencia de materia orgánica, el tejido celular será respirado endógenamente y convertido en productos gaseosos.

Usualmente, las bacterias son los organismos más importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales porque son excelentes oxidadores de la materia orgánica y crecen bien en aguas residuales, siendo capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica. Tanto en los procesos de lodos activados como en filtros percoladores son comunes: *Zooglea ramigera*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* y *Alcaligenes*.

En las reacciones metabólicas, los mecanismos de reacción para la oxidación del sustrato y la reducción del oxígeno se conocen como sistemas de transporte de electrones, los cuales proveen las trayectorias para obtención de energía y conversión en enlaces energéticos de fosfato o ATP (adenosina trifosfato).

En la oxidación biológica aerobia, el oxígeno libre es esencial para los organismos aerobios como agente para la oxidación de compuestos orgánicos en CO<sub>2</sub>. La oxidación biológica aerobia o respiración aerobia está constituida por las reacciones de oxidación biológica en las cuales el oxígeno molecular es el aceptador final de electrones, para el crecimiento de los organismos aerobios. El oxígeno molecular libre es agregado al sustrato, materia orgánica, ocurriendo la oxidación o mineralización del residuo. La reacción es muy eficiente porque libera grandes cantidades de energía; esta energía es almacenada preferentemente en la biomasa sintetizada y los residuos de dicho catabolismo son compuestos estables de bajo contenido energético. El proceso aerobio se ejecuta para obtener la energía necesaria para la síntesis de tejido celular nuevo.<sup>2</sup>

## **1.2. LODOS ACTIVADOS**

El proceso de lodos activados fue desarrollado en Inglaterra, en 1914, por Arden y Lockett. Todos los procesos de lodos activados tienen en común el contacto de aguas residuales con floc biológico previamente formado en un tanque de aireación.

El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos a la cual debe su nombre de activado.

---

<sup>2</sup> ROMERO, Jairo Alberto, Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2002. p 229-231.

---

El resultado final es una porción de materia orgánica, susceptible de descomposición biológica y el resto se transformada en lodo activo adicional.

El ambiente de un sistema de lodos activados puede considerarse un medio acuático, es colonizado por microorganismos muy variados como bacterias, hongos, protozoos y metazoos pequeños; la agitación constante y la recirculación de los lodos hacen, el medio inhóspito para la macrofauna acuática. Las bacterias constituyen el grupo más importante de microorganismos, en el proceso de lodos activados, por su función en la estabilización del material orgánico y en la formación del floc de lodo activo; se pueden presentar microorganismos que se presentan cuando hay deficiencia de nitrógeno y los protozoos que son comunes en el proceso de lodos activados.

Las aguas residuales crudas fluyen en el tanque de aireación con su contenido de materia orgánica ( $DBO_5$ ) como suministro alimenticio. Las bacterias metabolizan los residuos produciendo nuevas bacterias, utilizando oxígeno disuelto y liberando dióxido de carbono. Los protozoos consumen bacterias para obtener energía y reproducirse. Una porción del crecimiento bacterial muere, liberando su contenido celular en la solución para una nueva síntesis en células microbiales. La mezcla líquida, aguas residuales con floc biológico en suspensión, es separada en un sedimentador; se recircula floc sedimentado continuamente al tanque de aireación y se descarga el efluente clarificado. El sistema de lodos activados es un proceso estrictamente aerobio, ya que el floc microbioal se mantiene siempre en suspensión en la mezcla aireada del tanque, en presencia de oxígeno disuelto.

Las burbujas de aire se crean por un soplador a través de un difusor, o por medio de aireación mecánica, para introducir oxígeno en el líquido mediante mezcla turbulenta. La tasa de utilización del oxígeno disuelto (OD) es esencialmente una función de la relación alimento/microorganismo ( $DBO_5/SSLM$ ), del tiempo de aireación y de la temperatura. El consumo de oxígeno disuelto es generalmente menor de 10 mg/L-h para procesos de aireación extendida, cerca de 30 mg/L-h para procesos convencionales y tan grande como 100 mg/L-h para procesos de tasa alta. La concentración típica de OD es de 0,2 a 2,0 mg/L y la crítica es generalmente de 0,5 mg/L; concentraciones menores a este valor inhiben el metabolismo microbioal aerobio. En resumen, el contacto íntimo del agua residual con una cantidad óptima de floc biológico activo en presencia de un adecuado suministro de oxígeno, durante un período de tiempo conveniente, seguido de una separación eficiente de los organismos y del líquido purificado, son los prerrequisitos del proceso.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> HERNANDEZ, Aurelio, Depuración de aguas residuales. Bogotá. 1996. p 611- 616.

---

### **1.2.1. Zanjón de Oxidación**

El zanjón de oxidación lo desarrolló Pasveer en 1953, en Holanda, y dos años después se puso en operación el primer prototipo, en Voorschoten. En 1956, en Nittenan, se construyó el primer zanjón alemán. El objetivo principal de su desarrollo fue proveer un método de tratamiento de aguas residuales de costo mínimo, e inicialmente los rotores se instalaron en zanjonés excavados en tierra.

Los primeros zanjonés de oxidación, de los Estados Unidos, se construyeron a comienzos de la década de los sesenta, principalmente para el tratamiento de caudales entre 1 L/s y 1800 L /s. Estudios hechos por la EPA, en 1978, indicaron que el zanjón de oxidación tiene costos anuales de operación inferiores a los de procesos biológicos similares, en el rango de 4 a 440 L/s. En general, el zanjón de oxidación puede ser una alternativa económica en poblaciones medianas, de 1.000 a 60.000 habitantes, que dispongan de suministro eléctrico confiable y donde la disponibilidad de terreno es escasa y su costo es elevado.

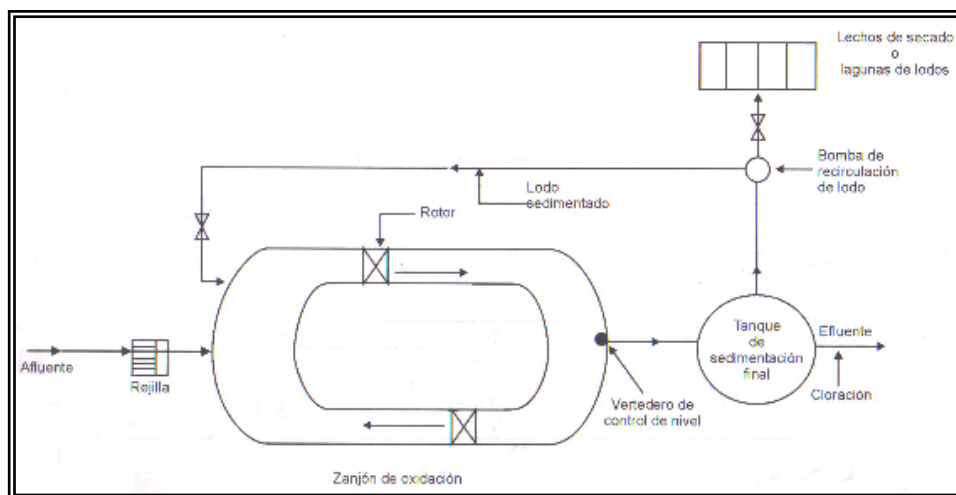
El zanjón de oxidación es un proceso de lodos activados, del tipo de aireación extendida, que usa un canal cerrado, con dos curvas, para la aireación y mezcla. Como equipo de aireación y circulación del licor mezclado se usan aireadores mecánicos de tipo hélice o soplador. La planta típica de un zanjón de oxidación no incluye sedimentación primaria (Ver Figura 3), utiliza un solo canal concéntrico, un sedimentador secundario y lechos de secado de lodos.

En general el zanjón se reviste de concreto o de otro material apropiado para prevenir la erosión y la infiltración. Los aireadores pueden instalarse fijos o flotantes, sobre uno o más sitios a lo largo del canal para suministrar suficiente velocidad dentro del zanjón, generalmente mayor de 0,30 m/s, así como para mantener el nivel de oxígeno disuelto requerido y los sólidos del licor mezclado en suspensión.

Un zanjón de oxidación bien diseñado y operado provee remociones promedio de  $DBO_5$  y SS mayores del 85% con aguas residuales municipales; tiene capacidad de efectuar un nivel alto de nitrificación por el tiempo de retención prolongado (24 horas) y contar con edades de lodos mayores de 10 días. El zanjón de oxidación también se ha usado para remover nitrógeno mediante la producción de zonas aerobias y anóxicas dentro del canal, controlando la tasa de transferencia de oxígeno para que el OD del licor mezclado se agote en una porción del canal de aireación. La fuente de carbono para la desnitrificación en la zona anóxica se provee, en estos casos, alimentando el residuo crudo al canal aguas arriba del inicio de la zona anóxica; con una operación cuidadosa se pueden lograr remociones de nitrógeno del 80%.

Para una construcción económica, el zanjón debe localizarse con su longitud en paralelo con las curvas de nivel garantizando así un flujo por gravedad.<sup>4</sup>

**Figura 3. Planta zanjón de oxidación**



Fuente: ROMERO, Jairo Alberto. 2.002

### 1.2.2. Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos un Reactor Discontinuo secuencial (*Sequencing Batch Reactor*, SBR) es un sistema de lodos activados para tratamiento del agua residual que utiliza ciclos de llenado y descarga. En este sistema el agua residual entra en una tanda a un reactor único, recibe tratamiento para remover componentes indeseables y luego se descarga.

La homogenización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en ese reactor único. Para optimizar el desempeño del sistema, se utilizan dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada. Los sistemas SBR han sido utilizados con éxito para tratar aguas residuales tanto municipales como industriales. Estos sistemas son especialmente efectivos para aplicaciones de tratamiento de agua residual caracterizadas por caudales reducidos o intermitentes.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> ROMERO, Op. Cit., p 505- 507.

<sup>5</sup> EPA. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. SBR.EU. 1.999. p 1.

El tratamiento del agua residual en un reactor SBR se realiza mediante fases o etapas, en las cuales se van desarrollando procesos biológicos que permiten la degradación y síntesis de la materia orgánica. Normalmente un SBR opera en 5 fases que son: Fase de llenado, mezcla, llenado reacción, sedimentación, decantación y purga de lodos. A continuación se presenta la descripción de cada fase.

**1.2.2.1. Fase de llenado y mezcla.** El proceso inicia con la apertura de la válvula del afluente, la cual permite que el reactor comience a llenarse con el agua residual que va ingresando. Como este tipo de proceso no descarga ni recircula lodos sino que los mantiene por un periodo entre 15 y 20 días, a medida que el agua va ingresando se va mezclando con estos lodos, este procedimiento es ayudado por una unidad mezcladora que se encuentra en la superficie del reactor.

El efecto de esta mezcla tiene como finalidad dispersar la vida microbiana presente en los lodos biológicos, promoviendo que se den las condiciones de alimento y masa dentro del reactor. Esta fase se caracteriza por la ausencia de oxígeno (condiciones anóxicas) donde se debe verificar un OD inferior a 0,5 mg/L. En la medida que el agua residual continua entrando, la cantidad de material orgánico presente en el reactor aumenta al igual que la concentración de nitrógeno total. Este nitrógeno (Total de Kjeldahl TKN) esta compuesto por nitrógeno orgánico (Norg) y nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N). Por el proceso de hidrólisis la mayoría del nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno de amoniaco, el cual a su vez debe ser oxidado por el proceso de nitrificación en presencia de oxígeno en la fase siguiente.

**1.2.2.2. Fase de llenado y reacción.** Durante esta fase el agua continúa entrando al reactor y el mezclador continua operando, solo que en esta fase se enciende el suministro de oxígeno, es decir, que los sopladores comienzan a entregar oxígeno al reactor, convirtiendo del estado anóxico de la fase anterior en un estado aeróbico.

En la presencia de oxígeno, el nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) se convierte primero a nitritos (NO<sub>2</sub>-N) a través de las nitrosomonas, para luego convertirse en nitratos (NO<sub>3</sub>- N) a través de las nitrobacterias. Luego en ausencia de oxígeno se realiza el proceso de desnitrificación el cual es realizado por un amplio rango de microorganismos, conocidos como Heterótrofos. En ausencia de oxígeno éstos convierten nitrato a gas nitrógeno (N<sub>2</sub>) que es liberado a la atmósfera. Como efecto de las condiciones anaerobias que presenta el reactor en la fase de llenado mezcla, el fósforo se libera de la masa celular hacia el medio líquido.



Como efecto contrario la aireación en esta fase, ocasiona que los microorganismos “consuman” más cantidad de fósforo del que han liberado, además del que se encuentra en el agua residual que aún continúa entrando al reactor, este proceso se denomina “Remoción Biológica de fósforo forzada”.

**1.2.2.3. Fase de reacción.** Como en la fase anterior, en esta etapa se encuentra funcionando el mezclador y/o sopladores, quienes se encargan de transferir oxígeno al agua para realizar el proceso de oxidación biológica y nitrificación. Esta fase presenta un reactor que siempre está en una condición completamente mezclada en un estado aerobio. La ausencia de flujo de carga orgánica proporciona una oportunidad para la limpieza de los contaminantes de las aguas residuales, produciendo una reducción del material orgánico y del nitrógeno presente en el reactor.

**1.2.2.4. Fase de sedimentación.** Durante esta fase el mezclador y los aireadores son apagados lo cual garantiza un ambiente inmóvil en el reactor permitiendo la sedimentación. En este momento, las fases precedentes han logrado la reducción de compuestos orgánicos (DBO<sub>5</sub>), mediante los procesos de oxidación biológica, nitrificación, desnitrificación y remoción biológica de fósforo.

**1.2.2.5. Fase de descarga.** La extracción de los efluentes tratados se realiza mediante unas unidades llamadas decantadores flotantes, estos decantadores son instalados de tal manera que se les permite subir y descender con el nivel del agua, extrayendo el agua tratada desde la superficie del reactor, lo cual evita poner en resuspensión los lodos sedimentados que se encuentran en el reactor.

Esta fase termina cuando se ha descargado un volumen de agua residual del reactor. Una vez el reactor ha sido decantado hasta la profundidad mínima de agua la fase termina automáticamente.

**1.2.2.6. Fase de purga de lodos.** Los reactores SBR, como otras variaciones de procesos de lodos activados, son dependientes del desarrollo de un cultivo mixto de bacterias y otras formas de vida microbiana para lograr los objetivos de tratamiento.

Como resultado de la degradación biológica de la materia orgánica y la acumulación de material inerte presente en la mayoría de las aguas residuales, es necesario descargar ciertas cantidades de sólidos de los reactores para mantener una concentración entre 4.500 y 5.000 mg/L de sólidos suspendidos de licor mezclado. La duración de esta fase depende de la producción de lodos en el reactor y la cantidad de lodos que se desean extraer.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento Reactor SBR., p 5, 8, 20,80.

---

### **1.3. LODOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Los lodos residuales son el subproducto inevitable, del tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes que no se destruyen durante el proceso de tratamiento tienden a concentrarse en los lodos, aumentando cada vez la preocupación de la Autoridad Ambiental CAR, sobre el impacto de éstos sobre el medio ambiente y la salud pública.

#### **1.3.1. Características de los lodos**

Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, de su edad, del tipo del proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. A continuación se describen las características de los lodos.

**1.3.1.1. Origen de los lodos.** Los lodos son generados del agua residual ya sea doméstica o industrial durante su tratamiento. Generalmente se combinan procesos físicos, biológicos y químicos. Se clasifican en primarios, como la sedimentación de sólidos, los secundarios o biológicos y los tratamientos terciarios, generalmente químicos, que se usan para obtener un efluente de alta calidad.

**1.3.1.2. Tipo de lodos<sup>7</sup>.** Los constituyentes de los lodos son materiales muy heterogéneos y su contenido depende no sólo del origen y características del agua, sino también de la tecnología de tratamiento empleada de la época del año, y de otros factores. Los diferentes procesos de tratamiento de los lodos producen distintas cantidades y clases de lodos, a continuación se describen.

⇒ **Lodo primario:** En una planta de tratamiento de aguas residuales el objetivo primordial del tratamiento primario es el de remover los sólidos sedimentables. Estos sólidos que se acumulan en el clarificador primario y deben ser removidos del fondo de este, se conocen como lodos primarios.

---

<sup>7</sup> CHAVEZ, Gabriela, El Lodo y su Producción. México. 2.002 p 1-3.

---

⇒ **Lodo secundario aerobio:** En las plantas durante el tratamiento secundario, la demanda bioquímica o la demanda química de oxígeno es disminuida por medios biológicos. La biomasa degrada al material demandante de oxígeno que se encuentra suspendido o disuelto en el líquido. El aire se burbujea en el licor mezclado por diferentes medios, en el tratamiento aerobio. Los microorganismos o biomasa que se desarrollan en el tanque de aireación, se sedimentan en un clarificador final y un porcentaje definido que se regresa al inicio del sistema de aireación, como inóculo (recirculación de lodos).

En este proceso, los microorganismos consumen la materia orgánica disuelta, la cual utilizan como alimento para obtener energía para llevar a cabo todas sus funciones y subsistir en el medio ambiente. Desafortunadamente, la cantidad de microorganismos producidos, excede a la cantidad requerida por el sistema, y parte de esta materia sólida debe ser desechada. Estos materiales biológicos de desecho son llamados lodos secundarios. Este tipo de lodo es objeto de estudio de la presente investigación.

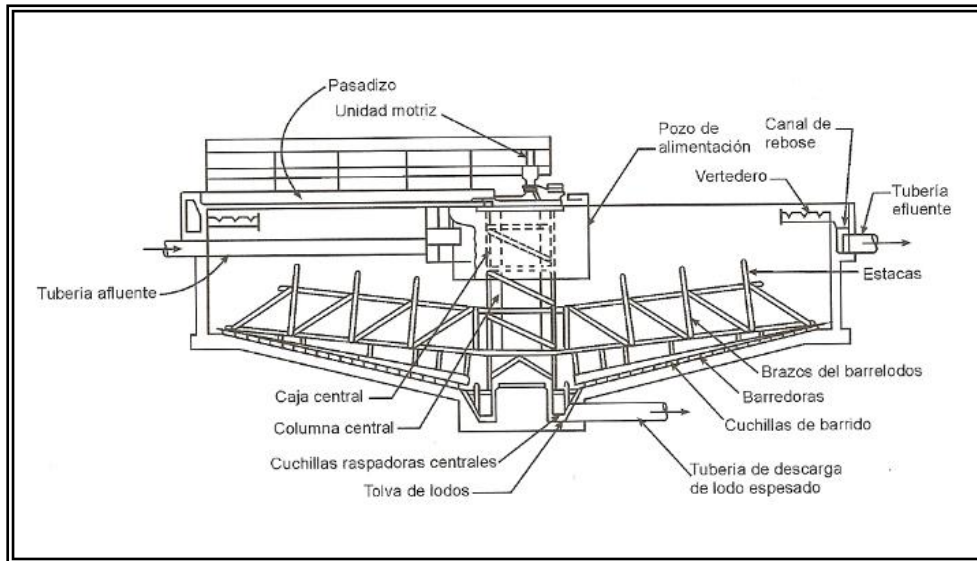
### **1.3.2. Tratamiento de lodos**

El tratamiento y disposición eficiente de los lodos de una PTAR requiere conocer las características de los sólidos y del lodo por procesar, así como la aptitud de los diferentes sistemas de procesamiento y la facilidad de acceso a las diferentes opciones de disposición final. A continuación se resumen algunas opciones para el tratamiento y disposición de lodos.

**1.3.2.1. Disminución del volumen.** La disminución del volumen que ocupan los lodos en una PTAR, es beneficiosa para los siguientes procesos que tienen que ser sometidos los lodos, ya que permitirá aumentar la capacidad de los tanques y equipos necesarios, disminuirá la cantidad de productos químicos, y el calor necesario para los digestores. Existen diferentes sistemas para conseguir esta disminución de volumen:

**1.3.2.2. Espesadores por gravedad:** Este mecanismo se utiliza para la mezcla y homogeneización de lodos de distintos orígenes, de accionamiento central mediante cabeza de mando o de accionamiento central con motorreductor. Los componentes de un espesador se presentan en la Figura 4.

**Figura 4. Espesador por gravedad**



Fuente: ROMERO, Jairo Alberto. 2.002

- ⇒ **Espesadores por flotación:** En este espesador también se separa la fase sólida de la líquida, pero a diferencia del método anterior, en los espesadores por flotación los sólidos se concentran en la parte superior. Los lodos en este caso ascienden a una velocidad superior a la de sedimentación. Esto se consigue mediante la introducción de aire. Estas pequeñas burbujas de aire arrastran a las partículas sólidas hacia arriba. Los sólidos acumulados en la superficie del espesador son retirados mediante procesos mecánicos.
- ⇒ **Espesamiento por centrifugación:** La centrifugación se usa principalmente para la deshidratación de los lodos, aunque también se utilizan para concentrarlos. El principio en el que se fundamenta es en la sedimentación de las partículas sólidas del lodo gracias a la fuerza centrífuga que se aplica. El lodo se introduce de forma continua, concentrándose los sólidos en la zona periférica. El lodo es empujado por un tornillo helicoidal hasta el extremo de la centrífuga.

**1.3.2.2. Estabilización con cal.** La adición de cal para estabilización de lodos es un proceso sencillo que permite eliminar olores y patógenos mediante la creación a un pH igual a 12 durante más de dos horas. Cuando se agrega cal los microorganismos que producen gases de la descomposición anaerobia son destruidos o inactivados, así como los patógenos.

La agregación de cal también mejora las características de secado y sedimentación del lodo, reduce el poder fertilizante del lodo estabilizado en comparación con el lodo digerido anaeróbicamente y aumenta su alcalinidad.<sup>8</sup>

**1.3.2.3. Acondicionamiento.** El acondicionamiento de lodos es necesario para obtener un lodo espesado de buena concentración de sólidos, cuando se usan procesos mecánicos de espesamiento o secado, los principales métodos de acondicionamiento incluyen:

- ⇒ **Acondicionamiento Químico:** Se utiliza para la coagulación de la materia sólida a la vez que se libera mucha agua de los lodos. Los productos más utilizados en el acondicionamiento químico son los polielectrolitos, aunque también se usa cloruro férrico, cal, sulfato de aluminio, entre otros.
- ⇒ **Acondicionamiento Térmico:** Se trata de un calentamiento de los lodos a una temperatura de 160-210 °C, produciéndose el cambio de estructura de los lodos con una gran cantidad de materia orgánica.

**1.3.2.3. Deshidratación.** La deshidratación disminuye el contenido de agua de los lodos disminuyendo así el volumen para el transporte y la manejabilidad de los mismos. El destino de los lodos determinará el grado de deshidratación y el método utilizado para este fin.

- ⇒ **Lechos de secado:** Los lechos de secado constituyen uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural. El lecho típico de arena para secado de lodos es un lecho rectangular poco profundo, con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje (Ver Figura 5).

El lodo se aplica sobre el lecho en capas de 20 a 30 cm y se deja secar. El desaguado se efectúa mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación de la superficie por acción del sol y del viento. Inicialmente el agua percola a través del lodo y de la arena para ser removida por la tubería de drenaje en un periodo mínimo de un día.

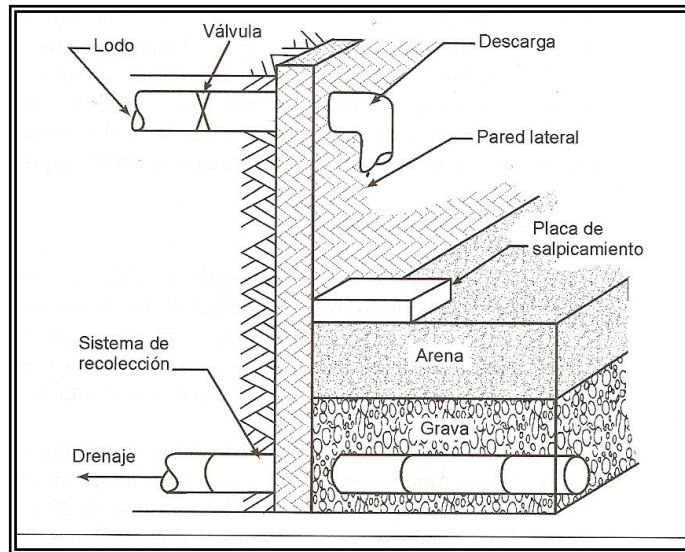
Una vez formada una capa de lodo sobrenadante, el agua es removida por decantación y por evaporación. La pasta se agrieta a medida que se seca, permitiendo evaporación adicional y el escape de agua lluvia desde la superficie.

---

<sup>8</sup> ROMERO, Op. Cit., p 779, 784, 785, 807, 808.

---

**Figura 5. Lecho de secado**



Fuente: ROMERO, Jairo Alberto. 2.002

- ⇒ **Filtro Banda:** Es un sistema de alimentación continua de lodo, donde se realiza también un acondicionamiento químico, generalmente con polielectrolitos. En los filtro banda primero se produce un drenaje por gravedad y después se hace pasar el lodo por una aplicación mecánica de presión para que se produzca la deshidratación, gracias a la acción de una telas porosas.
- ⇒ **Filtro Prensa:** Los filtros prensa constan de una serie de placas rectangulares verticales dispuestas una detrás de otra sobre un bastidor. Sobre las caras de estas placas se colocan telas filtrantes, generalmente de tejidos sintéticos. El espacio que queda entre dos placas, en su parte central hueca, es el espesor que adquirirá la torta resultante.
- ⇒ **Centrifugadora.** La centrifugadora es un tambor cilindro-cónico de eje horizontal que se fundamenta en la fuerza de centrifugación para la separación de la fase sólida del agua. Hay dos tipos de centrifugación en la deshidratación de los lodos. Una de ellas es la centrifugación contracorriente, donde los sólidos y el líquido circulan en sentido contrario dentro del cilindro.

### **1.3.3. Alternativas de disposición de los lodos**

El principal propósito de la disposición final de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, consiste en devolver estos o sus subproductos al medio ambiente sin que presenten un peligro potencial para la salud. A continuación se describen las alternativas utilizadas para la disposición de lodos residuales.

**1.3.3.1. Disposición de Lodos en rellenos.** Para esta alternativa el lodo se aplica sobre el suelo y se le entierra mediante la colocación de una capa de suelo sobre el. El relleno sanitario de lodos es una alternativa apropiada para disposición final de lodos cuando existe el terreno adecuado para dicho propósito. En algunos rellenos sanitarios, lodo compostado como lodo tratado químicamente se ha usado como material de cobertura.

**1.3.3.2. Compostaje de lodos.** El compostaje es la degradación biológica controlada de materiales orgánicos hasta formar un compuesto estable, de color oscuro, textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost, puede llevarse a cabo por vía aerobia o anaerobia.

En cuanto al manejo de lodos mediante este sistema solo una cantidad pequeña es procesada sola o en combinación con residuos sólidos domésticos, de hecho, no es un método alternativo de disposición sino un método de tratamiento para adecuar los Biosólidos a su uso en agricultura u horticultura. Por esta razón se utiliza poco, pues resulta más económico usar Biosólidos líquidos digeridos directamente en agricultura. Los lodos que pueden ser compostados incluyen tanto lodos digeridos como lodos primarios y secundarios sin digerir.

**1.3.3.3. Incineración de lodos.** Actualmente este proceso es considerado una alternativa de procesamiento de lodos cuando no hay terreno suficiente para disposición, cuando las normas ambientales son muy estrictas o cuando se requiere destrucción de materiales tóxicos. Los lodos procesados por incineración suelen ser lodos crudos desaguados sin estabilizar. La estabilización no es recomendable porque la digestión de los lodos reduce su contenido de sólidos volátiles y su poder calorífico. El valor calorífico de un lodo es función de las cantidades y tipos de elementos combustibles existentes, en tanto que sus elementos combustibles son básicamente el carbono fijo, el hidrógeno y el azufre. Los metales en lodos de aguas residuales domésticas existen en concentraciones muy bajas y su contribución a la combustión puede despreciarse.

**1.3.3.4. Vermiestabilización.** Esta alternativa de disposición de lodos es la estabilización y secado de lodos mediante lombrices de tierra, se ha usado con éxito en plantas piloto para lodos con materia orgánica y nutrientes suficientes para soportar el crecimiento de la lombrices. Algunas especies utilizadas son *Eisenia foetida*, *Eudrilus eugeniae*, *Pheretina hawaiana* y *Perionyx excavatus*.

**1.3.3.5. Disposición de lodos sobre el suelo.** Los lodos de aguas residuales domésticas contienen gran cantidad de materia orgánica, nitrógeno y fósforo se han utilizado para agricultura y cultivos paisajísticos mediante el riego del lodo sobre el suelo como acondicionador y fertilizante. La gran ventaja de la aplicación del lodo sobre el suelo radica en la recirculación de sus nutrientes y en la recuperación de suelos degradados y erosionados.

La aplicación de lodos sobre tierras de agricultura, tierras de bosques y terrenos alterados, facilitan el transporte de nutrientes, aumenta la retención del agua y mejora la labranza; además, reduce el consumo de fertilizantes.

Factores tales como la luz solar, los microorganismos que habitan en el terreno y la desecación, se combinan para destruir los organismos patógenos y muchas de las sustancias tóxicas presentes en el lodo, como los metales en traza que quedan atrapados en la matriz del suelo, y los nutrientes los consumen las plantas y los convierten en biomasa útil. En los tres primeros casos el lodo se utiliza como un recurso valioso para la mejora de condiciones del terreno.

El lodo actúa como acondicionador del suelo para facilitar el transporte de nutrientes, aumentar la retención del agua y mejorar la aptitud del suelo para cultivo. Los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) ayudan en el crecimiento vegetal, así como los micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, selenio, cromo y zinc). La materia orgánica también contribuye a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, permitiéndole retener el potasio, el calcio y el magnesio, la presencia de materia orgánica mejora la diversidad biológica del suelo y hace que los nutrientes estén más disponibles para las plantas.

Los lodos provenientes de las PTAR's deberían utilizarse al máximo con fines agrícolas para optimizar su disposición final obteniendo algunos beneficios. Para que un lodo tenga buenas propiedades fertilizantes, este no debe estar digerido porque de lo contrario su contenido de nitrógeno sería muy bajo. Los lodos contienen muchos elementos esenciales para la vida vegetal; es por ello que el uso de éstos como sustratos en floricultura tiene un alto porcentaje de éxito. Estos lodos ya sean secos o parcialmente deshidratados, son excelentes mejoradores o acondicionadores de suelos, además de que son buenos fertilizantes aunque incompletos, a no ser que se refuercen con nitrógeno, fósforo y potasio.



**1.3.3.6. Lodos utilizados como materia prima en la fabricación de ladrillos.** En el tratamiento de depuración de aguas residuales urbanas se generan una elevada cantidad de residuos, denominados lodos. Puesto que se trata de residuos no inertes con una elevada producción anual, su eliminación o destinación final es problemática. Por esto se presenta una nueva vía de eliminación que consiste en introducir dichos lodos dentro de matrices cerámicas para su valorización como material de construcción en cerámicas estructurales.

La primera referencia de material cerámico a base de mezcla de arcilla y lodo de depuradores de la era industrial, corresponde a la patente inglesa de T. Shaw. Esta patente describía el procedimiento: «lodo y arcilla mezcladas en iguales proporciones. La pasta plástica una vez está conformada se seca y se cocina». Lingl Corporación en Alemania en los años 70 produjo ladrillos para la construcción a partir de la mezcla de lodo urbano (e industrial) y arcilla.

En los años 80 en la Universidad de Maryland (EE.UU.) se probaron diferentes composiciones de lodo de depuradora y arcilla para producir ladrillos (Berman, 1.982). Según dicho trabajo, el contenido máximo de lodo para obtener ladrillos dentro de las normas americanas ASTM es del 30% en volumen (aproximadamente, el 8% en peso seco). También se han producido cerámicos a partir de arcilla y lodo urbano seco, lo cual supone un gasto energético añadido al proceso debido al secado de los lodos.

Se consiguen cerámicos mecánicamente resistentes hasta un 40% de lodo seco; por encima de esta concentración, la conformación por extrusión no es de buena calidad. Más concluyentes han sido las experiencias de fabricación de materiales cerámicos con las cenizas producto de la incineración del lodo. En estas condiciones se admite una concentración de hasta el 50% que permite la extrusión de la mezcla. El cerámico obtenido es de mayor resistencia a la compresión que el formado a base de lodo seco.

El uso de residuos como material de construcción tiene aplicaciones en muchos ámbitos y se lleva realizando desde la década de los años 80. Si bien estos residuos proceden básicamente de la industria (escorias, cenizas volantes, escombros de minería, cenizas de incineración de residuos sólidos urbanos, así como residuos de demolición de edificios), su aplicación hasta la actualidad se ha centrado exclusivamente como material de relleno en carreteras y obras públicas.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> CUSIDÓP Joan A. y LÁZAROV. Cremades, Nuevos materiales cerámicos para la construcción mediante valorización de lodos de aguas residuales urbanas: PROYECTO ECOBRICK. 2.006. p 14-22.

---

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología de este proyecto se basó en la investigación exploratoria, descriptiva y experimental. Con esto se logró definir los aspectos principales del manejo y disposición de lodos secundarios provenientes de la PTAR del Municipio El Rosal, se establecieron los procedimientos apropiados que determinaron cual era la mejor alternativa de uso y aprovechamiento para la disposición de estos lodos, se evaluó los lodos secundarios como materia prima para la producción de ladrillos y recuperación de suelo erosionado por la explotación del sector floricultor; por último se realizaron dos pruebas experimentales sobre el desempeño de las alternativas para así evaluar técnica y económicamente cual era la más viable. El proyecto se ejecutó en cuatro fases, las cuales se desarrollaron de la siguiente manera.

### **2.1. PRIMERA FASE: Diagnóstico situacional de las PTAR's El Rosal, La Calera y Bojacá y sus lodos secundarios**

Para este diagnóstico fue necesario realizar un muestreo compuesto para el análisis fisicoquímico del agua residual durante 12 horas en los diferentes puntos a evaluar (entrada al sistema, salida de los zanjones de oxidación o SBR y salida del sistema), para los lodos secundarios se realizó un muestreo puntual en la fase de sedimentación de cada planta (Ver Anexo A).

Para el análisis fisicoquímico del agua residual(Ver anexo A-1), se evaluaron los parámetros que se muestran en el Cuadro 1 utilizando las metodologías descritas en el Estándar Métodos, donde se pudo determinar que la planta de mejor operatividad y de mayor eficiencia en la remoción de carga contaminante es la planta del Municipio El Rosal.

En cuanto a los lodos secundarios se realizó un análisis fisicoquímico (Ver Anexo A-2), utilizando las metodologías descritas en el Estándar Métodos y de metales pesados por el método de espectrofotometría realizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; además se hizo un análisis microbiológico mediante el método del Manual de medios de Cultivo de MERCK, realizado en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de la Salle, para determinar si cumplían con los requerimientos mínimos exigidos por la norma EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: Uso y Disposición de los Biosólidos (Ver Anexo B), para ser dispuestos y aprovechados como materia prima en un proceso agroindustrial; los parámetros evaluados se muestran en el Cuadro 2.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

Los valores obtenidos en el análisis de los lodos secundarios se compararon con la norma EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: Uso y Disposición de los Biosólidos, ya que no existe en la legislación Colombiana una normatividad que especifique valores y usos para estos residuos.

**Cuadro 1. Análisis fisicoquímico del agua residual de las PTAR`s, El Rosal, La Calera y Bojacá**

LUGAR	ANÁLISIS
ENTRADA AL SISTEMA	Caudal
	pH
	Temperatura
	Sólidos sedimentables
	Sólidos suspendidos totales
	DBO
	DQO
	Grasas y aceites
SALIDA DE LOS ZANJONES DE OXIDACIÓN O SBR	Caudal
	pH
	Temperatura
	Grasas y aceites
	Sólidos suspendidos
	DQO
SALIDA DEL SISTEMA	DBO
	Caudal
	pH
	Temperatura
	Sólidos sedimentables
	Sólidos suspendidos totales
	DBO
DQO	
Grasas y aceites	

Fuente: Los Autores 2.009.

**Cuadro 2. Análisis de los lodos secundarios de las PTAR`s, El Rosal, La Calera y Bojacá**

LUGAR	ANÁLISIS
LODO BASE SECA	Contenido de Humedad
	Contenido de Cenizas
	Sólidos suspendidos totales
	Grasas y Aceites
	DBO
	DQO
	pH
	N Total P y K
	Metales: As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se y Cu.
	Microbiológicos: Salmonella, Coliformes fecales y totales y Escherichia coli

Fuente: Los Autores 2.009.

## **2.2. SEGUNDA FASE: Comparación de alternativas de uso y aprovechamiento para lodos secundarios y selección y acondicionamiento del lodo secundario.**

Según las pruebas fisicoquímicas, de metales pesados y microbiológicas realizadas en la primera fase para el lodo secundario, se estableció que los lodos de las tres PTAR's (El Rosal, La Calera y Bojacá), muestran valores similares y por debajo de los rangos establecidos por la norma EPA 40CFR, determinando con esto que se encuentran dentro de la categoría A y B.

La categoría C de la norma EPA 40 CFR-503, no aplica para comparar los lodos secundarios con los Biosólidos, ya que esta categoría se define como aquellos Biosólidos que no cumplen con los valores de los parámetros definidos para la categoría A y B y que no son considerados como peligrosos.

Se realizó una comparación de valores entre los valores de las categorías A y B de la norma EPA 40 CFR-503 y los valores obtenidos de las caracterizaciones realizadas a los lodos secundarios de las tres PTAR's objeto de estudio (Ver Tabla 11).

Se diseñó una matriz de comparación (Ver Tabla 12) de las alternativas para uso y aprovechamiento de los Biosólidos, determinando cuál era la más viable para ser utilizada incorporando lodos secundarios de acuerdo con lo establecido por la norma EPA 40CFR. Las alternativas se seleccionaron de acuerdo a las experiencias realizadas solo para el uso y aprovechamiento de lodos secundarios, teniendo en cuenta la parte económica, ambiental y social.

Para dar cumplimiento a esta fase se seleccionó el lodo secundario de la PTAR del municipio de El Rosal, con base en el diagnóstico situacional del agua residual; esta elección se hizo, debido a que la planta El Rosal presentó la mejor operatividad y la mayor eficiencia en la remoción de carga contaminante; además estos lodos secundarios objeto de estudio, no tuvieron la necesidad de ser estabilizados, ya que en los análisis se pudo confirmar que no presentan peligrosidad para su uso y aprovechamiento de acuerdo con lo estipulado en la norma EPA 40CFR. Las alternativas seleccionadas fueron: recuperación de suelo erosionado por parte del sector floricultor (Alternativa 1) y fabricación de ladrillos cerámicos (Alternativa 2).

Para el desarrollo de la Alternativa 1 se ubicó una finca (Aguapucha II) en el Municipio de Facatativá, la cual presenta en terreno explotado por la actividad floricultora y un terreno en desarrollo por esta actividad. (Ver anexo C).

En cuanto al desarrollo de la Alternativa 2, se contacto con una Ladrillera (Ladrillera Superior) la cual, prestó sus instalaciones y suministró el material necesario para llevar a cabo el proceso de fabricación de ladrillos cerámicos. (Ver Anexo D). El desarrollo de esta fase se discute en el capítulo 6 de este proyecto de investigación.

### **2.3. TERCERA FASE: Implementación de las alternativas de uso y aprovechamiento para la disposición de lodos secundarios**

#### **2.3.1. Alternativa No. 1: Recuperación del suelo erosionado por parte del sector floricultor**

Para esta alternativa se escogió un suelo estudio (Finca Aguapucha II) con deficiencia en macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), y un suelo estudio (Blanco) de la misma finca con contenidos de macronutrientes normales aptos para cultivo de flores.

Se realizaron muestras homogéneas en proporciones del suelo estudio (Aguapucha II) con base en el lodo secundario (Ver Tabla 1), con el fin de realizar una comparación después de incorporar el lodo secundario al suelo estudio (Aguapucha II).

**Tabla 1. Proporciones para la incorporación de lodo en la recuperación del suelo**

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>LODO %</b>	<b>SUELO %</b>
<b>Aguapucha II</b>	10	90
	20	80
	30	70
	40	60
	50	50

Fuente: Los Autores 2.009.

Para cada proporción se realizaron cinco (5) réplicas para un total de 25, con el fin de tener un dato estadístico para determinar qué proporción es la más eficiente en la recuperación del suelo erosionado por parte del sector floricultor. Los datos obtenidos de cada réplica después de dos meses de haber incorporado el lodo secundario a cada proporción, fueron enviados al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la universidad Nacional, donde para cada réplica se analizó la cantidad de macronutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo) contenido en el suelo.

### **2.3.2. Alternativa No. 2: Fabricación de ladrillos cerámicos**

Para la fabricación de ladrillos cerámicos a base de lodos secundarios, se realizaron mezclas homogéneas en proporciones de 10%: 90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60% y 50%:50% lodo-arcilla y un blanco de 100% arcilla, con el fin de observar que relación cumple con los parámetros exigidos por la Resolución 16395 de 2.004 de la Superintendencia de Industria y Comercio (Ver Anexo E) y con los procedimientos exigidos por norma NTC-4017: métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla (Ver Anexo F).

Para el desarrollo de esta fase se hizo una prueba de pre-experimentación donde se fabricaron 15 ladrillos cerámicos, tres ladrillos para cada proporción, donde se determinó que los ladrillos más estables fueron los de las proporciones del 10%: 90%, 20%:80% lodo-arcilla y 100% arcilla, y una prueba de experimentación donde se realizaron 150 ladrillos cerámicos, 50 para cada proporción estable, estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; además de esto se realizaron tres pruebas de resistencia en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad de la Salle. El resultado de esta fase se muestra en el Capítulo 6 de este proyecto de investigación.

### **2.4. CUARTA FASE: Evaluación técnica y económica de las alternativas de aprovechamiento y disposición de los lodos secundarios**

Para esta fase se realizó una comparación técnica y económica entre las alternativas seleccionadas, teniendo en cuenta los costos, la rentabilidad y la viabilidad para el sector agroindustrial.

Para la evaluación técnica y económica se tomaron los costos que se inciden en la recuperación del suelo erosionado por parte del sector floricultor y la fabricación de ladrillos cerámicos, se proyectó los costos para un tiempo de 10 años, donde se determinó la alternativa más viable para incorporar los lodos secundarios de la PTAR El Rosal.

Para desarrollar esta fase se evaluaron los costos por medio del método del valor futuro (VF) y se halló el punto de equilibrio para la alternativa más rentable. Los resultados de esta fase se encuentran en el capítulo 7.

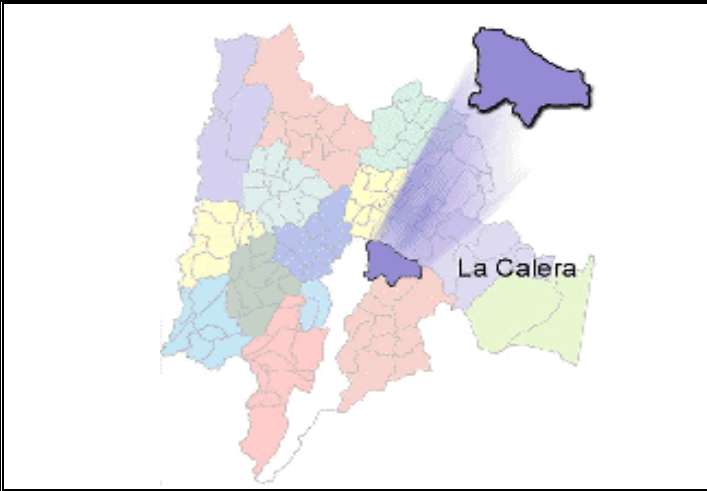
### **3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LOS LODOS SECUNDARIOS PROCEDENTES DE LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS DE LA CALERA, EL ROSAL Y BOJACÁ**

En el presente capítulo se describen las unidades de tratamiento de las PTAR's de los municipios de la Calera, el Rosal y Bojacá.

Posteriormente se presentan las caracterizaciones realizadas por los Autores, las cuales permitieron evaluar las eficiencias actuales de la PTAR's objeto de estudio.

#### **3.1. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA PTAR EL MUNICIPIO DE LA CALERA**

**Tabla 2. Información general del Municipio de La Calera**



PROVINCIA	Guavio
HABITANTES	27.370
ALTITUD	2.718 m.s.n.m.
TEMPERATURA	15° C
DISTANCIA A BOGOTA	16 Km.

Fuente: DANE 2.006

### **3.1.1. Generalidades de la PTAR de La Calera**

La planta se diseñó para una capacidad de 32 LPS, con el fin de atender una población de 21.338 habitantes que tendría la zona urbana en el año 2.020. La carga orgánica de diseño es de 572 Kg de DBO<sub>5</sub> por día, equivalentes a una concentración de 207 mg/L en el caudal de diseño. La planta cuenta con tratamiento preliminar y un tratamiento secundario compuesto por dos Reactores SBR y un digestor de lodos aeróbico, igualmente cuenta con 16 lechos de Secado. En las Tablas 3 y 4 se presentan las especificaciones de la PTAR de La Calera.

**Tabla 3. Especificaciones de la PTAR de La Calera**

Ubicación	Noroccidente del casco urbano
Área Terreno	3,85 Ha
Área construida	0,9 Ha
Año de Construcción	2.002

Fuente: Los Autores 2.009.

**Tabla 4. Especificaciones de diseño de la PTAR La Calera**

Población de Diseño	16.000 Habitantes
Caudal de Diseño	32 L/s
Caudal Actual de tratamiento	23,85 L/s
Fuente Receptora	Río Teusaca

Fuente: Los Autores 2.009.



### 3.1.2. Funcionamiento de la PTAR La Calera

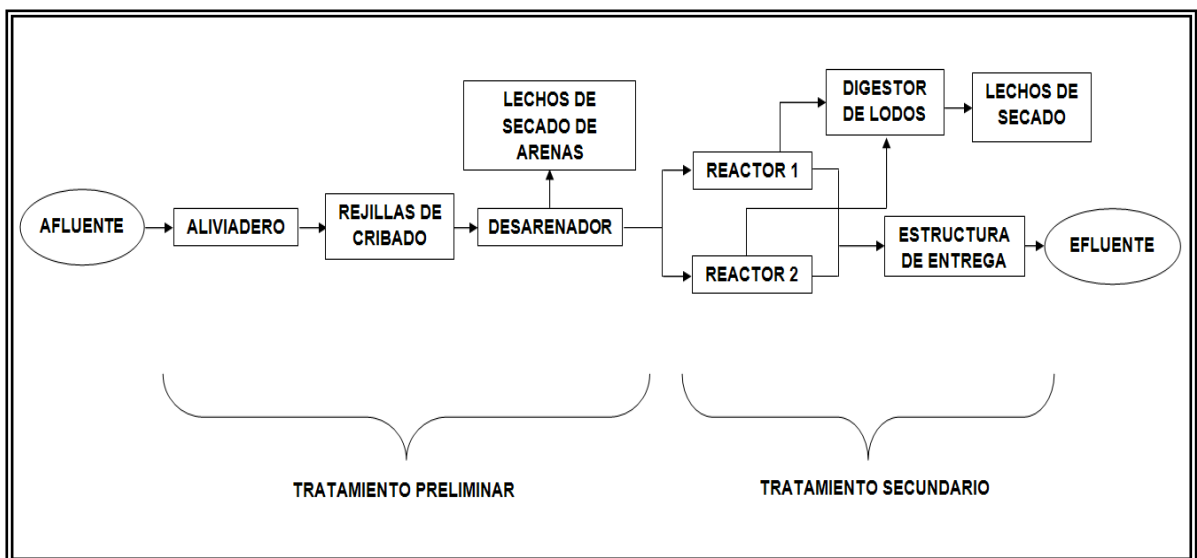
Esta planta cuenta con dos sistemas de tratamiento para el manejo de sus aguas residuales:

**3.1.2.1. Tratamiento Preliminar.** El tratamiento preliminar tiene por objeto evacuar las aguas combinadas de excesos, eliminar los sólidos gruesos que ingresan y también permitir el aforo del caudal del agua que entra a la planta.

**3.1.2.2. Tratamiento secundario.** En el tratamiento biológico la materia orgánica es degradada por microorganismos; en un reactor SBR se realiza mediante fases o etapas en las cuales se van desarrollando procesos biológicos los cuales permiten la degradación y síntesis de la materia orgánica.

En la Figura 6 se presenta el esquema de procesos de la PTAR La Calera, y en la Figura 7 se presenta el plano de la planta.

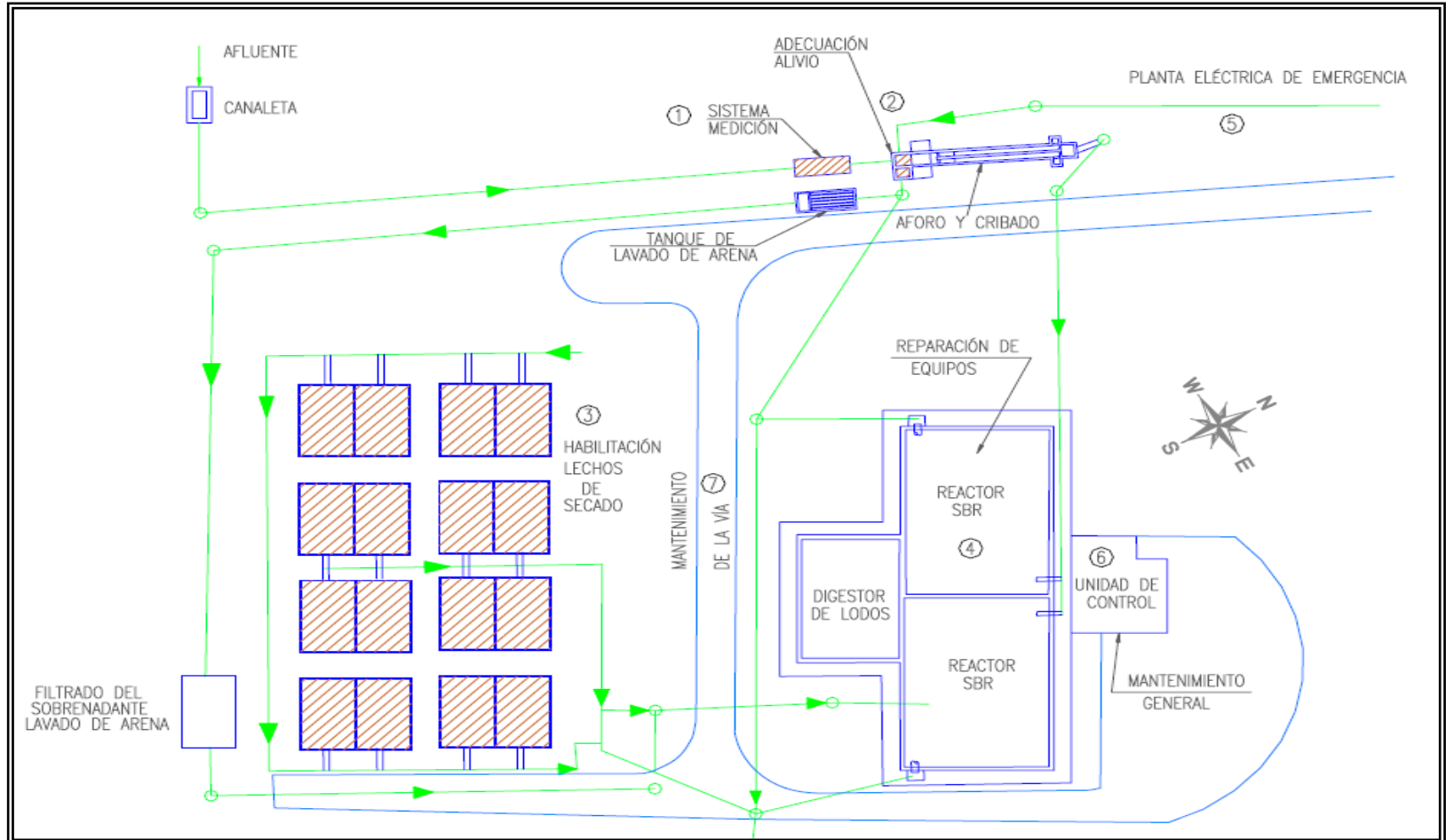
Figura 6. Esquema de procesos de la PTAR La Calera



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de la PTAR La Calera 2.006.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Figura 7. Plano en planta de la PTAR del Municipio La Calera**



Fuente: Los Autores 2.009.

### 3.1.3. Unidades de tratamiento de la PTAR de La Calera

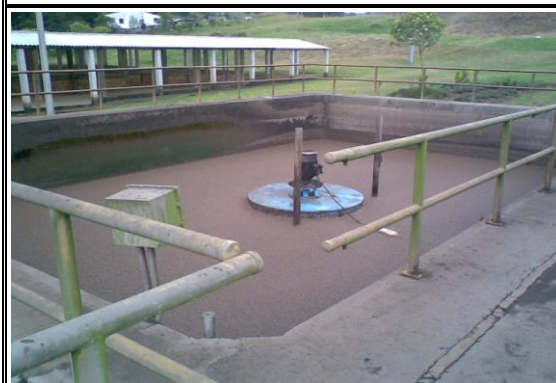
**Cuadro 3. Unidades de tratamiento PTAR La Calera**

IMAGEN	SISTEMA
	<p><b>ESTRUCTURA DE LLEGADA Y ALIVIO:</b></p> <p>Estructura de concreto reforzado ubicada después de la llegada del colector final de 1,20 m x 2,75 m, provisto de un vertedero lateral de excesos de 1,20 m de longitud y 1,0 m de altura y una cámara de salida de excesos igualmente en concreto reforzado de 1,20 m x 0,95 m x 1,0 m de altura.</p>
	<p><b>REJILLAS DE CRIBADO:</b></p> <p>El sistema de cribado medio y fino está compuesto de dos rejillas metálicas de 1,20 m de ancho con platinas de 2 mm. La rejilla media tiene un espaciamiento entre platinas de 1,5 cm y la rejilla fina de 1 cm. Las rejillas poseen una bandeja de escurrimiento en lámina metálica perforada de 50 cm, tienen una inclinación de 45° y son de limpieza manual.</p>
	<p><b>ESTRUCTURA DE AFORO:</b></p> <p>Para el aforo de caudal afluente se cuenta con una canaleta parshall con un ancho de garganta de 6 " y una profundidad total de 1m para la medición de caudales, esta construida en cemento con paredes en lamina de vidrio.</p>
	<p><b>DESARENADOR:</b></p> <p>Está compuesto por dos canales desarenadores por gravedad de sección variable con una longitud de 11,5 m cada uno. El ancho de cada canal es de 0,75 m. Cada canal está dotado de compuertas deslizantes en sus extremos, lo cual permite que periódicamente se cierre uno de ellos para remover los sedimentos depositados.</p>



**REACTORES SBR:**

Los dos reactores son estructuras en concreto reforzado de 18,6 m x 13,4 m x 7,00 m de profundidad, contienen mezclador, difusores de aire, controles automáticos de nivel y electroválvulas que regulan la salida del clarificado.



**TANQUE DIGESTOR DE LODOS:**

Este tanque es una estructura en concreto reforzado de 13,4 m x 9,1 m x 3,4 m de profundidad, está provisto por un mezclador, controles automáticos de nivel y electroválvulas que regulan el riesgo de lodos frescos y la salida de lodos digeridos.



**LECHOS DE SECADO:**

Esta estructura contiene 16 unidades de secado individual con área de 37 m<sup>2</sup> cada uno para un área total de 600 m<sup>2</sup>. Los lechos están cubiertos con teja metálica ondulada; se componen de una capa de arena y una capa de grava que sirve de soporte al lecho de arena. Sobre el lecho de arena se tienen colocados ladrillos sueltos, realizándose el flujo de aguas a través de sus juntas.



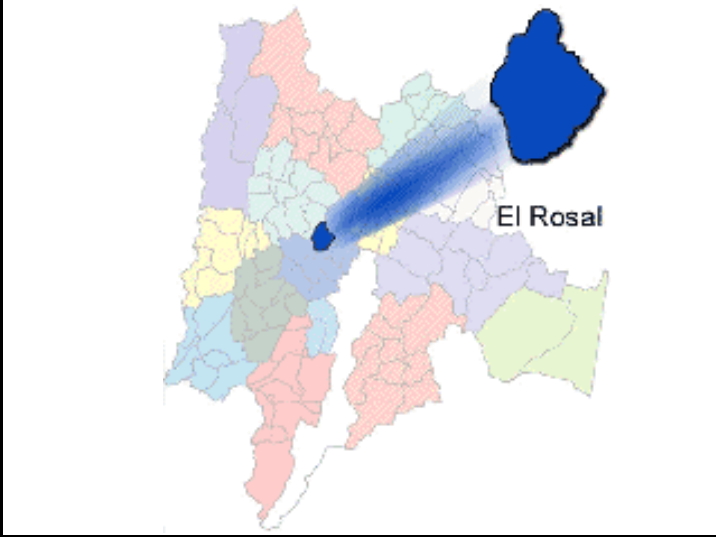
**DESCARGA AL CUERPO RECEPTOR:**

Es un cabezal de descarga en concreto reforzado que vierte el efluente en el río Teusacá.

Fuente: Los Autores 2.009

### **3.2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA PTAR EL MUNICIPIO DEL ROSAL**

**Tabla 5. Información general del Municipio del Rosal**



PROVINCIA	Sabana Occidente
CODIGO DANE	25.260
HABITANTES	8.014
ALTITUD	2.586 m.s.n.m
TEMPERATURA	11°C
DISTANCIA A BOGOTA	25 Km

Fuente: DANE 2.006

#### **3.2.1. Generalidades de la PTAR del Rosal**

La planta de tratamiento se encuentra localizada al Sur del Municipio, sobre la vía que conduce a Madrid a la altura del puente que cruza el Río Subachoque, en la vereda Puerta del Cuero. La planta fue diseñada en el año 2.003 para remover un 92,45% de carga orgánica. En las Tablas 6 y 7 se presentan las especificaciones de la PTAR del Rosal.

**Tabla 6. Especificaciones de la PTAR del Rosal**

Ubicación	Sur del Municipio. Vereda Puerta del cuero.
Área del terreno	12.856 m <sup>2</sup>
Año de construcción	2.003

Fuente: Los Autores 2.009.

**Tabla 7. Especificaciones de diseño de la PTAR del Rosal**

Población de Diseño	9.060 Habitantes
Fuente Receptora	Río Subachoque
Caudal de diseño	398 L/s
Caudal Actual de tratamiento	8,7 L/s

Fuente: Los Autores 2.009.

### **3.2.2. Funcionamiento de la PTAR El Rosal**

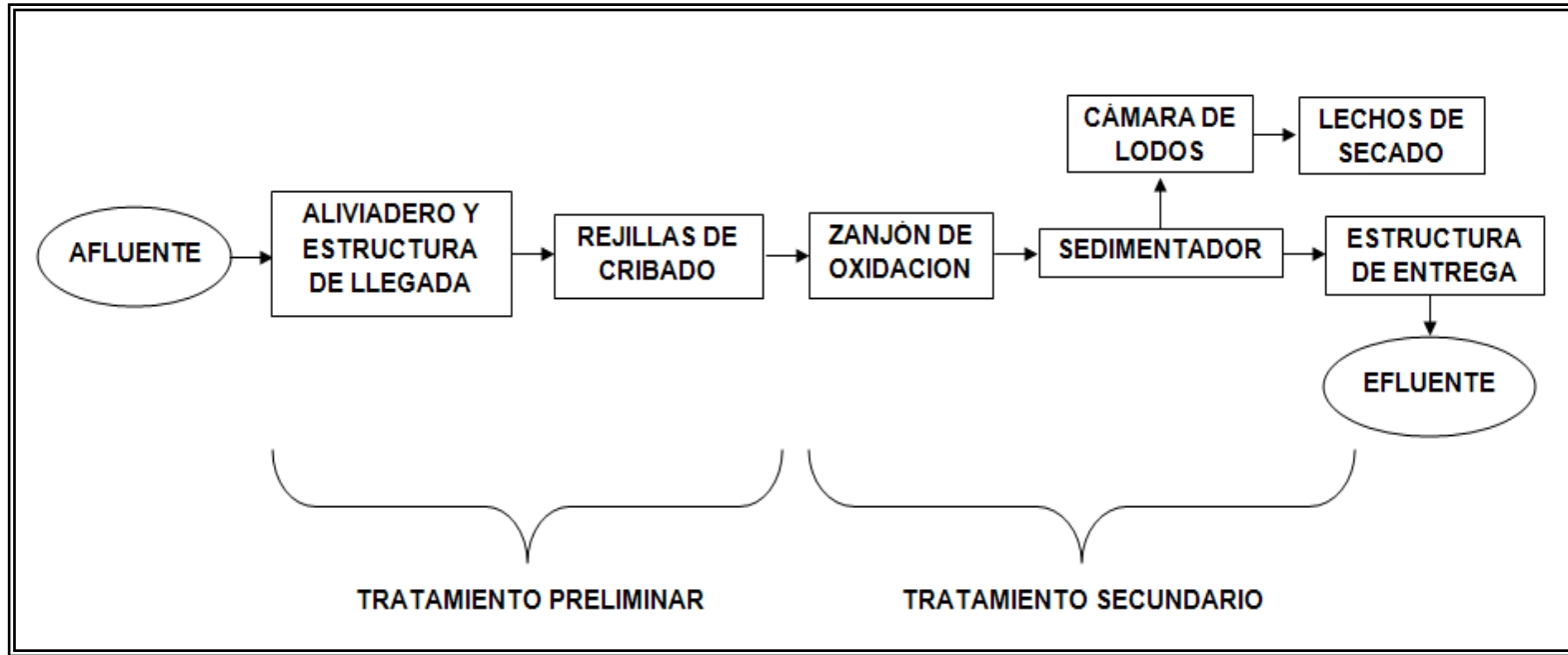
Para el manejo de las aguas residuales, la PTAR del Rosal, cuenta con dos grupos de procesos; Tratamiento preliminar y Tratamiento secundario.

**3.2.2.1. Tratamiento Preliminar.** Con estos procesos se busca la evacuación de aguas combinadas de excesos, la eliminación de los sólidos gruesos flotantes y el aforo de caudales de ingreso a la PTAR. Para el desarrollo de este primer proceso, la PTAR del Municipio del Rosal, capta las aguas residuales procedentes de la red de alcantarillado municipal.

**3.2.2.2. Tratamiento secundario.** Este tratamiento tiene por objeto eliminar la materia orgánica presente en el agua residual mediante microorganismos que actúan aeróbicamente. El tratamiento cuenta con una unidad denominada zanjón de oxidación conformada por un sistema de aireadores.

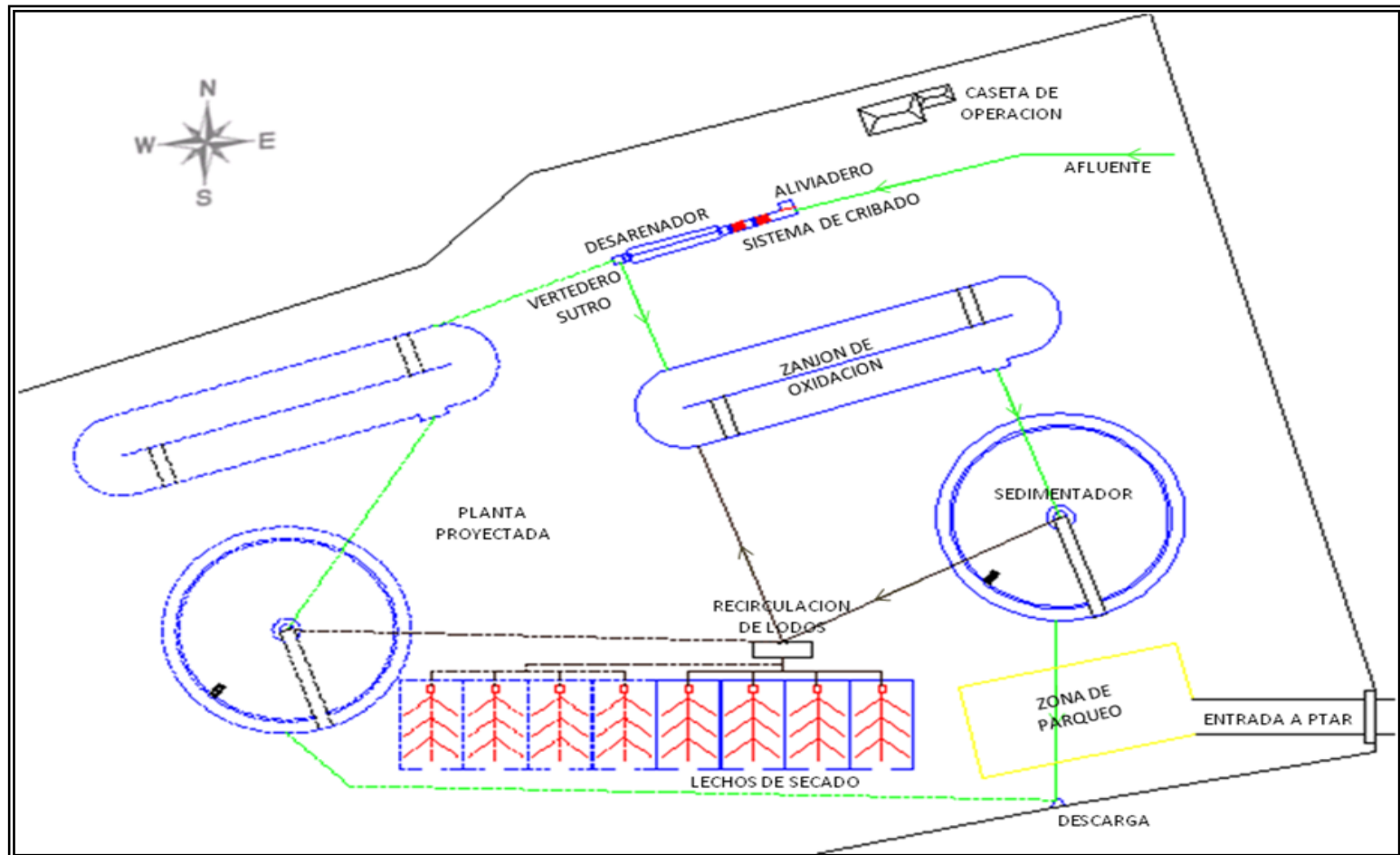
En la Figura 8 se presenta el esquema de procesos de la PTAR El Rosal, y en la Figura 9 se presenta el plano de la planta.

Figura 8. Esquema de procesos PTAR El Rosal



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de la PTAR El Rosal 2.006.

Figura 9. Plano en planta de la PTAR del Municipio El Rosal



Fuente: Los Autores 2.009.



### 3.2.3. Unidades de tratamiento de la PTAR del Rosal

**Cuadro 4. Unidades de tratamiento PTAR El Rosal**

IMAGEN	SISTEMA
	<p><b>ESTRUCTURA DE LLEGADA Y ALIVIO:</b></p> <p>Estructura en concreto reforzado ubicada después de la llegada del colector final de diámetro de 24", provista de un vertedero lateral de excesos de 1,30 m de longitud y 0,30 m de altura, una cámara de salida de los excesos en concreto reforzado y una rejilla con varillas redondas en acero inoxidable de diámetro de ½" espaciadas 3/8" entre sí.</p>
<p align="center"><b>REJILLA CRIBADO MEDIO</b></p> 	<p><b>REJILLAS DE CRIBADO:</b></p> <p>Esta unidad se encuentra después de la estructura de alivio y tiene por objeto retener los sólidos gruesos que llegan a la PTAR.</p>
<p align="center"><b>REJILLA CRIBADO FINO</b></p> 	<p>Esta compuesta de dos rejillas metálicas de 0,60 m de ancho; la primera rejilla de cribado medio con barras redondas de 1/2" de espesor con espaciamiento de 1,5 cm entre ellas y una bandeja de escurrimiento en lámina metálica perforada de 35 cm de ancho y la segunda rejilla de cribado fino con barras rectangulares y espaciamiento de 1,0 cm entre ellas, ambas tienen una inclinación de 45° a nivel del suelo.</p>

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**



**DESARENADOR:**

Se compone de dos canales en concreto reforzado ubicados en paralelo, de flujo horizontal de sección y superficie rectangular los cuales tienen una longitud de 6,5 m cada uno.

Cada canal cuenta con una tolva de almacenamiento de arenas de 1,60 m<sup>3</sup> y dos compuertas en madera a la entrada y a la salida del flujo de agua.



**ESTRUCTURA DE AFORO:**

Para el aforo de caudal afluyente se cuenta con un vertedero Sutro de lámina en fibra de vidrio ubicado a la salida del sistema de desarenado que dispone de una regleta graduada en centímetros la cual mide la altura del caudal.



**ZANJÓN DE OXIDACIÓN:**

El zanjón de oxidación es una estructura de concreto reforzado compuesta de dos secciones rectas de 32 metros de longitud y secciones curvas que conforman un canal cerrado. El ancho de sección es de 7 metros, la profundidad del agua es de 3 metros con un borde libre adicional de 0,3 metros para un volumen neto de 1.806 m<sup>3</sup>.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**



Presenta un suministro de oxígeno dado por cuatro aireadores de 15 HP de potencia cada uno, los cuales se encuentran ubicados por parejas al inicio de las secciones rectas del zanjón.

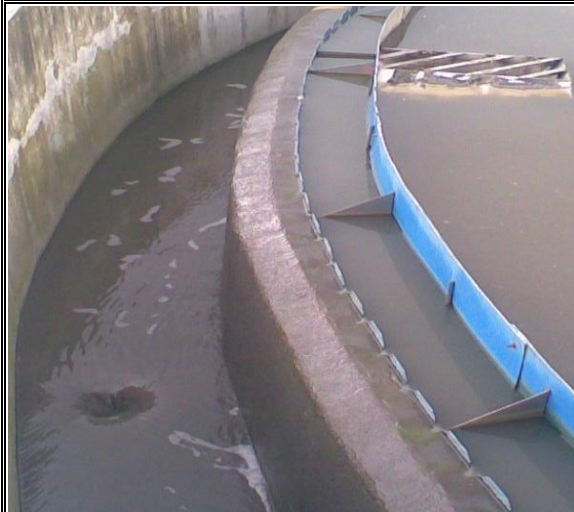
La estructura cuenta con un vertedero lateral que envía el licor mezclado de rebose hacia el sedimentador y un sistema de purga de lodos desde el sedimentador por medio de una tubería de 6".



**SEDIMENTADOR:**

Es una estructura en concreto reforzado de área superficial circular y cuerpo cilíndrico con tolva para almacenamiento y espesamiento de lodos con diámetro interno de 16 m, profundidad de 3 m y volumen de 603,2 m<sup>3</sup>; la alimentación se hace por la parte inferior del sedimentador que sube por una torre cilíndrica construida en concreto, en la cual se halla instalado un baffle que sirve para la distribución uniforme y radial del caudal; el agua clarificada es evacuada a través de múltiples vertederos de sección triangular de 90°, altura total de 0,10 m y pared delgada.

El sedimentador cuenta con un puente barredor de lodos y material flotante cuyo flujo es recirculado hacia el zanjón de oxidación. Los lodos son extraídos por gravedad hacia el pozo de succión de la cámara de bombeo de recirculación o hacia los lechos de secado según las necesidades operativas.





**SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS:**

El sistema de recirculación de lodos consta de una cámara de bombeo en mampostería con dos bombas sumergibles en su interior y de tuberías de interconexión que van del sedimentador a la cámara de bombeo, de la cámara de bombeo al zanjón y de la cámara a los lechos de secado.



**LECHOS DE SECADO:**

Los lechos están compuestos por cuatro unidades de secado individual con área de 35,60 m<sup>2</sup> cada una para un área total de 142,4 m<sup>2</sup>; la sección horizontal es rectangular de dimensiones libres de 4,6 m de ancho por 7,70 m de largo. Los lechos están cubiertos con teja metálica galvanizada tipo canaleta que permite que los lodos se sequen a condiciones normales. Los lechos de secado se componen de una capa de arena y una capa de grava que sirve de soporte al lecho de arena.



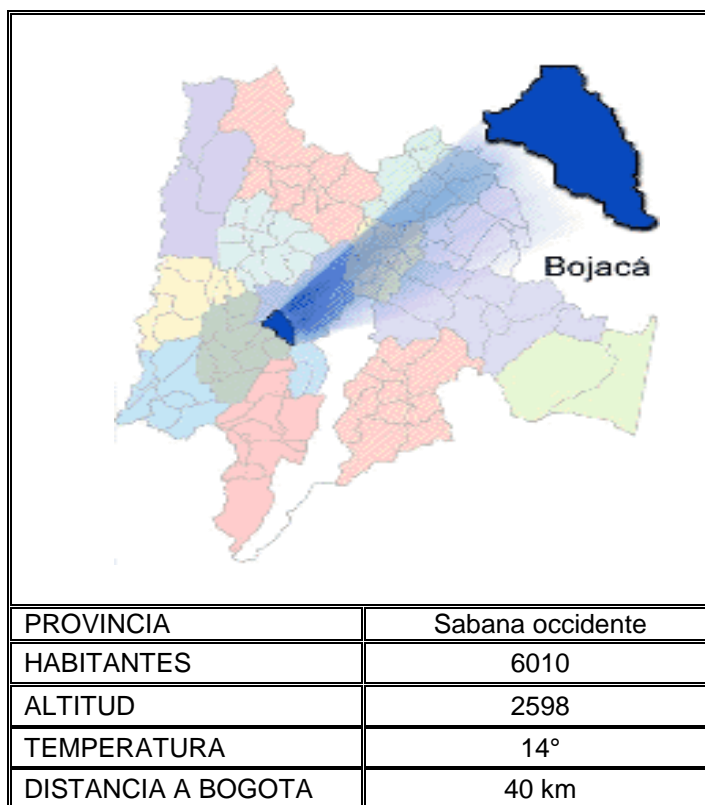
**DESCARGA:**

El cabezal de descarga construido en concreto reforzado cuenta con un sistema de disipación de energía localizado en la solera. Esta estructura se encuentra localizada al costado sur de la planta de tratamiento conduciendo el agua tratada a un canal.

Fuente: Los autores 2.009.

### 3.3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA PTAR DEL MUNICIPIO DE BOJACÁ

Tabla 8. Información general del Municipio de Bojacá



Fuente: DANE 2.006.

#### 3.3.1. Generalidades de la PTAR de Bojacá

La Planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Bojacá se construyó mediante el financiamiento CAR-BID. Esta planta fue diseñada en el año 2.002 con un horizonte de diseño al 2.012 para un caudal de tratamiento de 9,34 L/s. En las Tablas 9 y 10 se presentan las especificaciones de la PTAR de Bojacá.

**Tabla 9. Especificaciones de la PTAR del Municipio de Bojacá**

Ubicación	Sector Sur occidental a 25 Km de Bogotá, la vía de acceso es de 5,5 Km. que se desprende a la central Facatativá
Área del Terreno	2,5 Ha
Área Construida	300 m <sup>2</sup>
Año de Construcción	2.003

Fuente: Informe diagnóstico de operación y mantenimiento PTAR's CAR 2006

**Tabla 10. Especificaciones de diseño de la PTAR del Municipio de Bojacá**

<b>Población de Diseño</b>	6.724 Habitantes
<b>Fuente Receptora</b>	Humedal el Juncal
<b>Caudal de Diseño</b>	9,34 L/s
<b>Caudal Actual de Tratamiento</b>	5,34 L/s

Fuente: Informe diagnóstico de operación y mantenimiento PTAR's CAR 2006

### **3.3.2. Funcionamiento de la PTAR de Bojacá**

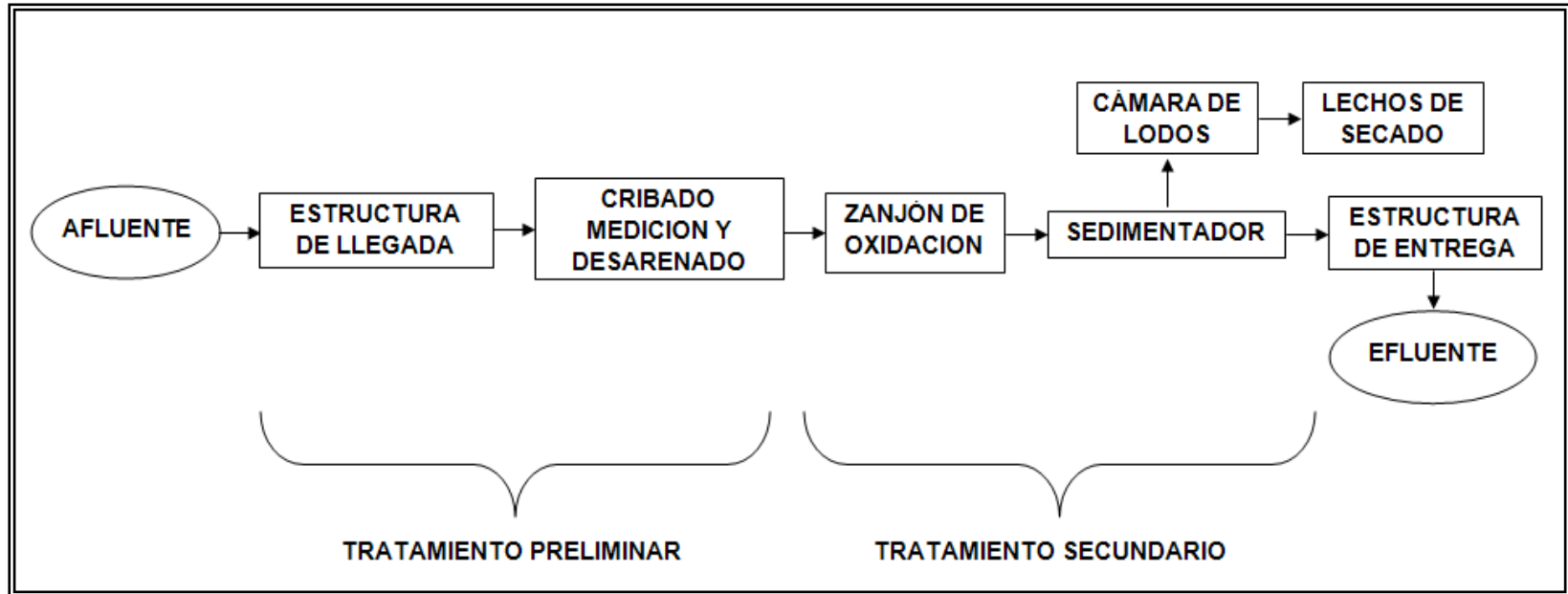
La PTAR de Bojacá cuenta, con un tratamiento preliminar y un tratamiento secundario para el manejo de sus aguas residuales.

**3.3.2.1. Tratamiento Preliminar.** En el tratamiento preliminar se busca evacuar sólidos gruesos flotantes y aguas combinadas en exceso que entra a la PTAR, también se realiza en este proceso el desarenado de partículas y aforo de caudales.

**3.3.2.2. Tratamiento Secundario.** Durante esta etapa del proceso al igual que en la PTAR del municipio del Rosal, microorganismos aeróbicos degradan la materia orgánica contenida en el agua residual mediante un zanjón de oxidación, el cual cuenta con un sistema de aireadores.

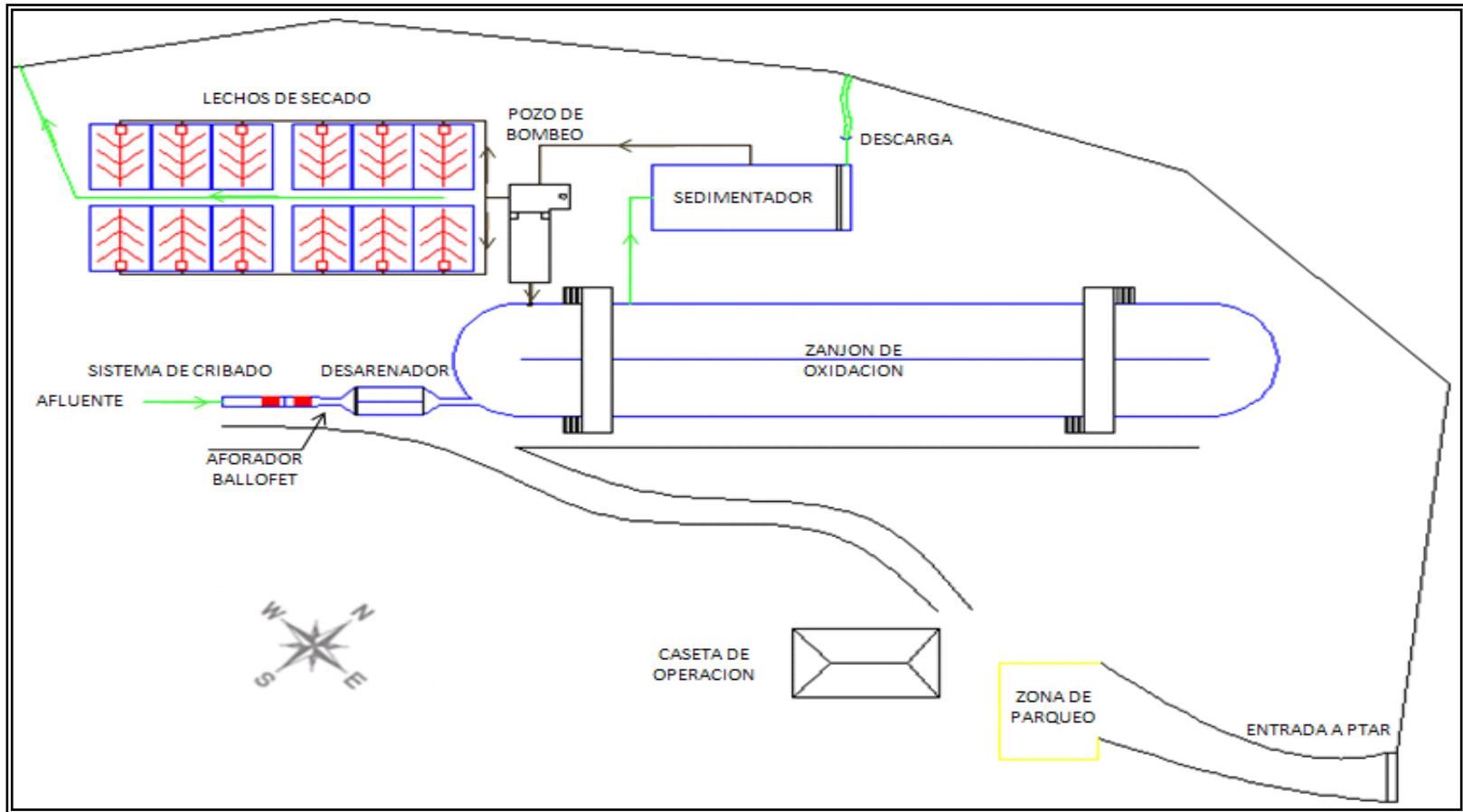
En la Figura 10 se presenta el esquema de procesos de la PTAR Bojacá, y en la Figura 11 se presenta el plano de la planta.

Figura 10. Esquema de procesos PTAR Bojacá



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de la PTAR Bojacá 2.006.

Figura 11. Plano en planta de la PTAR del Municipio de Bojacá



Fuente: Los Autores 2.009.



### 3.3.3. Unidades de tratamiento de la PTAR Bojacá

**Cuadro 5. Unidades de tratamiento PTAR Bojacá**

IMAGEN	SISTEMA
	<p><b>SISTEMA DE CRIBADO:</b></p> <p>Este sistema está ubicado en un canal de sección rectangular de 0,60 m<sup>2</sup> y una longitud de 4,5 m. Está compuesto de dos rejillas metálicas de 0,60 m de ancho con barreras redondas de 1/2", inclinadas a 45° y de limpieza manual. La primera rejilla posee un espaciamiento de 1 cm entre barreras y la segunda rejilla posee un espaciamiento entre barras de 2 cm. Poseen una bandeja de escurrimiento en lámina metálica perforada de 30 cm de ancho.</p>
	<p><b>CANAL DE AFORO:</b></p> <p>Cuenta con un aforador Ballofet ubicado en el canal, posterior de las rejillas de cribado. Para el aforo del caudal existe una regleta graduada en centímetros dentro de la canaleta que permite medir la altura del caudal.</p>
	<p><b>DESARENADOR:</b></p> <p>Compuesto por dos canales rectangulares de flujo horizontal ubicados en paralelo, están construidos en concreto; tienen una longitud de 3,4 m, ancho de 0,85 m y de altura 1,6 m. Cada canal tiene dos compuertas deslizables ubicadas una a la entrada y otra a la salida del desarenador y baffles para la retención de grasas flotantes.</p>



### **ZANJÓN DE OXIDACIÓN:**

El zanjón es una unidad cerrada equipado por tres aireadores de 7,5 HP de potencia cada uno, los cuales suministran oxígeno constante y están ubicados de manera que le den proporción al área total del zanjón.

La estructura es de concreto reforzado, dividido en dos secciones rectas de longitud de 109 m en total (50,45 cada sección) y dos secciones curvas que le dan al zanjón el perfil cerrado; el ancho de cada sección es de 3,5 m y altura máxima de la lámina de agua es de 2 m. El volumen total del zanjón es de 765 m<sup>3</sup>. Cuenta con un vertedero lateral el cual envía el licor mezclado de rebose hacia el sedimentador.



### **SEDIMENTADOR:**

El sedimentador es una estructura rectangular en la superficie y cónica en el fondo donde el flujo de agua entra en forma ascendente. Este sistema posee un medio laminar en plástico de forma tubular, donde se realiza el proceso de decantación acelerado de partículas suspendidas permitiendo la extracción de lodos para evitar malos olores. Además del medio laminar el sedimentador tiene un canal donde se recolecta el agua clarificada que después pasa a un canal escalonado donde es evacuada a la salida de la planta.





### **LECHOS DE SECADO:**

El área de los lechos consta de 12 secciones en concreto reforzado y ladrillo tolete; cada sección contiene tubería PVC perforada en forma de espina de pescado, donde se recogen los lixiviados de los lodos los cuales son devueltos al zanjón de oxidación.



Cada sección tiene en su interior capas de 0,20 m de espesor de arenas, 0,20 m de gravas y una capa de ladrillo tolete dispuesto manualmente que recibe y soporta lodos procedentes del sedimentador.



### **DESCARGA:**

El efluente tratado sale directamente del sedimentador a un vertedero de descarga que es un cabezal en concreto reforzado con un sistema de disipación de energía en la solera.

La estructura cuenta con una regleta para la medición del caudal tratado

Fuente: Los Autores 2.009.

### **3.4. CARACTERIZACIONES PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS DE LA CALERA, EL ROSAL Y BOJACÁ**

#### **3.4.1. Caracterización del agua residual**

Con el fin de evaluar el comportamiento y la eficiencia de las PTAR's de los municipios la Calera, el Rosal y Bojacá, se realizaron caracterizaciones del agua residual en los meses de marzo, abril y mayo de 2.008.

Para la determinación de las características fisicoquímicas se evaluaron los siguientes parámetros: caudal, pH, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, DQO, grasas y aceites. Para llevar a cabo los análisis mencionados anteriormente, se tomaron las muestras en los puntos que se muestran en el Cuadro 1.

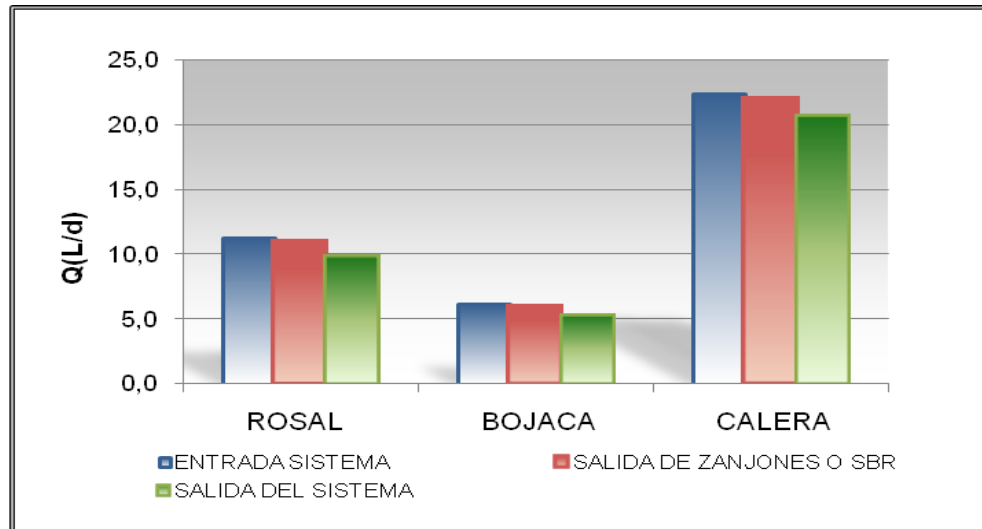
Se realizaron tres muestreos horarios durante un periodo de 12 horas, obteniendo muestras compuestas. Los resultados obtenidos durante las caracterizaciones se presentan en el Anexo A-1, en donde se encuentra el soporte de los datos. Para la presentación de los resultados, se tuvieron en cuenta los valores correspondientes a la media de cada elemento analizado, los cuales se calcularon por el Método Aritmético, el cual consiste en calcular la media muestral, que es la suma de los muestreos realizados dividido entre la cantidad de muestreos correspondientes.

En las Figuras 12 a 19 se presenta el comportamiento de los parámetros evaluados para cada una de las plantas.

**3.4.1.1. Caudal.** En la Figura 12 se observa el comportamiento del caudal promedio evaluado durante un periodo de doce (12) horas, en las PTAR'S objeto de estudio. La variación de caudal entre las plantas, se debe a que el número de habitantes del municipio de la Calera, es mucho mayor que los habitantes de los municipios del Rosal y Bojacá.

También se observa que existe una disminución del caudal entre la salida del zanjón o SBR y la salida del sistema, debido a que los lodos extraídos en el proceso de sedimentación contienen humedad, la cual es evacuada en los lechos de secado.

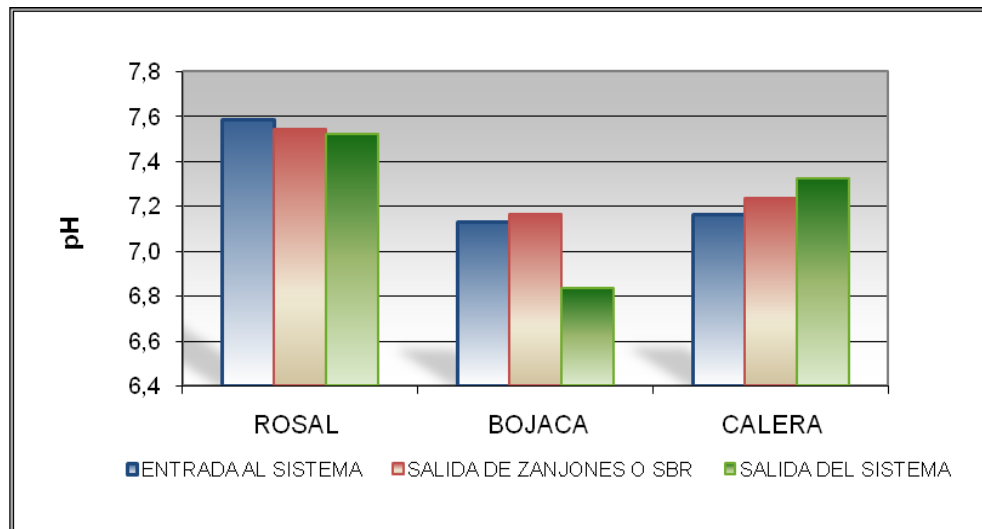
Figura 12. Comportamiento Caudal PTAR's CAR



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.1.2 pH.** En la Figura 13 se puede observar que el pH en los puntos evaluados en las PTAR'S objeto de estudio, se encuentra dentro de los rangos que garantizan una adecuada operación del sistema de lodos activados (6,5 – 7,5 unidades)<sup>10</sup>.

Figura 13. Comportamiento pH PTAR's CAR

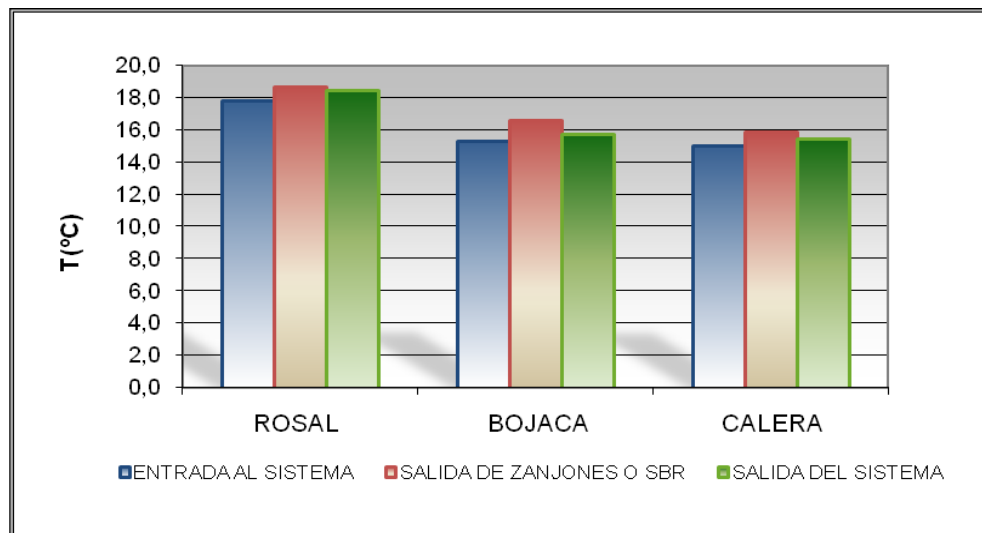


Fuente: Los Autores 2.009.

<sup>10</sup> CHAVEZ, Gabriela, El Lodo y su Producción. México. 2.002 p 1-3.

3.4.1.3. Temperatura. En la Figura 14 se observa el comportamiento de la temperatura promedio en las PTAR'S, objeto de estudio. Los valores oscilan entre los 15° C y 19° C, valores que dependen de la localización de cada planta. Además se puede apreciar, que la temperatura en las plantas aumenta en el momento que el agua residual sale de los sistemas de lodos activados, debido a las reacciones que ocurren por la degradación de la materia orgánica.

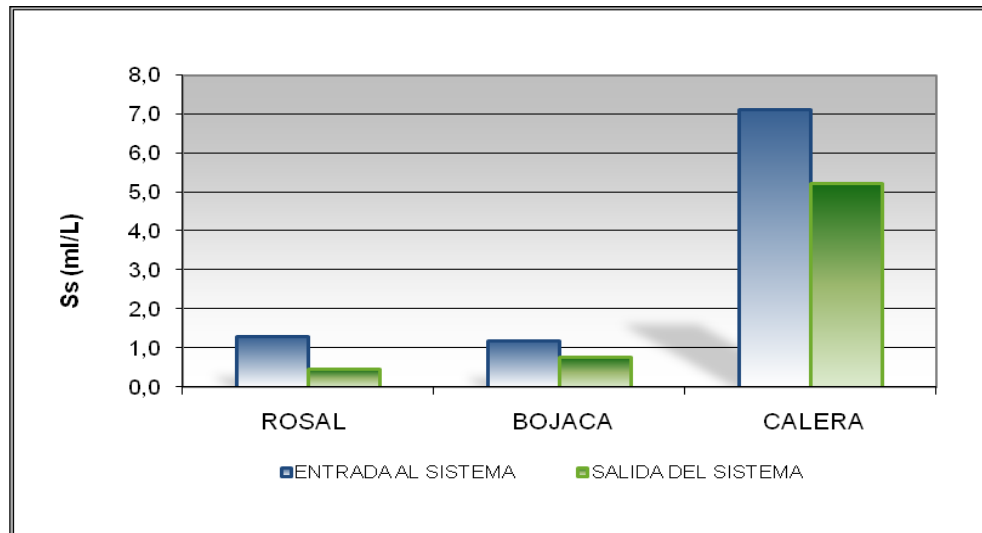
**Figura 14. Comportamiento temperatura PTAR's CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.1.4. Sólidos sedimentables.** En la Figura 15 se observa el comportamiento de los sólidos sedimentables promedio. En las PTAR's de El Rosal y Bojacá, los sólidos sedimentables presentan una disminución notable a la salida del sistema, ya que los desarenadores tienen una buena operatividad; la planta de La Calera contiene una mayor cantidad de sólidos sedimentables que pueden ser arenas u otros materiales que no son removidos en el sistemas de cribado, a diferencia de las otras PTAR's objeto de estudio.

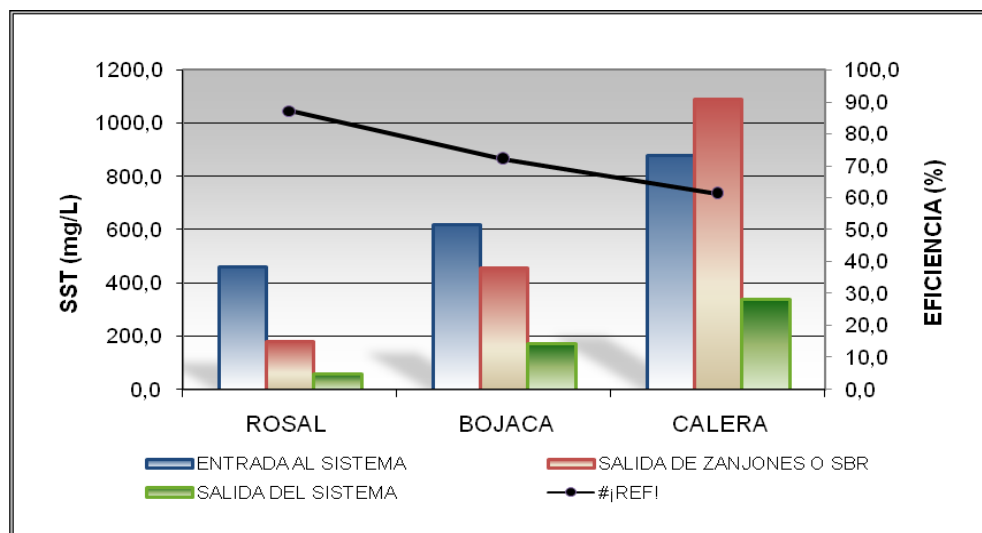
**Figura 15. Comportamiento sólidos sedimentables PTAR's CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.1.5. Sólidos suspendidos totales.** Los valores obtenidos a la entrada de las PTAR's de los municipios de Bojacá y la Calera según la Figura 16, no se encuentran dentro de los rangos para garantizar una adecuada digestión aerobia (< 500 mg/L). La eficiencia promedio de remoción global del sistema en sólidos suspendidos en la PTAR el Rosal fue de 87,1%, para la PTAR de Bojacá fue de 72,2%, y para la PTAR de la Calera fue de 61,4%, indicando que la planta del Rosal es la única que cumple con lo mínimo exigido por el decreto-ley 1594 de 1.984 (80%) remoción de carga SST.

**Figura 16. Comportamiento sólidos suspendidos totales PTAR's CAR**

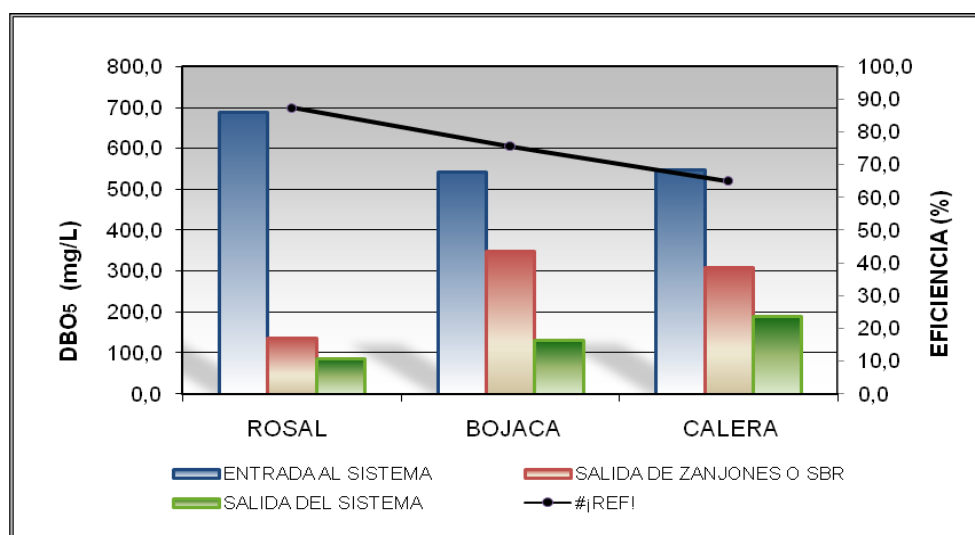


Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.1.6. DBO<sub>5</sub>.** La DBO<sub>5</sub> se midió con el fin de evaluar el comportamiento de este parámetro en las plantas, y comparar su eficiencia global según lo estipulado en el decreto - Ley 1594 de 1.984. La eficiencia promedio de remoción global del sistema en la PTAR el Rosal fue de 87,4%, para la PTAR de Bojacá fue de 75,7%, y para la PTAR de la Calera fue de 65% (Ver Figura 17), indicando que la planta del Rosal es la única que cumple con lo mínimo exigido por el decreto-ley 1594 de 1.984 (80%) en remoción de carga. De acuerdo a los resultados obtenidos, en eficiencia de DBO<sub>5</sub>, la PTAR del Rosal será objeto de estudio de la presente investigación.

Los datos obtenidos para cada planta, demuestran que el agua tiene tendencia de biodegradabilidad, ya que cumplen con la relación DQO: DBO<sub>5</sub> de 2:1; indicador que usualmente se suele emplear para determinar esta característica.

Figura 17. Comportamiento DBO<sub>5</sub> PTAR's CAR

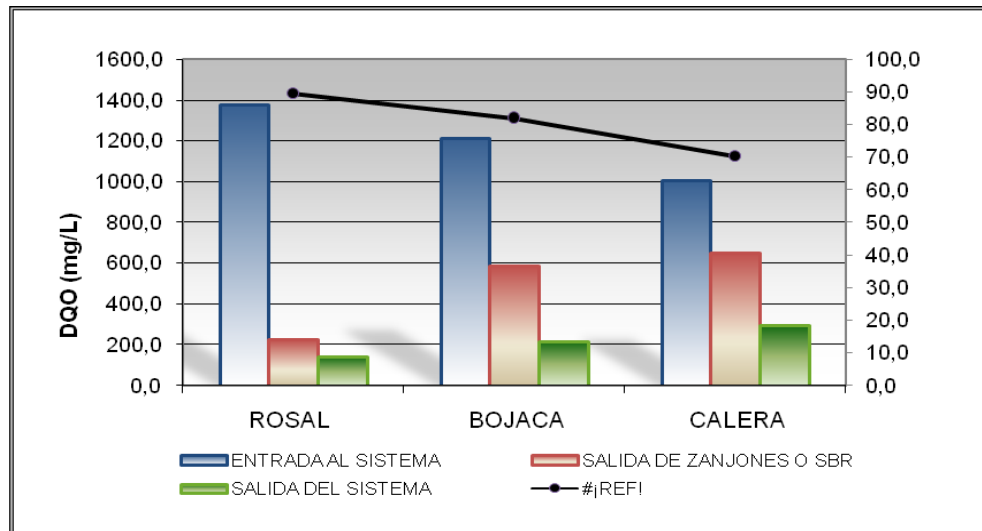


Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.1.7. DQO.** Estas concentraciones dependen de la fracción biodegradable y no biodegradable de la materia orgánica que contiene el afluente. La eficiencia promedio de remoción global del sistema en la PTAR el Rosal fue de 89,6%, para la PTAR de Bojacá fue de 82,1%, y para la PTAR de la Calera fue de 70,4%. La relación DQO/DBO a la entrada de los sistemas de lodos activados, se mantuvo por debajo de 3 (Ver Figura 18) mostrando una buena biodegradabilidad de la materia orgánica, indicando que la clase de agua residual producida en los municipios de El Rosal, Bojacá y La Calera se pueden tratar con un sistema biológico.



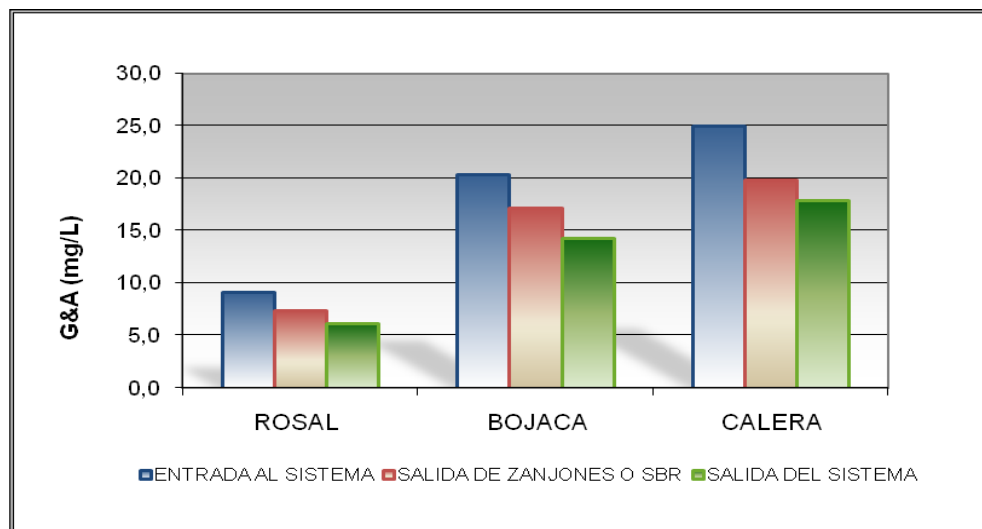
**Figura 18. Comportamiento DQO PTAR´s CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.1.8. Grasas y aceites.** En la Figura 19 se observa el comportamiento de los valores promedio de Grasas y Aceites en las PTAR´s, objeto de estudio. Los valores obtenidos se mantuvieron en el rango adecuado para una buena digestión aerobia (< 75 mg/L)<sup>11</sup>.

**Figura 19. Comportamiento Grasas y Aceites PTAR`s CAR**



Fuente: Los Autores 2009

<sup>11</sup> CHAVEZ, Gabriela, El Lodo y su Producción. México. 2.002 p 1-3.

### 3.4.2. Caracterización de lodos

Para evaluar los lodos secundarios de las PTAR's de los municipios la Calera, el Rosal y Bojacá, se realizaron caracterizaciones en los meses de junio, julio y agosto de 2.008 tomando una muestra puntual en los lechos de secado en cada una de las plantas a evaluar. Para la determinación de las características de los lodos se evaluaron los parámetros de metales pesados, fisicoquímicos y microbiológicos que se muestran en el Cuadro 6, tomando como referencia la norma EPA 40CFR- 503: Uso y Disposición de los Biosólidos.

Los lodos secundarios evaluados de la plantas de tratamiento objeto de estudio, fueron lodos que llevaban tres meses de secado en los lechos.

**Cuadro 6. Parámetros evaluados lodos secundarios**

<b>PARAMETRO</b>	<b>ANÁLISIS</b>
<b>FISICOQUÍMICOS</b>	DBO <sub>5</sub>
	DQO
	Sólidos Suspendidos Totales
	Grasas y Aceites
	pH
	Contenido de Humedad
	Contenido de Cenizas
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>	Salmonella
	Coliformes Totales
	Coliformes Fecales
	Escherichia Coli
<b>METALES PESADOS</b>	Arsénico
	Cadmio
	Cromo
	Cobre
	Mercurio
	Níquel
	Plomo
	Selenio

Fuente: Los Autores 2.009.

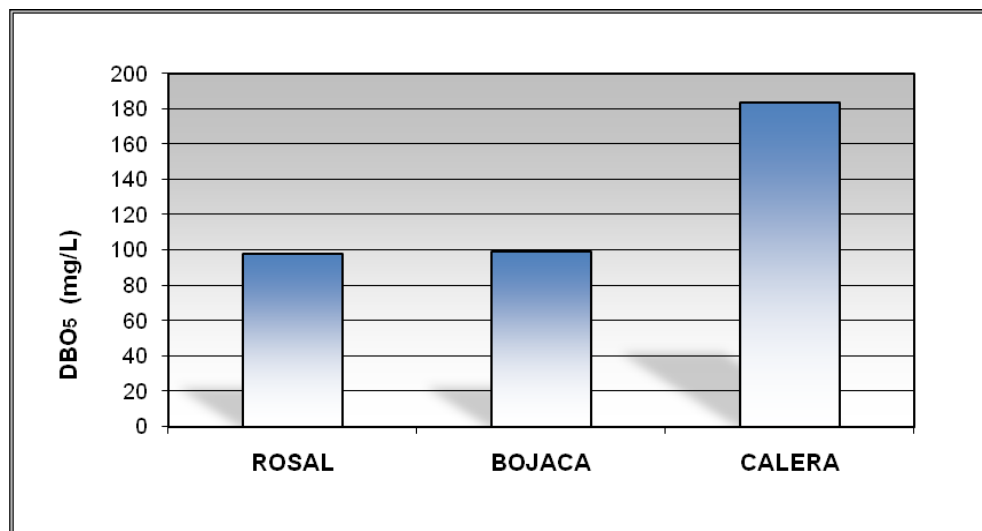
Los resultados obtenidos durante las caracterizaciones se presentan en el Anexo A-2, en donde se encuentra el soporte de los datos. Para la presentación de los resultados, se tuvieron en cuenta los valores correspondientes a la media aritmética de cada elemento analizado, el cual consiste en calcular la media muestral, que es la suma de los muestreos realizados dividido entre la cantidad de muestreos correspondientes.

### **3.4.3. Parámetros Físicoquímicos**

En las Figuras 20 a 26 se presenta el comportamiento de los parámetros físicoquímicos evaluados de los lodos secundarios correspondientes a cada una de las plantas.

**3.4.3.1. DBO<sub>5</sub>.** De acuerdo con la Figura 20 se observa que la DBO<sub>5</sub> analizada de los lodos procedentes de las PTAR's de los municipios del Rosal y de Bojacá tienen un comportamiento similar, 97,6 mg/L y 99,13 mg/L respectivamente, debido a que las plantas mantienen constante el proceso de aireación haciendo que el oxígeno disuelto en el agua se filtre mas rápidamente en el medio ayudando al crecimiento microbiano y a que haya un aumento en la actividad degradativa de la materia orgánica; contrario pasa con la PTAR de la Calera la cual en su proceso de aireación presenta deficiencias por obstrucción en los difusores durante el período de estudio.

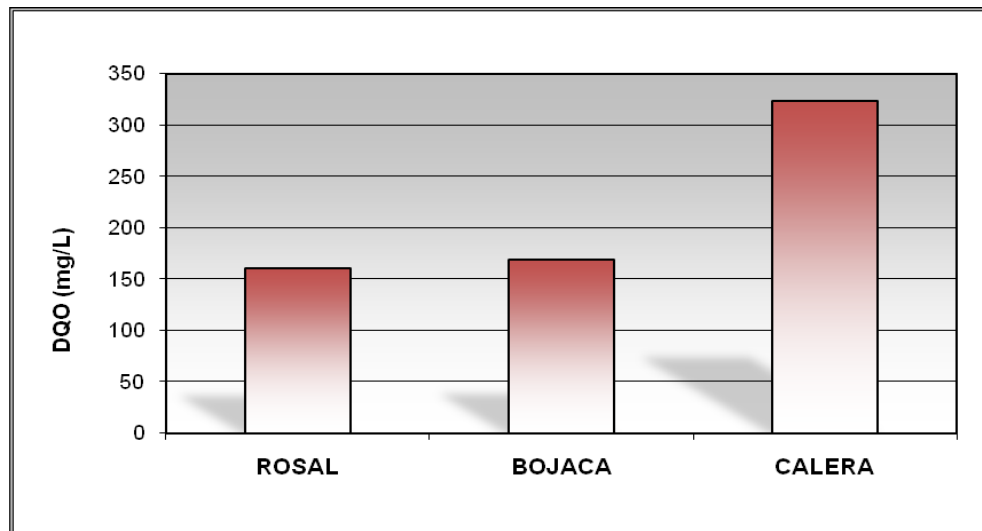
**Figura 20. Comportamiento DBO<sub>5</sub> lodo secundario PTAR's CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.3.2. DQO.** De acuerdo con la Figura 21 se observa que la DQO analizada de los lodos procedentes de las PTAR's de los municipios del Rosal y de Bojacá presentan un comportamiento similar, 160 mg/L y 169,3 mg/L respectivamente, existiendo una proporcionalidad de acuerdo con la DQO/DBO<sub>5</sub> analizada, en cuanto a la planta del municipio de La Calera la DQO analizada demuestra que existe poca población microbiana que degrade la materia orgánica, debido a que se presentan fallas en los difusores que suministran en oxígeno a la planta.

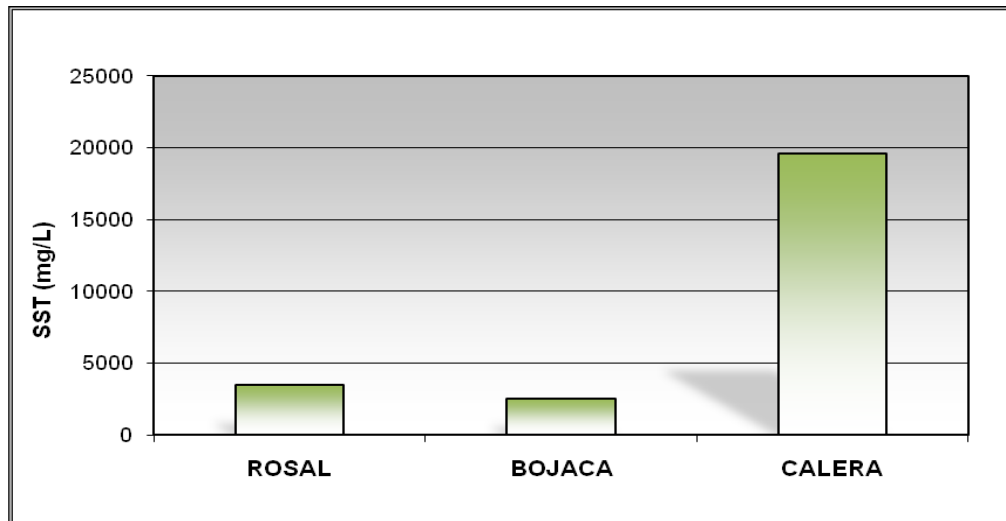
**Figura 21. Comportamiento DQO lodo secundario PTAR's CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.3.3. Sólidos suspendidos totales.** De acuerdo a la Figura 22, se observa gran variación de sólidos suspendidos en el lodo secundario de la planta La Calera, debido a que en el reactor el agua residual presenta exceso de SST por la acumulación de lodos en la fase de sedimentación; como los sólidos suspendidos son generalmente materia orgánica, al momento de extraerlos del reactor esta materia orgánica se filtra dentro del lodo secundario.

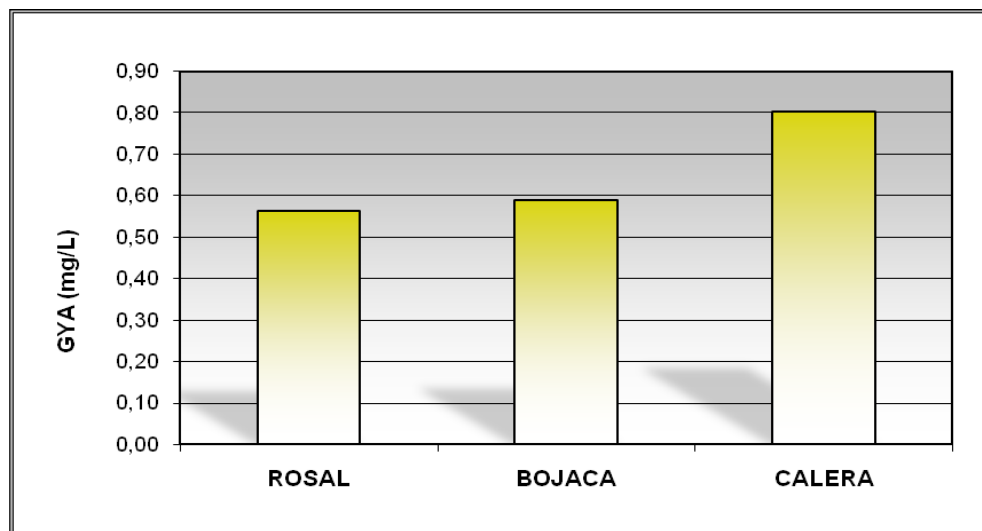
Figura 22. Comportamiento SST lodo secundario PTAR's CAR



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.3.4. Grasas y aceites.** Según la Figura 23, en los lodos secundarios de las plantas de tratamiento objeto de estudio hay presencia de grasas y aceites en bajas concentraciones, debido al contacto con el agua residual en la etapa de aireación; estas grasas no son significativas al momento de incorporar el lodo secundario en alguna de las alternativas de uso y aprovechamiento.

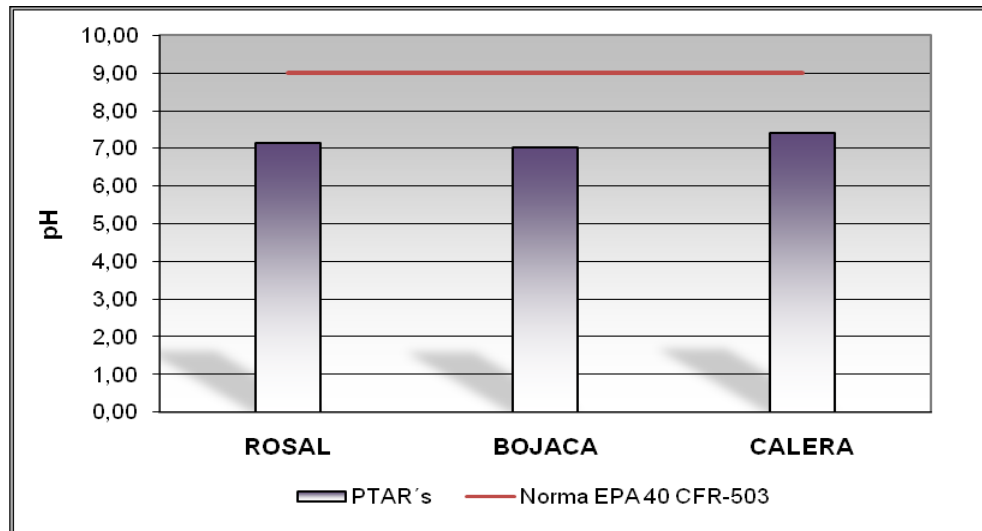
Figura 23. Comportamiento Grasas y aceites lodo secundario PTAR's CAR



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.3.5. pH.** En la Figura 24 se puede observar que el pH evaluado en los lodos secundarios de las PTAR's objeto de estudio, se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma EPA 40 CFR-503: Uso y Disposición de los Biosólidos (4.0 – 9.0 unidades).

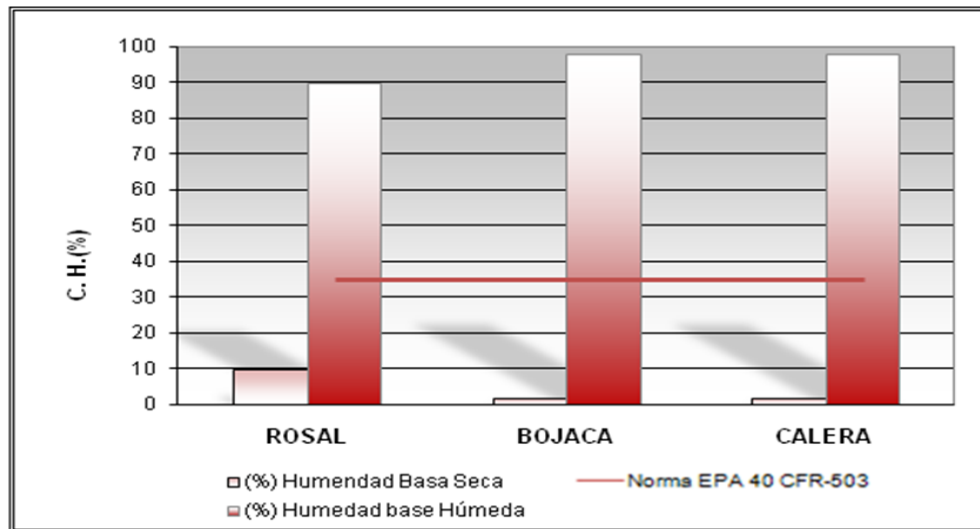
Figura 24. Comportamiento pH lodo secundario PTAR's CAR



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.3.6. Contenido de Humedad.** En la Figura 25 se puede observar que el contenido de humedad de los lodos en la PTAR de la Calera varía significativamente con respecto a las PTAR's de Bojacá y el Rosal, debido a factores como la temperatura del lugar (9°C – 11°C) que aumentan la humedad en el ambiente. En la PTAR de el Rosal este parámetro se incrementa debido a las estructuras de los lechos de secado ya que los muros que los rodean tienen demasiada altura impidiendo una rápida deshidratación de los lodos. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecidos en la norma EPA 40 CFR-503 que debe ser  $\leq 35\%$ .

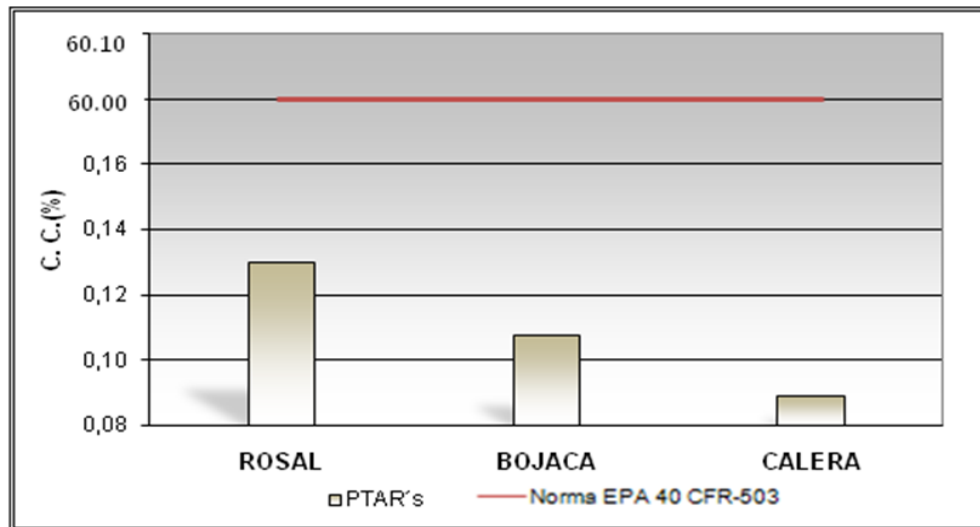
Figura 25. Comportamiento del contenido de humedad lodo secundario PTAR's CAR



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.3.7. Contenido de Cenizas.** En la Figura 26 se puede observar que existe mayor porcentaje de cenizas en los lodos de la PTAR el Rosal, aunque no sobrepasa el rango establecido en la norma EPA 40 CFR-503. ( $\leq 60\%$ ).

Figura 26. Comportamiento del contenido de cenizas lodo secundario PTAR's CAR



Fuente: Los Autores 2.009.

### **3.4.4. Parámetros Microbiológicos**

Es importante la determinación de las características microbiológicas para constatar problemas de salud pública por contacto o manipulación de estos residuos.

**3.4.4.1. Salmonella, Coliformes Totales y Escherichia Coli.** Las pruebas microbiológicas realizadas a los lodos secundarios, no presentan estos microorganismos, debido a que en los lechos de secado, los lodos secundarios presentaban variación de temperaturas (20°C a 22°C) durante tres meses, disminuyendo la cantidad de humedad contenida en el lodo; causando la muerte de los microorganismos, ya que su fuente de vida es estar en medios húmedos.

### **3.4.5. Metales Pesados**

En las Figuras 27 a 31 se presenta el comportamiento de los metales pesados evaluados de los lodos secundarios correspondientes a cada una de las plantas. De acuerdo con estos resultados, este tipo de lodo no puede ser considerado un residuo peligroso, ya que no sobrepasa los límites establecidos en la norma de la EPA. Los resultados permiten ver que solamente se encuentran valores traza de cada uno de los metales pesados lo que permite su posterior aprovechamiento.

**3.4.5.1. Arsénico, mercurio y Selenio.** En los lodos de las PTAR objeto de estudio no se detectaron concentraciones de estos metales.

**3.4.5.2. Cromo – Cobre.** Según la Figura 27 los metales evaluados en los lodos de las tres plantas se encuentran dentro de los rangos establecidos por la EPA, ya que para cromo el rango es de 3.000 mg/kg<sup>12</sup> y para cobre es de 4.300 mg/kg. Aunque las concentraciones son muy bajas, existen mayores concentraciones de metales en los lodos de la PTAR de la Calera, estos elementos pueden ser el producto de actividades industriales informales del municipio que no son controladas por la autoridad ambiental.

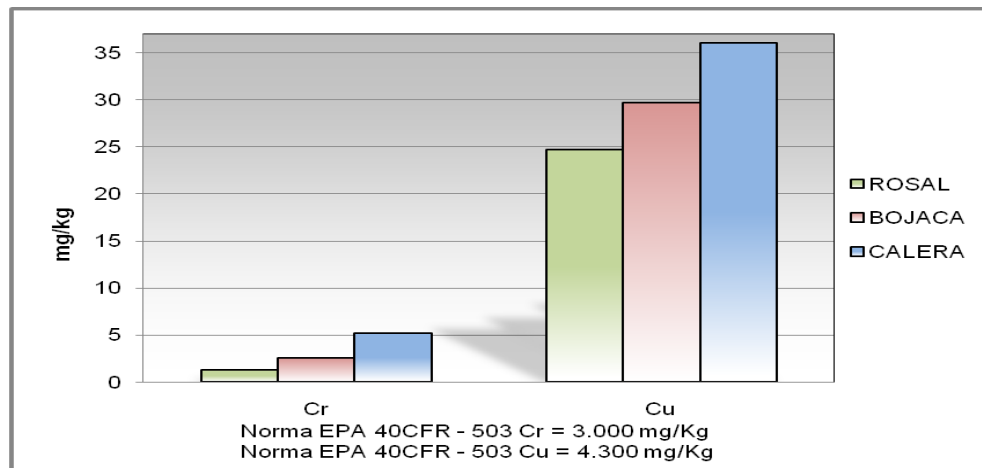
---

<sup>12</sup> Universidad Nacional de Colombia. Tablas de conversión. Laboratorio de suelos 2.006 p 3.

---



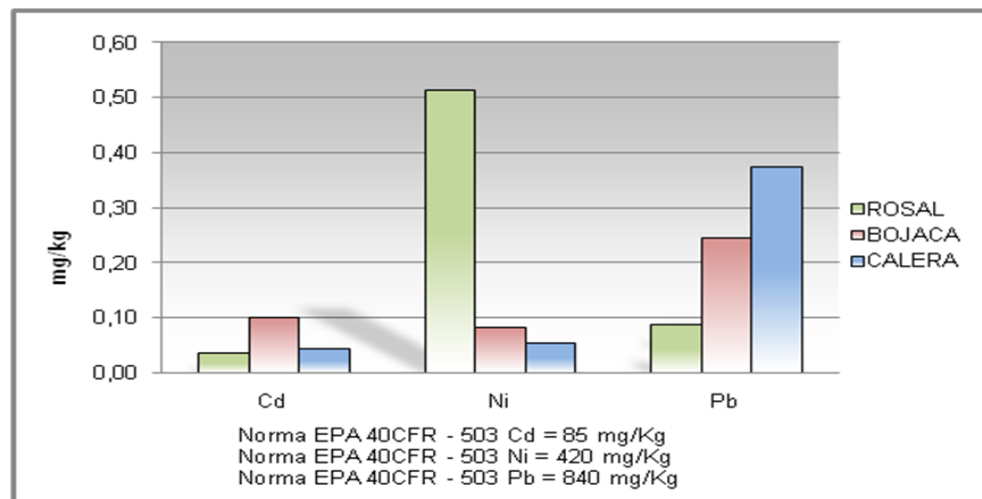
**Figura 27. Comportamiento Cromo - Cobre lodo secundario PTAR's CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

**3.4.5.3. Cadmio – Níquel – Plomo.** Según la Figura 28 los resultados obtenidos luego de determinar las concentraciones de estos metales, en los lodos procedentes de las PTAR's del Rosal, Bojacá y la Calera no sobrepasan los límites máximos establecidos por la EPA, puesto que para el cadmio es de 85 mg/kg, para el níquel es de 420 mg/kg y para el plomo es de 840 mg/kg. Sin embargo en la planta de La Calera el plomo sobresale a diferencia de las otras dos plantas, ya que en el sistema de alcantarillado hay corrosión de tuberías y se vierten aguas que contienen aceites lubricantes usados, mezcla de pinturas y colorantes artificiales, producto de las actividades industriales del municipio<sup>13</sup>.

**Figura 28. Comportamiento Cadmio - Níquel - Plomo lodo secundario PTAR's CAR**



Fuente: Los Autores 2.009.

<sup>13</sup> ALCALDÍA MUNICIPIO LA CALERA. Dependencia de servicios públicos .2.008.

#### 4. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE USO Y APROVECHAMIENTO PARA LODOS SECUNDARIOS

Existen varias alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios, dependiendo de su calidad, se da prelación entre una u otra alternativa. El control de los lodos de las PTAR's se basa en el análisis de parámetros físicos, químicos, y microbiológicos. En Colombia las alternativas de uso y aprovechamiento, se han realizado en lodos estabilizados o acondicionados como Biosólidos, y muy pocas se han ejecutado para el aprovechamiento de lodos secundarios.

Según los análisis químicos realizados a los Biosólidos en Colombia, se ha determinado que las concentraciones de los metales pesados se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos por las principales regulaciones internacionales y en la mayoría de parámetros por debajo de las concentraciones promedio de metales pesados de los Biosólidos de EEUU y la Unión Europea.

De acuerdo a los valores obtenidos en las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas a los lodos secundarios de las PTAR's El Rosal, La Calera y Bojacá (Ver Anexo A-2), se determinó que estos se encuentran por debajo de la norma EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: Uso y Disposición de los Biosólidos (Ver Tabla 11); con base en esto se puede decir que estos lodos secundarios se encuentran dentro de las categorías A y B, los cuales cumplen con los valores de los parámetros definidos en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos**

PARÁMETROS	
<b>FISICOQUÍMICOS</b>	Contenido de humedad (%)
	Contenido de Cenizas (%)
	pH (unidades)
	N total, P y K (%)
<b>METALES PESADOS mg/Kg</b>	Arsénico
	Cadmio
	Cromo
	Mercurio
	Níquel
	Plomo
<b>MICROBIOLÓGIOS</b>	Selenio
	Salmonella sp
	Coliformes fecales
	Huevos de Helminths
	Escherichia coli

Fuente: Norma EPA 40 CFR-503

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 11. Comparación de valores del lodo secundario de las PTAR's El Rosal, La Calera y Bojacá con la norma EPA 40 CFR - 503**

PARÁMETROS		CATEGORIA A	CATEGORIA B	* LODO SECUNDARIO PTAR EL ROSAL	* LODO SECUNDARIO PTAR LA CALERA	* LODO SECUNDARIO PTAR BOJACA
FISICOQUÍMICOS	Contenido de humedad (%)	≤ 35,0	≤ 70,0	10,15	1,85	1,89
	Contenido cenizas (%)	≤ 60,0	No Regulado	0,13	0,11	0,09
	pH (unidades)	4,0 < pH < 9,0	4,0 < pH < 9,0	7,13	7,02	7,40
METALES PESADOS mg/Kg	Arsénico	41	75	ND	ND	ND
	Cadmio	39	85	0,04	0,10	0,05
	Cromo	1200	3000	1,27	2,53	5,13
	Cobre	1500	4500	24,67	29,67	36
	Mercurio	17	57	ND	ND	ND
	Níquel	420	420	0,51	0,08	0,06
	Plomo	300	840	0,09	0,25	0,37
	Selenio	36	100	ND	ND	ND
MICROBIOLÓGICOS	Salmonella sp	Ausente en 25 gr de muestra	< 1,00 E (+3) NMP/g-UFC/g base seca	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
	Coliformes fecales	< 1,00 E (+3) NMP/g-UFC/g base seca	< 2,00 E (+6) NMP/g-UFC/g base seca	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
	Escherichia coli	Reportar resultado	No Regulado	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE

Fuente: Norma EPA 40 CFR-503

\*Los Autores 2.009.

## **4.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para la selección de alternativas de uso y aprovechamiento del lodo secundario de la PTAR El Rosal, se tuvo en cuenta las alternativas dispuestas para los Biosólidos según las categorías A y B de la norma **EPA 40 CFR-503**.

### **4.1.1 Alternativas de uso y aprovechamiento para los Biosólidos norma EPA 40 CFR-503.**

#### **Categoría A**

- ⇒ En Agricultura para la obtención de productos agropecuarios ecológicos convencionales, como abono o fertilizante orgánico de suelos en cultivos hortícolas, frutícolas, forraje, fibras y praderas para pastoreo.
- ⇒ En áreas destinadas para recreación, jardines parques y zonas verdes.
- ⇒ Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
- ⇒ En la fabricación de briquetas y pellets para procesos de tratamiento térmico de residuos y en procesos de oxidación térmica o reducción térmica como combustible alternativo.

#### **Categoría B**

- ⇒ En la revegetación de suelos degradados de uso no agrícola.
  - ⇒ En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y/o terciaria.
  - ⇒ En la rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola.
  - ⇒ Como material para cobertura y revegetación de las áreas erosionadas y de minería a cielo abierto.
  - ⇒ En plantaciones forestales.
  - ⇒ En la fabricación de briquetas y pellets para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo.
  - ⇒ Como insumo en la obtención de materiales de construcción.
-

Para la selección de alternativas se realizó una matriz de comparación cuantitativa (Ver tabla 12), donde se evaluó según los estudios realizados y las aplicaciones que se han hecho sobre la disposición de Biosólidos, teniendo en cuenta, la aplicación, la viabilidad, el impacto ambiental, el impacto social y la viabilidad económica, con el fin de establecer que alternativa es más novedosa para la incorporación de los lodos secundarios de las PTAR's La Calera, El Rosal y Bojacá.

La matriz de comparación se realizó teniendo en cuenta los estudios e investigaciones realizadas en el uso y aprovechamiento de los Biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento El Salitre (Bogotá), San Fernando (Medellín), Cañaveralejo (Cali) y Río Frío (Bucaramanga), y el criterio de los investigadores. Las variables de comparación muestran la posibilidad de implementar cada alternativa en el uso y aprovechamiento del lodo secundario de la PTAR El Rosal.

#### **4.1.2 Variables de comparación:**

- ⇒ **Aplicación:** Se define como la calificación del número de veces en que se ha utilizado la alternativa de aprovechamiento, tomando como el máximo valor el número cinco (5) y mínimo al número uno (1), sobre las aplicaciones en la implementación de cada alternativa.
  - ⇒ **Viabilidad:** Se define como la disposición de desarrollar cada alternativa, para este caso el número 5 significa la facilidad de realizar cada alternativa y como dificultad al número 1.
  - ⇒ **Impacto ambiental:** Se define el cambio positivo o negativo en el ambiente que se genera en la implementación de cada alternativa, en este caso impacto positivo al número 5 e impacto negativo al número 1.
  - ⇒ **Social:** Se define como el cambio positivo o negativo hacia la población de implementar cada alternativa, para este caso impacto positivo al número 5 e impacto negativo al número 1.
  - ⇒ **Económico:** Se define como el costo – beneficio de implementar cada alternativa en una actividad agroindustrial, se toma como ganancia al número 5 y como pérdida al número 1.
  - ⇒ **Proyección en el tiempo:** Se define como la durabilidad de cada alternativa en el tiempo, para este caso al número 5 como el período más largo y al número 1 como al período más corto.
-

**Tabla 12. Matriz de comparación entre las alternativas de la categoría A y B para la disposición de Biosólidos**

	ALTERNATIVAS	APLICACIÓN	VIABILIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	SOCIAL	ECONÓMICO	PROYECCION EN EL TIEMPO	TOTAL
<b>CATEGORIA A</b>	Agricultura: productos agropecuarios ecológicos convencionales, abono o fertilizante orgánico de suelos, cultivos hortícolas, frutícolas, forraje, fibras y praderas para pastoreo.	5	1	1	5	1	1	<b>14</b>
	Áreas para recreación, jardines parques y zonas verdes.	1	1	1	1	1	1	<b>6</b>
	Remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.	5	1	5	1	1	1	<b>14</b>
	Fabricación de briquetas y pellets para procesos de tratamiento térmico de residuos y en procesos de oxidación térmica o reducción térmica como combustible alternativo.	1	5	5	1	1	1	<b>14</b>

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

<b>CATEGORIA B</b>	En la revegetación de suelos degradados de uso no agrícola.	5	1	5	1	1	1	<b>14</b>
	En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y/o terciaria.	1	5	1	1	1	1	<b>10</b>
	En la rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola.	1	5	5	5	1	5	<b>22</b>
	Como material para cobertura y revegetación de las áreas erosionadas y de minería a cielo abierto.	5	1	5	1	1	1	<b>14</b>
	En plantaciones forestales.	1	1	1	1	1	1	<b>6</b>
	En la fabricación de briquetas y pellets para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo.	1	5	5	1	1	1	<b>14</b>
	Como insumo en la obtención de materiales de construcción.	5	5	5	5	5	5	<b>30</b>

Fuente: Los Autores 2.009.

Según las variables de aplicación, viabilidad, impacto ambiental, social, económico y proyección en el tiempo, se tuvo en cuenta las investigaciones realizadas en la disposición de Biosólidos.

De acuerdo a la matriz de comparación de alternativas, se seleccionó las dos alternativas con mayor calificación cuantitativa, indicando que aunque no se han realizado suficientes estudios en estas áreas de aprovechamiento, serían de buena aceptación para la incorporación del lodo secundario de la planta de tratamiento objeto de estudio.

Con base en lo anterior se tuvo en cuenta también la comparación de valores de los parámetros fisicoquímicos de metales pesados y microbiológicos de los lodos secundarios de las PTAR's El Rosal, La Calera y Bojacá y la norma EPA 40 CFR-503.

Las alternativas seleccionadas son:

- ⇒ Rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola; para el proyecto de investigación se tomará como recuperación de suelo erosionado por parte del sector floricultor.
- ⇒ Como insumo en la obtención de materiales de construcción: fabricación de ladrillos cerámicos incorporando el lodo secundario como materia prima.

Estas alternativas se encuentran dentro de la categoría B de uso y aprovechamiento para los Biosólidos de la norma EPA 40 CFR-503.



## **5. SELECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL LODO SECUNDARIO DE UNO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO MUNICIPAL EN ESTUDIO**

### **5.1. SELECCIÓN DEL LODO SECUNDARIO**

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados, realizados a los lodos secundarios de las PTAR's en estudio (Ver tabla 11), se pudo determinar que estos presentan similitudes en sus características físicas y químicas; con base en esto la selección y acondicionamiento del lodo secundario de una de las PTAR's se hizo por medio del diagnóstico situacional realizado al agua residual de las plantas de tratamiento El Rosal, La Calera y Bojacá.

La PTAR de La Calera presenta problemas en el tratamiento biológico, uno de los problemas más usuales es el exceso de espumas de color café y color blanco jabonoso, lo cual indica que hay exceso de bacterias filamentosas, sobre aireación y una diferencia de nutrientes en el reactor.

La producción de lodos secundarios es de aproximadamente 13.750 Kg/día teniendo en cuenta que hay una recirculación diaria de lodos, con una eficiencia de remoción de 65% en materia orgánica teóricamente, además de esto en el reactor se presenta una sedimentación lenta y bajo pH. Por otra parte en los lechos de secado se demuestra una disminución parcial o total en la rata de infiltración por taponamiento en el lecho filtrante.

La PTAR de Bojacá también presenta problemas en su operatividad, ocasionando que el agua residual tratada no tenga cambios significativos de mejora en el proceso.

Los problemas más frecuentes se dan en el zanjón de oxidación con niveles excesivos de espumas en la zanja por la baja concentración de lodos, se presenta acumulación de papeles, plásticos o grasas que no han sido retirados en el pretratamiento. En el sedimentador, se da excesiva flotación de sobrenadantes por gran cantidad de lodo en algunos casos, arrastre de sobrenadantes hacia el vertedero final por las malas condiciones de sedimentabilidad en el lodo producido, aproximadamente el lodo generado es de 5.507 Kg/día en la planta, teniendo en cuenta que la remoción de carga contaminante es de 75,7%, todos estos problemas afectan directamente al lodo secundario y por tanto modificación en las características del efluente final.

La PTAR El Rosal, durante el tiempo de estudio mantuvo una constante operación, arrojando una eficiencia de 87.4% con respecto a la DBO<sub>5</sub>, con una producción de lodos secundarios aproximadamente de 14.700 Kg/día, lo cual indica que se están llevando a cabo los protocolos de manejo y control por parte de los operarios que son los encargados de la manipulación de la planta.

La producción del Lodo Secundario producido por las PTAR's de los municipios de La calera, Bojacá y El Rosal se encuentra calculado en el Anexo K.

**Tabla 13. Matriz de comparación de eficiencias de las PTAR's objeto de estudio**

PTAR	Tratamiento biológico	Parámetro (%)		
		DQO	DBO	SST
La Calera	SBR	70,4	65	61,4
Bojacá	Zanjón de oxidación	82	75,7	72,2
El Rosal	Zanjón de oxidación	89,6	87,4	87,1

Fuente: Los Autores 2.009.

Basado en esta información se determinó que aunque los lodos secundarios de las tres plantas de tratamiento en estudio (La Calera, El Rosal y Bojacá), son similares en sus características fisicoquímicas, de metales pesados y microbiológicos, se determinó que la planta de estudio para incorporar los lodos secundarios como materia prima en un proceso agroindustrial son los pertenecientes a la PTAR El Rosal, ya que esta planta mantuvo constante operatividad durante el tiempo de estudio y generó la mayor cantidad de lodo secundario.

Adicionalmente se puede observar que los doce parámetros analizados de los lodos secundarios de la plantas La calera, El Rosal y Bojacá, el que presentó la mejor calidad fue el lodo secundario de la PTAR El Rosal, el que presentó la mejor calidad fue el lodo secundario de la PTAR El Rosal, dado que en las ocho (8) pruebas realizadas, está presenta los valores más bajos que equivale al 65%, en comparación con la PTAR de La Calera que presenta el 25% (3:12) y la PTAR de Bojacá que presenta el 16% (2:12).

## **5.2. ACONDICIONAMIENTO DE LOS LODOS SECUNDARIOS DE LA PTAR EL ROSAL**

De acuerdo a la norma EPA 40 CFR-503, los lodos secundarios provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales, deben ser estabilizados o acondicionados en Biosólidos, para luego ser aprovechados en las alternativas de aprovechamiento y disposición propuestos por la misma norma.

En cuanto a los lodos secundarios de la planta de aguas residuales El Rosal, de acuerdo a la comparación realizada con la norma EPA 40 CFR-503, se determinó que no era necesario su acondicionamiento o estabilización para ser incorporados en la recuperación de suelo erosionado por el sector floricultor y para la fabricación de ladrillo cerámico, ya que estuvieron en los lechos de secado durante tres meses, donde las condiciones ambientales del lugar hicieron que el lodo secundario se deshidratara disminuyendo la cantidad de microorganismos presentes en él; sin embargo para poder incorporar el lodo secundario en cada una de las alternativas seleccionadas fue necesaria su trituración, ya que el lodo secundario físicamente tenía una estructura muy sólida que hacía imposible la aplicación de este en las alternativas.

## **6. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL LODO SECUNDARIO DE LA PTAR EL ROSAL**

### **6.1. ALTERNATIVA 1: Recuperación de suelo erosionado por el sector floricultor**

El suelo es la parte más superficial de la litosfera; está constituido por una mezcla variable de partículas minerales, materia orgánica, aire y una disolución acuosa. La interacción del agua con el suelo ejerce una clara influencia sobre la composición del mismo, ya que actúa como disolvente de diversos elementos minerales y como intermediaria entre el suelo y las plantas: éstas toman el agua a través de las raíces. A su vez, las plantas se descomponen proporcionando materia orgánica al suelo.

La modificación o transformación por contaminación, deforestación, etc. de alguno de los factores que conforman un suelo implica un desequilibrio que afecta al resto de los factores y activa normalmente, procesos de regeneración en ese suelo.<sup>14</sup>

#### **6.1.1. Determinación del suelo para estudio**

El suelo estudio proviene de una finca del municipio de Facatativá en proceso de recuperación por el desarrollo activo de flores; la finca Aguapucha II (Ver Fotografía 1) está ubicada al sur del Municipio de Facatativá y posee una extensión de aproximadamente de 1.000 m<sup>2</sup>; pertenece a tierras de clima frío húmedo, con algunos sectores secos; el relieve en general es plano con algunas pendientes del 3%, con acidez variable, fertilidad baja, depósitos de sedimentos aluviales mixtos y depósitos orgánicos. Cundinamarca tiene una extensión de suelo de 155,332 Ha, del cual el 7,8% pertenece a la CAR.<sup>15</sup>

De acuerdo a los estudios realizados el análisis de suelos, para este caso la muestra del suelo de estudio (Aguapucha II) y el suelo de estudio (Blanco) que es un tipo de suelo de la misma finca, el cual no presenta uso por la actividad del sector floricultor, se tomó de distintos lugares debido a que los suelos son heterogéneos y sus propiedades nutricionales varían de un lugar a otro.

---

<sup>14</sup> SÁNCHEZ, Calvo. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Mundial Prensa, Madrid. 1.999. p 15-17.

<sup>15</sup> Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).Atlas Ambiental. 2.005. p 35-36.

---

**Fotografía 1. Finca Aguapucha II**



Fuente: Los Autores 2.009.

### **6.1.2. Toma de muestra**

La toma de muestra se realizó aleatoriamente, como se muestra en la Fotografía 2, que es un muestreo al azar, el cual consiste en recolectar de un terreno, submuestras de no más de 10 cm de profundidad, para luego ser mezcladas y formar una muestra compuesta<sup>16</sup>.

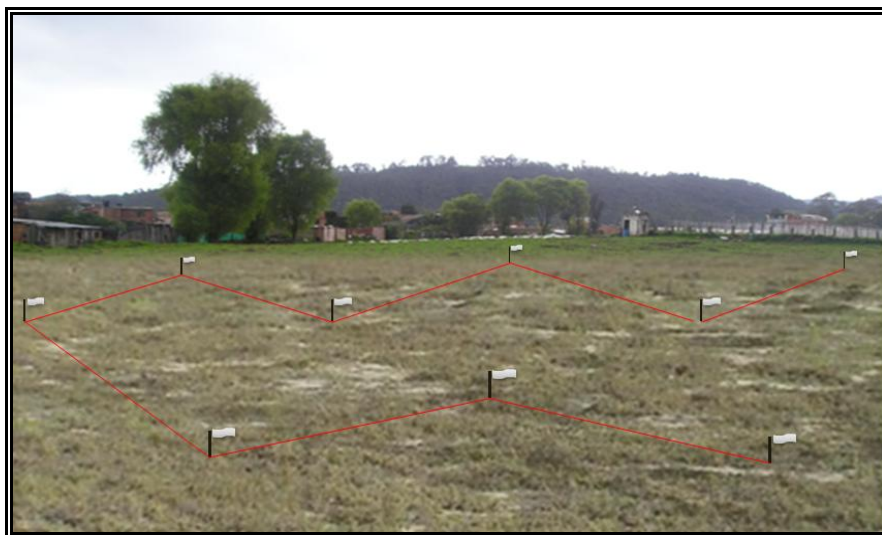
Para el suelo de estudio, se escogió un área de 5 m<sup>2</sup> de la finca Aguapucha II, del cual se obtuvieron nueve submuestras al azar, cada una con un peso de 500 gramos para un total de 4.500 gr. De esta muestra se tomaron 500 gramos para estudio. Lo mismo se hizo para el suelo de estudio (Blanco).

---

<sup>16</sup> OSORIO, Carlos. Muestreo de suelo. Universidad Nacional de Colombia. 2.006. p 58.

---

**Fotografía 2. Muestreo suelo**



Fuente: Los Autores 2.009.

Para la incorporación de los lodos secundarios de la PTAR el Rosal, se realizó un análisis químico para: lodo secundario, suelo en estudio (Aguapucha II) y el suelo de estudio (Blanco), donde se determinó la cantidad de nitrógeno total, potasio y fosforo contenido en cada uno, utilizando la metodología que se muestra en el Anexo G; los resultados obtenidos se compararon con los niveles generales de referencia para un clima frío bajo (Ver anexo H). En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en el Laboratorio.

Se escogió un suelo de estudio (Blanco), para tomar como referencia el incremento de macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en la recuperación del suelo de estudio (Aguapucha II)

**Tabla 14. Cantidad de Nitrógeno total, Potasio y Fósforo contenido en las muestras de estudio**

REFERENCIA	Nitrógeno total (%)	Potasio meq/100 g	Fósforo mg/Kg
Lodo Secundario PTAR El Rosal	3,73	14,2	>116
Blanco	0,89	2,33	60,0
Aguapucha II	0,15	0,08	15

Fuente: Laboratorio de suelos, Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia

**Tabla 15. Comparación de valores de acuerdo al tipo de suelo**

REFERENCIA	Nitrógeno total (%)	* N total (%) (Referencia)	Fósforo (mg/Kg)	*P (mg/Kg) (Referencia)	Potasio (meq/100 g)	*K (meq/100g) (Referencia)
PTAR El Rosal	3,73	> 0,50	>116	> 40	14,2	> 0,35
Blanco	0,89	> 0,50	60	> 40	2,33	> 0,35
Aguapucha II	0,15	< 0,25	15	< 0,15	0,08	< 0,10

Fuente: Los Autores 2.009.

\* Niveles generales de referencia, Laboratorio de suelos, Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia

El lodo secundario de la planta El Rosal y el suelo de estudio (Blanco) pertenecen a un tipo de suelo de clima frío alto y el suelo de estudio (Aguapucha II) pertenece a un tipo de suelo de clima frío bajo, según los niveles generales de referencia (Ver Tabla 15).

### 6.1.3. Experimentación

La incorporación del lodo secundario de la planta El Rosal en la recuperación del suelo (Aguapucha II) se realizó en tres etapas de la siguiente manera:

La primera etapa, consistió en realizar mezclas homogéneas en proporciones (Ver Tabla 16) con el fin de determinar cuál proporción es más eficiente en la recuperación del suelo.

**Tabla 16. Proporciones para la incorporación de lodo en la recuperación del suelo**

TIPO DE SUELO	LODO %	SUELO %
<b>Aguapucha II</b>	10	90
	20	80
	30	70
	40	60
	50	50

Fuente: Los Autores 2.009.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

En la segunda etapa se tomaron cinco materas por cada proporción (Ver Tabla 17) con dimensiones de: 30 cm de largo, 10 cm de ancho y 5 cm de profundidad, con capacidad de almacenar 800 gramos de suelo. Para esta etapa se utilizó 6.000 gr de lodo secundario y 14.000 gr de suelo estudio (Aguapucha II) en total; la realización de las mezclas fue manual al igual que la incorporación a las materas.

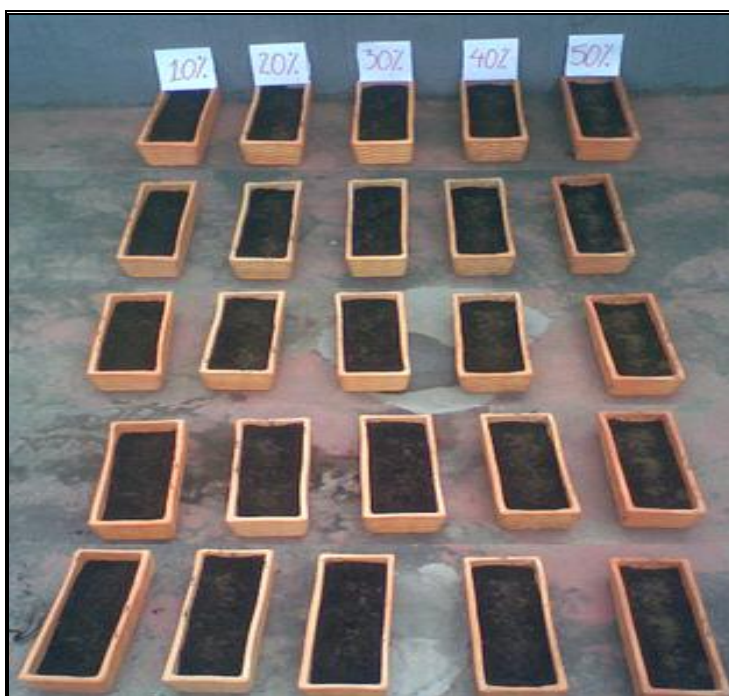
Los montajes de las materas se realizaron en el mes de Septiembre de 2.008 y se dejaron por dos meses a condiciones ambientales, para luego ser analizadas.

**Tabla 17. Proporciones Mezcla de lodo – suelo estudio (Aguapucha II), para un montaje**

TIPO DE SUELO	PROPORCION (%)	LODO (gr)	SUELO (gr)	TOTAL (gr)
Aguapucha II	10	80	720	800
	20	160	640	800
	30	240	560	800
	40	320	480	800
	50	400	400	800

Fuente: Los Autores 2.009.

**Fotografía 3. Réplicas de cada proporción**



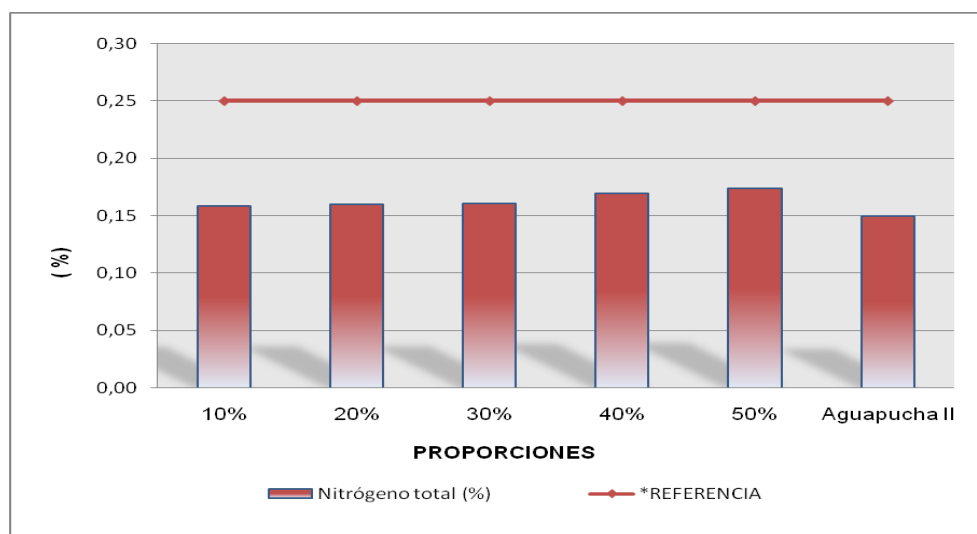
Fuente: Los Autores 2.009.



La tercera etapa consistió en tomar una muestra de cada proporción después de dos meses de haber realizado los montajes de las materas, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia, para ser analizadas (Ver anexo I). Para los análisis se tomó como indicador las proporciones del lodo secundario.

**6.1.3.1 Nitrógeno total.** De acuerdo con la Figura 29 la proporción del 50%, presenta un aumento significativo al compararlo con el contenido de nitrógeno total presente en el suelo de estudio (Aguapucha II), debido a que el lodo secundario contiene mayor cantidad de materia orgánica, haciendo que conserve una humedad constante en el suelo y por tanto se mejora la capacidad de intercambio catiónico acelerando el proceso de recuperación de macronutrientes.

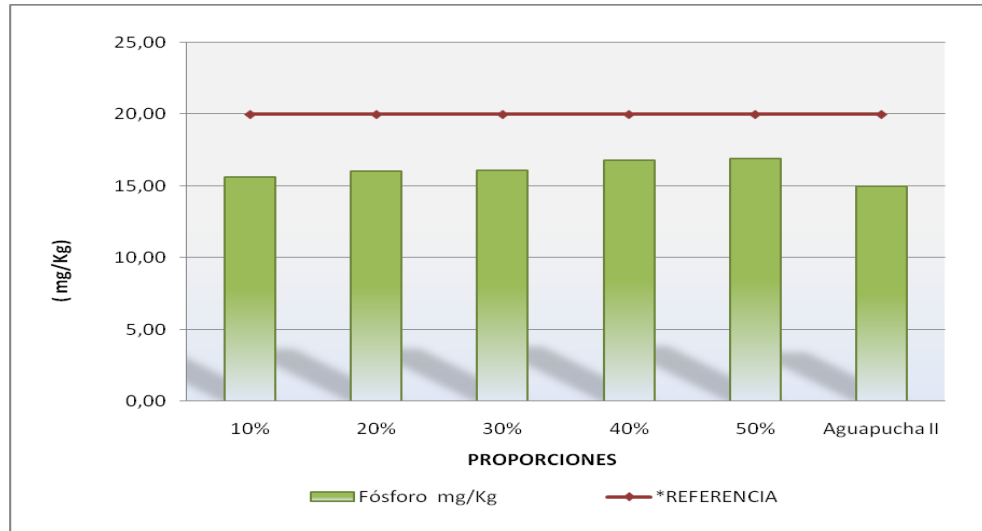
**Figura 29. Comparación de Nitrógeno total en cada réplica**



Fuente: Los Autores 2.009.

**6.1.3.2. Fósforo.** Según la Figura 30 el fósforo contenido en el suelo estudio (Aguapucha II) representa el 75% (15 mg/Kg) de el nivel de referencia de un clima frío bajo (20 mg/kg); las proporciones evaluadas a los dos meses demostraron que hubo un aumento del 2,5% de fósforo por cada proporción, debido a que el fósforo contenido en el lodo secundario es liberado gradualmente gracias a los micro y macro organismos del suelo. Además el fósforo contenido en el lodo secundario se encuentra en forma soluble haciendo que sea más fácil su fijación al suelo.

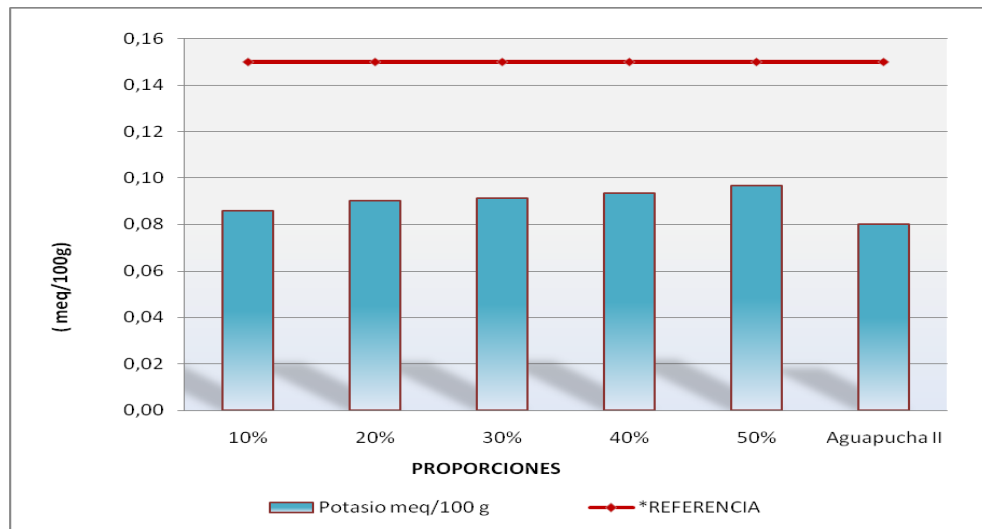
Figura 30. Comportamiento de fósforo en cada réplica



Fuente: Los Autores 2.009.

**6.1.3.3. Potasio.** Este elemento presente en el lodo favorece principalmente al crecimiento de las plantas, en la recuperación del suelo aporta una mínima cantidad ya que las plantas son las encargadas de extraer el potasio. Además de esto el potasio cumple la función de mejorar la calidad y producción en el cultivo de flores, actúa en diversos procesos metabólicos como la fotosíntesis; la ausencia de este elemento produce vulnerabilidad a enfermedades y sequías<sup>17</sup>.

Figura 31. Comparación de Potasio en cada réplica



Fuente: Los Autores 2.009.

<sup>17</sup> ASOCOLFLORES. Macronutrientes en los suelos. 2.004 p 68.

Se hace evidente una leve recuperación del suelo de estudio (Aguapucha II), después de la incorporación del lodo secundario de la planta El Rosal, aumentando aproximadamente en un 2% sus macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y potasio).

Según los compuestos nutricionales del lodo secundario, la cantidad de nitrógeno contenido no es muy representativa, lo que crea un inconveniente para la recuperación del suelo, debido a que la misma composición del suelo hace que se presenten otros compuestos como los nitritos que sumados al nitrógeno aportado por el lodo en exceso puede generar una salinización al suelo.

Los nutrientes de los fertilizantes químicos no se diluyen, como los que se hallan en los lodos biológicos, y por lo tanto hay menos posibilidad de que incorporen y sean absorbidos por el suelo, haciendo que se deslicen por la superficie del mismo suelo.

El emplear lodos secundarios en la recuperación de suelos afectados por alguna actividad agro-industrial, no implica que sean mejores recuperadores que el abono orgánico o el compost, debido a que estos lodos secundarios nunca van a aportar la cantidad de materia orgánica que los fertilizantes orgánicos aportan, aunque esto no impide que sean unos excelentes fertilizantes en un futuro; además cabe decir que los lodos secundarios, mejoran la calidad física del suelo ya que ayuda a prevenir la erosión, la capacidad de retención del agua y la porosidad del mismo.

## **6.2. ALTERNATIVA 2: Incorporación del lodo secundario para la fabricación de ladrillo cerámico**

El uso del ladrillo como elemento constructivo, se conoce desde la antigüedad. La materia prima para la conformación y elaboración de ladrillos es la arcilla. La arcilla con la que se elabora los ladrillos es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita que son un tipo de mineral.

Se considera el adobe como el precursor del ladrillo, puesto que se basa en el concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque el adobe no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. El ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> M.Kornmann and CTTB, "Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties", Soc. Industries minières, Paris. 2.007.

---

Para la incorporación del lodo secundario de la PTAR El Rosal en la fabricación de ladrillo cerámico, para la obtención de la materia prima en este caso arcilla, fue necesario ubicar una ladrillera que la proporcionara y donde también se pudieran realizar pruebas experimentales.

La ladrillera Superior (Ver Fotografía 4) ubicada en la carrera 4 N° 8-04 en el Municipio de Soacha, fue la encargada de suministrar la materia prima y prestar las instalaciones para la fase experimental en la fabricación de ladrillos cerámicos con lodo secundario.

**Fotografía 4. Ladrillera Superior**



Fuente: Los Autores 2.009.

### **6.2.1. Pre-experimentación**

La fase de pre-experimentación se dividió en cuatro etapas que se llevaron a cabo en un periodo de dos semanas en el mes de octubre de 2.008, donde se obtuvo un total de 15 ladrillos antes de la cocción.

La primera etapa consistió en acondicionar el lodo secundario de la planta El Rosal, el cual fue necesario molerlo en un cilindro triturador de 12 bolas de hierro (Ver Fotografía 5), suministrado por el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad de la Salle.

**Fotografía 5. Cilindro Triturador**



Fuente: Los Autores 2.009.

Posteriormente se procedió a tamizar en un aro de 0,08 pulgada (Ver Fotografía 6) el producto de la trituración para obtener un material homogéneo.

**Fotografía 6. Lodo Secundario Homogenizado**



Fuente: Los Autores 2.009.

En la segunda etapa, para la realización de un ladrillo cerámico, se tomó como base un molde en madera (briqueta) con medidas de 3,5 cm x 15 cm x 3,5 cm, y con una capacidad de almacenar 400 gr de arcilla (Ver Figura 32).

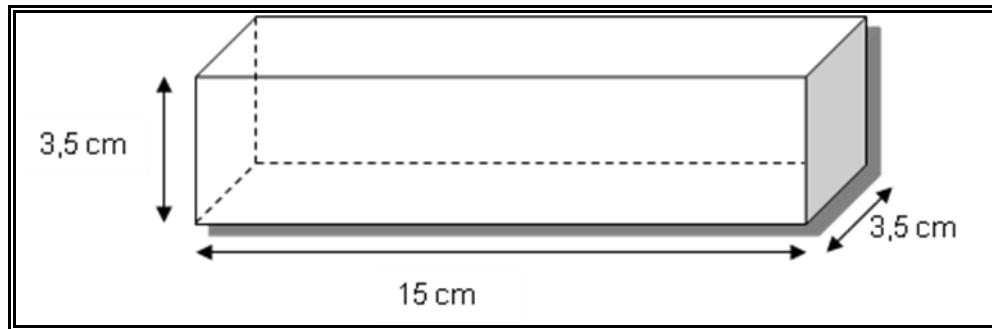
El diseño de esta briqueta fue el 10% del volumen de un adoquín comercial (1.728 cm<sup>3</sup>), con dimensiones de 24 cm de largo, 12 cm de ancho y 6 cm de alto.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillos y Derivados de la Arcilla (Anfaltit).

---

**Figura 32. Molde para la fabricación de un ladrillo**



Fuente: Los Autores 2.009.

Para la incorporación de los lodos secundarios de la planta El Rosal se realizaron mezclas homogéneas en las proporciones que se muestran en la Tabla 18. Se fabricaron 15 ladrillos cerámicos, con el fin de determinar cual proporción cumple con la norma de resistencia NTC-4017 (Ver Anexo F) y la resolución 16395 de 2.004 de la Superintendencia de Industria y Comercio 8 (Ver Anexo E).

**Tabla 18. Mezcla de lodo – arcilla en gramos**

PROPORCIÓN		LODO (gr)	ARCILLA (gr)	TOTAL (gr)
10%	90%	40	360	400
20%	80%	80	320	400
30%	70%	120	280	400
40%	60%	160	240	400
50%	50%	200	200	400
BLANCO		0	400	400

Fuente: Los Autores 2.009.

En total se utilizó 5.400 gr de arcilla y 1.800 gr de lodo secundario de la planta El Rosal para la fabricación de 15 ladrillos.

En la tercera etapa se realizaron los 15 ladrillos (Ver Fotografía 7) teniendo en cuenta la cantidad de arcilla y lodo para cada proporción. Para la fabricación de cada ladrillo se realizó el siguiente procedimiento (Ver anexo E):

- ⇒ Se agregó la cantidad de agua necesaria para que la mezcla de lodo y arcilla tomara una textura maleable (plástica), debido a que son piezas cerámicas.

- ⇒ Se introdujo la mezcla en la briqueta haciendo presión manual para sacar el aire contenido y se retiró el exceso del material.
- ⇒ Después se procedió a pesar y medir el ladrillo.
- ⇒ Se dejó secar el ladrillo al aire libre por 24 horas.
- ⇒ Al cabo de este tiempo se introdujo el ladrillo en un horno METMER, a 120 °C por 6 horas y cumplido este tiempo se dejó secar el ladrillo al aire libre por 24 horas.
- ⇒ Por último se introdujo el ladrillo en el horno de la ladrillera Superior a 1.200 °C por 24 horas, después de esto se pesó y se midió cada ladrillo.

**Fotografía 7. Muestra de un ladrillo cerámico a diferentes proporciones**



Fuente: Los Autores 2.009

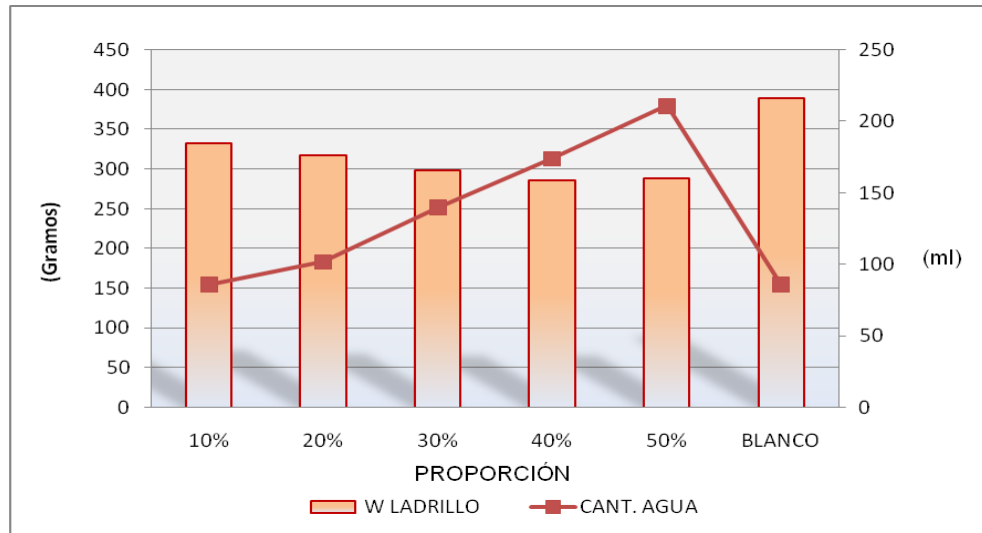
En la cuarta etapa, para el análisis de los ladrillos se tomó como indicador las proporciones del lodo secundario (10%, 20%, 30%, 40%, 50% y blanco), los resultados obtenidos en las pruebas realizadas (Ver Anexo I), fueron los valores correspondientes a la media aritmética de cada valor analizado, en este caso la suma del parámetro de cada proporción divididos en la muestra correspondiente a cada proporción.

**6.2.1.1 Comparación de variables en el proceso de fabricación del ladrillo cerámico durante la fase Pre-experimental.** Se evaluaron los resultados obtenidos en la fabricación de los 15 ladrillos cerámicos, teniendo en cuenta los pesos, la cantidad de agua utilizada y el volumen de cada ladrillo en cada etapa del proceso de fabricación.

⇒ **Peso inicial vs. Cantidad de agua:**

Según los valores obtenidos, en la Figura 33 se muestra que la cantidad de agua suministrada a cada proporción aumenta con la cantidad de lodo contenido en cada mezcla, indicando que el lodo secundario es un material altamente absorbente a diferencia de la arcilla. Con respecto al peso inicial de cada muestra la relación es inversamente proporcional a la cantidad de agua suministrada para la fabricación del ladrillo cerámico, debido a que el lodo secundario es menos denso en el agua en comparación con la arcilla.

**Figura 33. Comportamiento del peso del ladrillo con la cantidad de agua**



Fuente: Los Autores 2.009

⇒ **Comportamiento del peso durante la producción de ladrillo:**

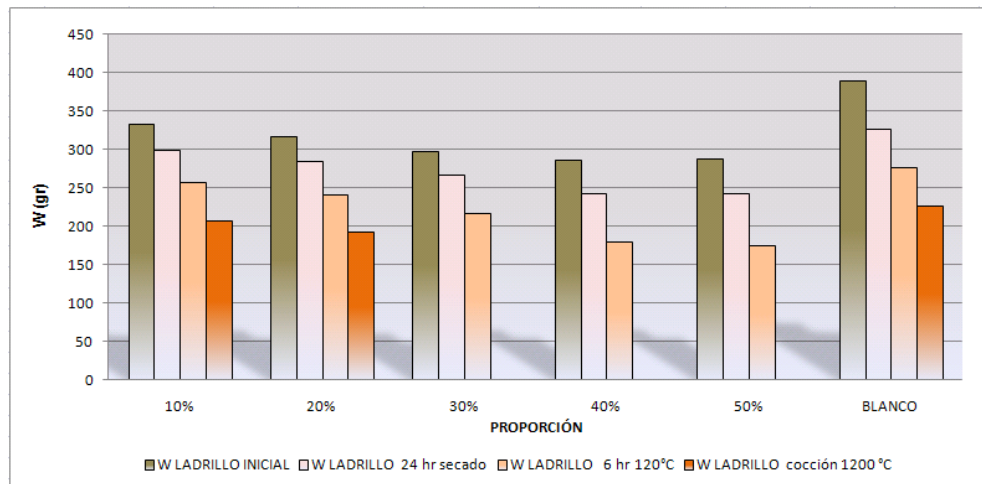
En la Figura 34 se determina que las proporciones de 10%, 20%, 30% disminuyeron su peso inicial en un 10% y las proporciones de 40%, 50% y blanco disminuyeron su peso inicial en un 20% después de 24 horas de secado, debido a que se disminuye el agua libre del ladrillo cerámico.



Después de 6 horas de secado en el horno METMER las proporciones del 10%, 20%, 30% y blanco redujeron su peso en un 30% y las proporciones del 40% y 50% en un 40% con respecto a su peso inicial, esta reducción se debe a que empieza el secado del agua contenido dentro del ladrillo.

Por último se da una reducción del 40% en el peso de las proporciones del 10%, 20% y blanco con respecto al peso inicial en la etapa de cocción, con respecto a las proporciones de 30%, 40% y 50%, los ladrillos cerámicos en la etapa de cocción se partieron, debido a que el lodo secundario presenta mayor cantidad de materia orgánica que a temperaturas mayores de 550°C se volatiliza, dejando al ladrillo con espacios en el interior que lo hace menos compacto y resistente.

**Figura 34. Comportamiento del peso del ladrillo durante el proceso de fabricación**



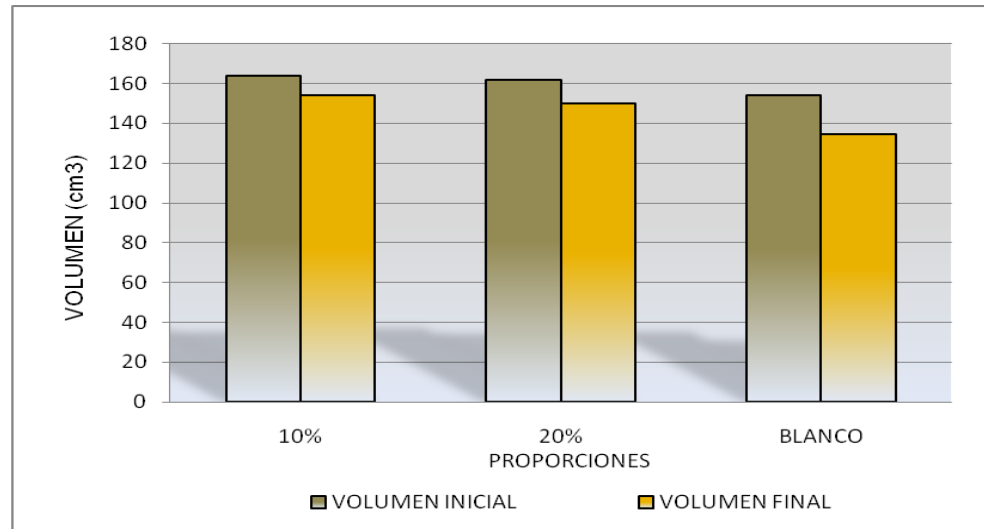
Fuente: Los Autores 2.009.

### ⇒ Comportamiento del Volumen:

De acuerdo con la Figura 35, se reduce el volumen inicial aproximadamente en 15 cm<sup>3</sup>, para las proporciones del 10%, 20% y blanco. Para las demás proporciones no se tuvo en cuenta el volumen ya que estas no resistieron la fase de cocción.

De acuerdo a las pruebas realizadas con respecto al peso se da la proporción que a mayor volumen menor peso, debido a que en el lodo secundario existe mayor espacio entre partículas, lo contrario pasa con las arcillas que es un material más compacto.

**Figura 35. Comportamiento del volumen de los ladrillos**



Fuente: Los Autores 2.009

### **6.2.2. Experimentación**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la etapa de pre-experimentación, se tomaron para la prueba de experimentación solo las proporciones que finalizaron el proceso de fabricación del ladrillo cerámico, es decir; 10%, 20% y blanco.

Se realizaron 150 ladrillos cerámicos (Ver Fotografía 8), 50 para cada proporción, el proceso de fabricación fue igual al proceso realizado durante la pre-experimentación, en total se utilizó 24.300 gramos de arcilla y 2.700 gramos de lodo secundario; además se hicieron tres pruebas de resistencia (Compresión, flexión y absorción) a cada proporción, con el fin de cumplir con los requerimientos exigidos por la norma de procedimientos NTC-4017 y la resolución 16395 de 2.004 de la Superintendencia de Industria y Comercio. Para la realización de cada prueba de resistencia se tomó una muestra aleatoria de 10 ladrillos cerámicos de cada proporción para un total de 30 ladrillos cerámicos.

**Fotografía 8. Ladrillos cerámicos de cada proporción**



Fuente: Los Autores 2.009.

Al igual que en la fase de pre-experimentación los resultados que se obtuvieron en las pruebas realizadas, serán los valores correspondientes a la media aritmética de las repeticiones de cada proporción seleccionadas, en este caso la suma de los valores de cada proporción divididos entre la muestra aleatoria de 10 ladrillos de cada proporción (Ver Anexo H). Para el análisis de los ladrillos cerámicos se tomó como indicador las proporciones del lodo secundario.

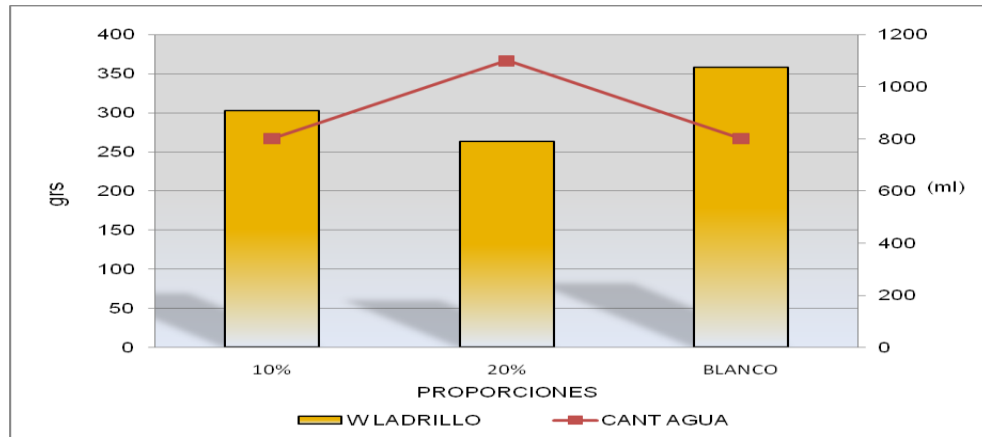
**6.2.2.1 Comparación de variables en el proceso de fabricación del ladrillo cerámico durante la fase Experimental.** El comportamiento del ladrillo cerámico de cada proporción en las etapas de fabricación, tuvo el mismo comportamiento de los ladrillos realizados en la fase de pre-experimentación.

De igual manera como sucedió en la pre-experimentación se realizó una comparación de valores con respecto a cada etapa del proceso de la fabricación del ladrillo cerámico.

⇒ **Peso inicial vs. Cantidad de agua**

El peso inicial del ladrillo cerámico con respecto a la cantidad de agua añadida, sigue la relación que a mayor cantidad de lodo incorporado mayor es la cantidad de agua que se añade y menor es su peso (Ver Figura 36), como sucedió en la fase de pre-experimentación.

**Figura 36. Comportamiento en peso vs cantidad de agua**

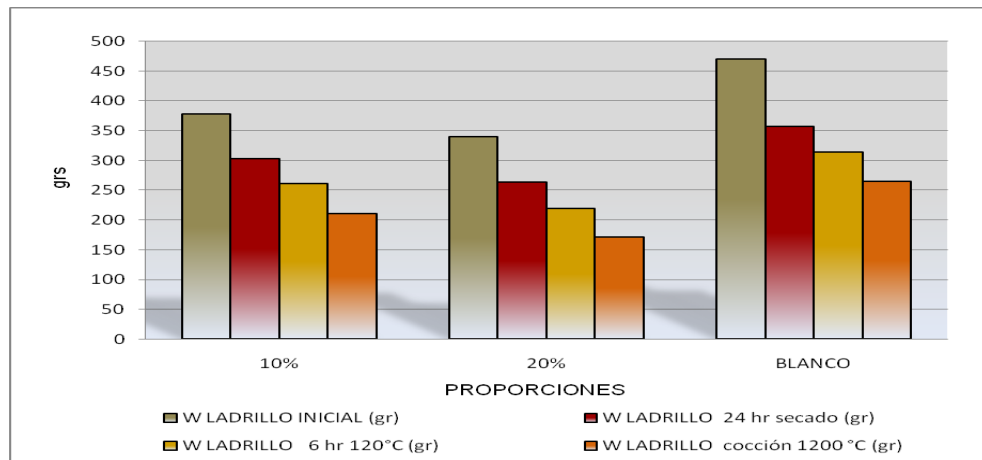


Fuente: Los Autores 2.009.

⇒ **Comportamiento del peso durante la producción de ladrillo**

En la Figura 37, las proporciones del 10%, 20% y blanco reducen su peso inicial en un 20% después de 24 horas de secado; en la fase de secado en el horno METMER después de 6 horas los ladrillos cerámicos de las proporciones reducen su peso inicial en un 45% y en la fase de cocción se redujo su peso inicial aproximadamente en un 55%, dado que los ladrillos cerámicos en esta última fase pierden el agua contenido en su interior y la materia orgánica. En comparación con los ladrillos cerámicos de la fase de pre-experimentación, se reduce en un 10% más la cantidad del peso inicial en la fase de experimentación, debido a que en la fabricación se procuró sacar el exceso de aire.

**Figura 37. Comportamiento del peso del ladrillo durante el proceso de fabricación**

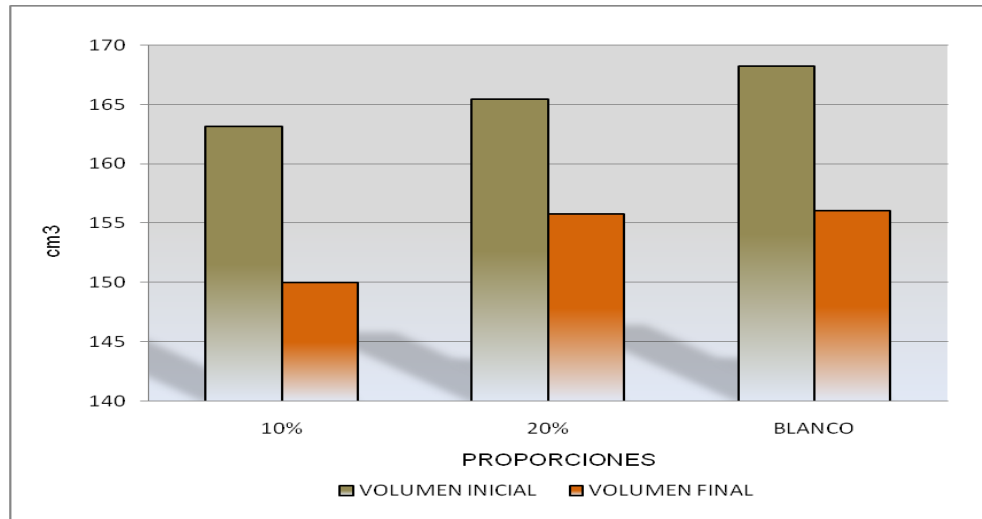


Fuente: Los Autores 2.009.

⇒ **Comportamiento del Volumen**

El volumen del ladrillo cerámico de las proporciones 10%, 20% y Blanco, son muy similares al volumen obtenido en la fase de pre-experimentación (Ver Figura 38), las proporciones del ladrillo cerámico con respecto al volumen inicial se reducen en un 10% aproximadamente; debido a que el agua que se reduce hace que las partículas se compacten en el interior del ladrillo.

**Figura 38. Comportamiento del volumen de los ladrillos**



Fuente: Los Autores 2.009.

### 6.2.3. Pruebas de Resistencia

Para las pruebas de resistencia se tuvo en cuenta lo establecido en la resolución 16395 de 2.004<sup>20</sup> de la Superintendencia de Industria y Comercio, que establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería.

En la norma NTC 4205, se distinguen tres tipos básicos de unidades de mampostería de arcilla cocida, según la disposición de sus perforaciones y del volumen que estas ocupen:

- ⇒ perforación vertical (ladrillos y bloques) (PV)
- ⇒ perforación horizontal (ladrillos y bloques) (PH)
- ⇒ macizos (M).

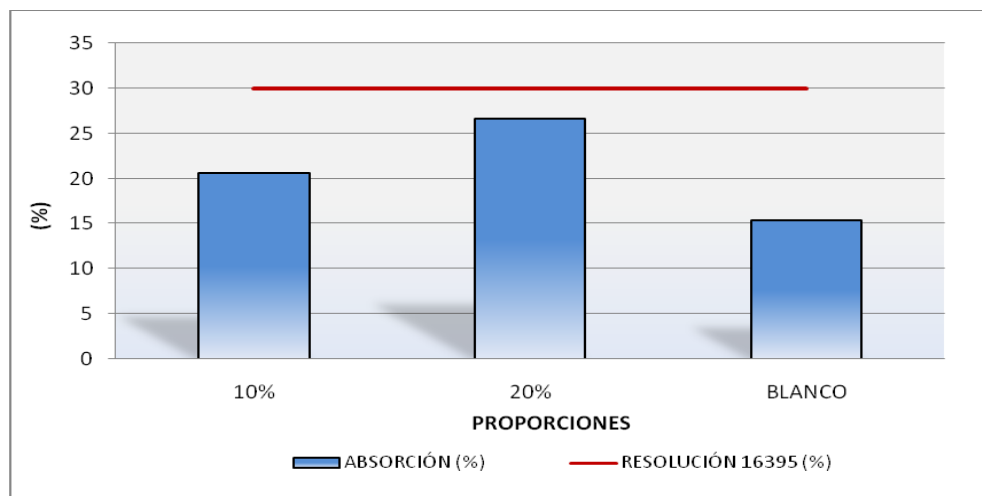
<sup>20</sup> Propuesta por la Pontificia Universidad Javeriana.

De acuerdo con la clasificación anterior los ladrillos cerámicos realizados pertenecen, al tercer tipo básico de unidades de mampostería (Unidades macizas M) tipos de ladrillos; que son compuestos aligerados con pequeñas perforaciones que ocupan menos del 25% de su volumen ó que no contiene ninguna perforación.

Según este tipo los ladrillos se clasifican en Unidades de mampostería de uso interior y de uso exterior (o de fachadas), que son aquellos que solo son aptos para usarse en muros que no estén expuestos a la intemperie, como muros divisorios interiores que pueden estar o no a la vista, o en muros exteriores que tengan un acabado de protección de revoque o pañete, enchape u otra mampostería que impida la exposición a la intemperie. Las unidades de mampostería de uso exterior o para fachada son aptas para construir muros a la vista que estén expuestos a la intemperie.

**6.2.3.1. Absorción de Agua.** De acuerdo a la Figura 39 los ladrillos de las proporciones del 10% 20% no sobrepasan el límite máximo de absorción exigido por la resolución 16395 de 2.004 (Ver Anexo E), estas proporciones presentan una mayor absorción de agua, debido a que en su interior contienen material orgánico que al momento de la cocción a 1200°C se elimina dejando espacios que son ocupados por agua, dándole mayor absorción y menor peso; la muestra de arcilla (blanco) presenta menor absorción ya que es un material más compacto. En la Resolución 16395 se establece que los ladrillos tipo (M) no deben tener una absorción de agua mayor a 30%.

**Figura 39. Absorción de agua**



Fuente: Los Autores 2.009.

En las fotografías 9 a 11 se presentan los ladrillos cerámicos después de veinticuatro horas sumergidos en agua para las proporciones del 10%, 20% y blanco.

**Fotografía 9. Prueba de absorción proporción del 10%**



Fuente: Los Autores 2.009.

**Fotografía 10. Prueba de absorción proporción del 20%**



Fuente: Los Autores 2.009.

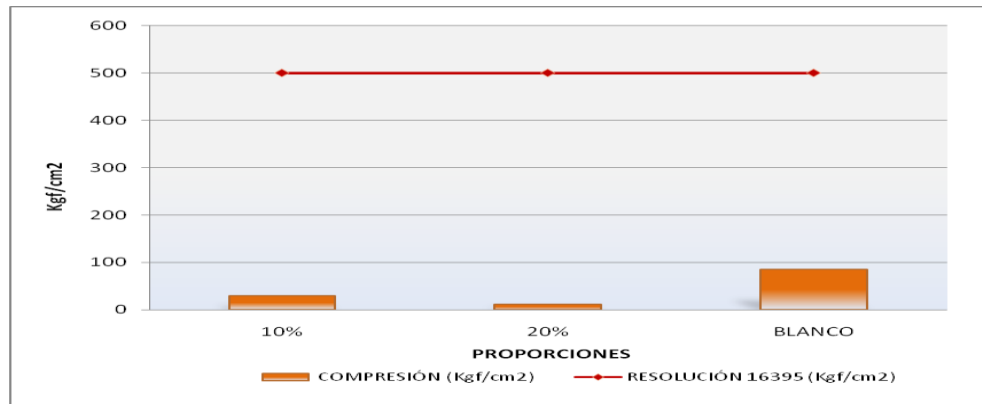
**Fotografía 11. Prueba de absorción blanco**



Fuente: Los Autores 2.009.

**6.2.3.2. Compresión.** Las unidades de arcilla cocida para mampostería estructural tipo (M) deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión según el rango que se especifica en la resolución 16395 de 2.004 (0 – 500 kgf/cm<sup>2</sup>). Esta resistencia se calcula realizando el procedimiento descrito en la norma NTC 4017 (Ver Anexo F). De acuerdo con la Figura 40 los ladrillos cerámicos muestran una resistencia muy baja, debido a que las proporciones del 10% y 20% en su interior son porosos, por la cantidad de aire contenido y la materia orgánica volatilizada en la fase de cocción.

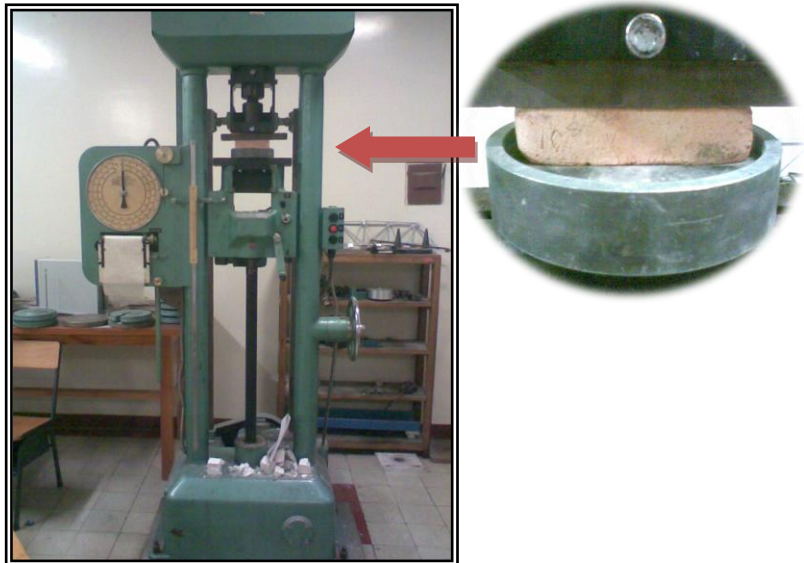
**Figura 40. Prueba de compresión**



Fuente: Los Autores 2.009.

En la fotografía 12 se presentan un ejemplo de la prueba de compresión realizada en una máquina universal para la proporción del 10%.

**Fotografía 12. Prueba de Compresión para la proporción del 10%.**

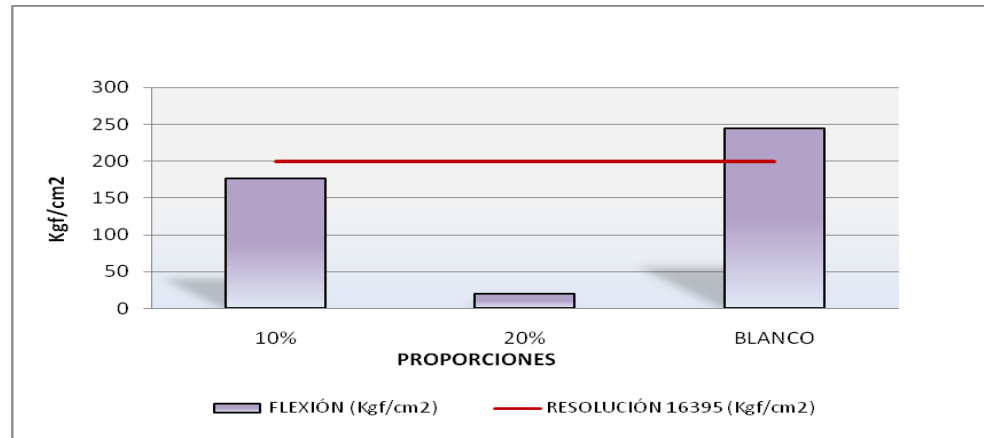


Fuente: Los Autores 2.009.



**6.2.3.3. Prueba de Flexión.** De acuerdo la Figura 41 la proporción del 10% tuvo el mejor comportamiento, ya que no sobrepasó el límite máximo del módulo de ruptura que corresponde a 200 kgf/cm<sup>2</sup> y soporto la mayor fuerza aplicada. Para la proporción del 20% se obtuvo datos bajos que indican que el ladrillo cerámico es frágil y poco resistente.

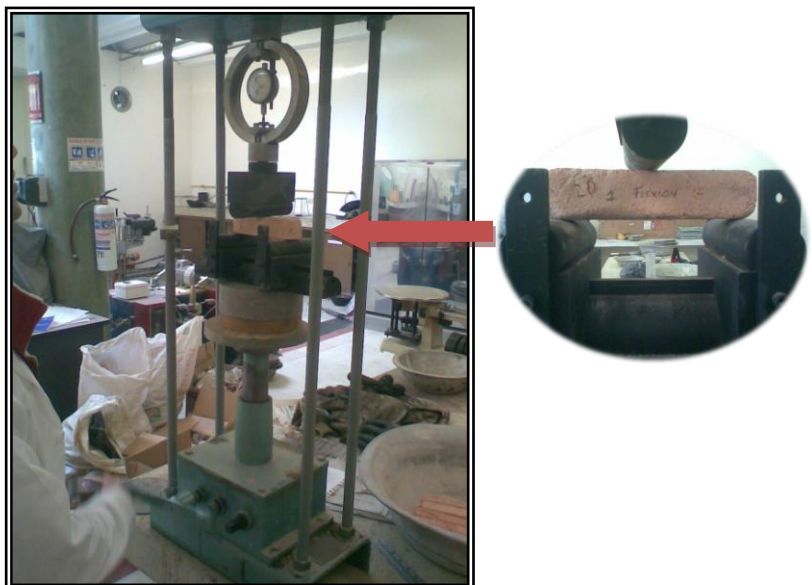
**Figura 41. Prueba de Flexión**



Fuente: Los Autores 2.009.

En la fotografía 13 se presentan un ejemplo de la prueba de Flexión realizada en una máquina universal para la proporción del 20%.

**Fotografía 13. Prueba de Flexión para la proporción del 20%**



Fuente: Los Autores 2.009.

## **7. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS**

Se presenta a continuación la evaluación técnica y económica sobre el uso y aprovechamiento de lodos secundarios de la planta de tratamiento El Rosal, en recuperación de suelo erosionado por el sector floricultor (alternativa 1) y como materia prima para la fabricación de ladrillos cerámicos (alternativa 2), con el fin de determinar que alternativa es más viable en una actividad agro-industrial.

Para llevar a cabo el estudio técnico-económico se utilizó el método del valor futuro (VF) para las dos alternativas, el cual proyecta los costos anuales de incorporar los lodos secundarios en diez años; además se determinó el punto de equilibrio que determina que alternativa genera más ingresos<sup>21</sup>.

La Corporación Autónoma regional (CAR) para este caso tendrá un beneficio económico de ingresos por un valor de \$75.000 pesos mcte anual, al vender los lodos secundarios de la PTAR El Rosal; como no se ha estandarizado el valor comercial de cuánto cuesta un Kg de lodo se hace un estimado teniendo en cuenta el criterio de la entidad.

### **7.1. TÉCNICA**

Evaluando técnicamente el uso y aprovechamiento de los lodos secundarios de la planta de tratamiento El Rosal, para la alternativa 1 la implementación del lodo secundario, tendrá un comportamiento de un fertilizante orgánico que cumple con la función de recuperar los macronutrientes (Nitrógeno total, Fósforo y Potasio) extraídos por la actividad de la floricultura, disminuyendo el costo de los insumos.

Para la alternativa 2, al implementar esta evaluación técnica en la producción de ladrillos cerámicos el costo de la fabricación disminuirá debido a que se utilizará un 10% menos de arcilla y se reducirá en un 10% la extracción de la misma en la cantera.

La evaluación técnica determina si con la incorporación del lodo secundario de la PTAR El Rosal, se debe hacer cambios en la maquinaria o procedimientos en la recuperación del suelo ó en la fabricación del ladrillo cerámico; para este caso el procedimiento de sustituir la materia prima de las alternativas por los lodos secundarios no hace necesario cambiar la metodología de operación ni cambiar la maquinaria destinada en cada proceso.

---

<sup>21</sup> GOMEZ, Oscar. Contabilidad de Costos. Bogotá Editorial Mc Graw Hill 2005. Pag 2-24 y 3-85.

---

## 7.2. ECONÓMICA

La evaluación económica se realizó teniendo en cuenta los costos que se generan por incorporar el lodo secundario de la PATR El Rosal en cada una de las alternativas seleccionadas.

### 7.2.1. Alternativa 1: Recuperación de suelo erosionado por el sector floricultor

Para la evaluación económica de esta alternativa se realizó una comparación entre los costos operativos de implementar un abono orgánico (Ver Tabla 19) para la recuperación del suelo de estudio (Aguapucha II) y los costos operativos en incorporar el lodo secundario de la planta El Rosal al mismo suelo (Ver Tabla 20).

El costo del transporte se tomó de acuerdo a lo estipulado por los transportadores del municipio de Facatativá, y la mano de obra es el salario mínimo legal vigente.

**Tabla 19. Costos de implementación para la Alternativa 1 (Abono orgánico)**

	PARÁMETRO	CANTIDAD / MES	VALOR UNITARIO (Pesos)	VALOR MENSUAL (Pesos)	VALOR ANUAL (Pesos)
<b>OPERACIÓN</b>	Abono Orgánico (1000 Kg)	1	40.000,00	40.000,00	480.000,00
	Mano de obra	1	-	496.900,00	5.962.800,00
	Transporte Finca	1	30.000,00	30.000,00	360.000,00
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>6.442.800,00</b>

Fuente: Los Autores 2.009.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 20. Costos de implementación para la Alternativa 1 (Lodo secundario)**

	PARÁMETRO	CANTIDAD / MES	VALOR UNITARIO (Pesos)	VALOR MENSUAL (Pesos)	VALOR ANUAL (Pesos)
<b>NUTRIENTES</b>	Nitrógeno total	1	18.000,00	18.000,00	216.000,00
	Fósforo	1	20.000,00	20.000,00	240.000,00
	Potasio	1	40.000,00	40.000,00	480.000,00
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>	Salmonella	1	11.000,00	11.000,00	132.000,00
	Escherichia coli	1	8.000,00	8.000,00	96.000,00
	Coliformes fecales	1	6.600,00	6.600,00	79.200,00
<b>METALES</b>	Arsénico	1	7.500,00	7.500,00	90.000,00
	Cadmio	1	8.000,00	8.000,00	96.000,00
	Cromo	1	8.000,00	8.000,00	96.000,00
	Cobre	1	8.000,00	8.000,00	96.000,00
	Mercurio	1	9.500,00	9.500,00	114.000,00
	Níquel	1	7.800,00	7.800,00	93.600,00
	Plomo	1	7.500,00	7.500,00	90.000,00
	Selenio	1	6.500,00	6.500,00	78.000,00
<b>OPERACIÓN</b>	Mano de obra	1	-	496.900,00	5.962.800,00
	*Adecuación lodo (tritador)	1	-	-	1.870.000,00
	Lodo (1000Kg)	1	6,25	6.250,00	75.000,00
	Transporte PTAR - Finca	1	80.000,00	80.000,00	960.000,00
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>10.864.600,00</b>

Fuente: Los Autores 2.009.

Los costo del los análisis de Laboratorio son de la Universidad Nacional de Colombia

\*Costo de una máquina trituradora marca Italia

**7.2.1.1. Evaluación de Costos.** Para estimar los costos relacionados con la implementación del lodo secundario en la alternativa 1 en la recuperación del suelo estudio (Aguapucha II), se proyecta para 10 años los costos de implementar Abono orgánico (Ver tabla 21) y el lodo secundario de la planta El Rosal (Ver Tabla 22).

Para establecer la inversión año tras año, se tomó como base la tasa de inflación anual proyectada para el año 2.009 que es del 7,5% para los costos de operación, para los costos de transporte se toma como tasa interés anual el 1,4% que es el ajuste anual de la gasolina suministrada por el Ministerio de Minas y Energía y para los costos del abono orgánico y lodo secundario se tomó como tasa de interés el 4,51% que es la tasa representativa de productos agropecuarios para los consumidores suministrada por el DANE.

**Tabla 21. Cálculo del VF para la alternativa 1 (Abono orgánico)**

PERIODO	AÑO	VF TRANSPORTE	VF ABONO O.	VF OPERACIÓN	VF TOTAL
0	2009				
1	2010	378.794,72	501.650,72	6.410.012,72	7.290.458,15
2	2011	378.799,39	501.655,39	6.410.017,39	7.290.472,17
3	2012	378.812,09	501.668,09	6.410.030,09	7.290.510,26
4	2013	378.846,60	501.702,60	6.410.064,60	7.290.613,79
5	2014	378.940,41	501.796,41	6.410.158,41	7.290.895,24
6	2015	379.195,43	502.051,43	6.410.413,43	7.291.660,29
7	2016	379.888,63	502.744,63	6.411.106,63	7.293.739,90
8	2017	381.772,96	504.628,96	6.412.990,96	7.299.392,87
9	2018	386.895,08	509.751,08	6.418.113,08	7.314.759,25
10	2019	400.818,47	523.674,47	6.432.036,47	7.356.529,40
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>3.822.763,77</b>	<b>5.051.323,77</b>	<b>64.134.943,77</b>	<b>73.009.031,32</b>

Fuente: Los Autores 2.009.  
 \*VF = Total Costos x (1 + i)<sup>n</sup>;  
 i: tasa inflación ; n: periodo

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 22. Cálculo del VF para la alternativa 1 (Lodo secundario)**

PERIODO	AÑO	VF TRANSPORTE	VF LODO	VF OPERACIÓN	VF <sub>TOTAL</sub>
0	2009				
1	2010	1.010.114,72	78.385,22	8.556.572,72	9.645.072,65
2	2011	1.010.119,39	78.389,89	8.556.577,39	9.645.086,67
3	2012	1.010.132,09	78.402,59	8.556.590,09	9.645.124,76
4	2013	1.010.166,60	78.437,10	8.556.624,60	9.645.228,29
5	2014	1.010.260,41	78.530,91	8.556.718,41	9.645.509,74
6	2015	1.010.515,43	78.785,93	8.556.973,43	9.646.274,79
7	2016	1.011.208,63	79.479,13	8.557.666,63	9.648.354,40
8	2017	1.013.092,96	81.363,46	8.559.550,96	9.654.007,37
9	2018	1.018.215,08	86.485,58	8.564.673,08	9.669.373,75
10	2019	1.032.138,47	100.408,97	8.578.596,47	9.711.143,90
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>10.135.963,77</b>	<b>818.668,77</b>	<b>85.600.543,77</b>	<b>96.555.176,32</b>

Fuente: Los Autores 2.009.

\*VF = Total Costos  $\times (1 + i)^n$ ;

i: tasa inflación; n: periodo

Para determinar el valor futuro en este caso no se tuvo en cuenta el valor de la trituradora, debido a que solo se requiere para los costos del primer año.

Con base en lo anterior, para la recuperación del suelo erosionado por el sector floricultor, no es rentable incorporar los lodos secundarios de la planta El Rosal debido a que se necesita que estén totalmente acondicionados para que no ocurran efectos secundarios por los microorganismos y metales pesados que pueda contener, además de esto se debe tener en cuenta la cantidad exacta del lodo secundario para que no haya saturación de nutrientes.

Incorporar los lodos secundarios de la planta El Rosal aumenta los costos en \$ 23.546.145,00 pesos mcte anualmente comparado con los costos del abono orgánico, lo que no es rentable para la finca de estudio (Aguapucha II).

**7.2.2. Alternativa 2: Incorporación de lodo secundario en la fabricación de ladrillo cerámico.**

La evaluación económica para esta alternativa se realizó haciendo una comparación entre la fabricación de ladrillos con 10%:90% lodo–arcilla y la fabricación con 100% arcilla.

La Ladrillera Superior produce en un turno de ocho horas 13.000 ladrillos macizos tipo (M) al día, y cada uno cuesta \$ 430 mcte, en un mes se producen 260.000 ladrillos tipo (M) y se gasta al mes en la producción 884 toneladas de arcilla.

Una tonelada de arcilla para la fabricación de ladrillos tiene un costo de \$ 40.000 mcte en el mercado.

La evaluación económica para esta alternativa, se basó en realizar una comparación entre los costos operativos de fabricar ladrillos cerámicos con 100% arcilla (Ver Tabla 23), y fabricar ladrillos cerámicos con el 10% del lodo secundario de la planta El Rosal y 90% de arcilla (Ver Tabla 24) y los costos operativos.

El costo del transporte se tomó de acuerdo a lo estipulado por los transportadores del municipio de Facatativá, y la mano de obra es el salario mínimo legal vigente.

**Tabla 23. Costos de la fabricación de ladrillos cerámicos 100% arcilla para la Alternativa 2**

	PARÁMETRO	CANTIDAD / MES	VALOR UNITARIO (Pesos)	VALOR MENSUAL (Pesos)	VALOR ANUAL (Pesos)
<b>* OPERACIÓN</b>	Mano de Obra	1	496.900,00	496.900,00	5.962.800,00
	Agua mt3	13	2.962,23	38.508,98	462.107,78
	Energía Kw/h	2688	552,40	1.484.851,20	17.818.214,40
	Arcilla tonelada	884	40.000,00	35.360.000,00	424.320.000,00
<b>TOTAL COSTOS</b>					448.563.122,18

Fuente: Los Autores 2.009.

\*Datos suministrados por la Ladrillera Superior

**Tabla 24. Costos de la fabricación de ladrillos cerámicos 10% 90% lodo – arcilla para la Alternativa 2**

PARÁMETRO		CANTIDAD / MES	VALOR UNITARIO (Pesos)	VALOR MENSUAL (Pesos)	VALOR ANUAL (Pesos)
<b>OPERACIÓN</b>	Transporte PTAR - Ladrillera	1	80.000,00	80.000,00	960.000,00
	Mano de Obra	1	496.900,00	496.900,00	5.962.800,00
	Agua mt3	13	2.962,23	38.508,98	462.107,78
	Energia Kw/h	2688	552,40	1.484.851,20	17.818.214,40
	Arcilla tonelada	795,6	40.000,00	31.824.000,00	381.888.000,00
	Lodo (1000Kg)	1	6,25	6.250,00	75.000,00
<b>TOTAL COSTOS</b>					<b>407.166.122,18</b>

Fuente: Los Autores 2.009.

\*Dato suministrado por la Ladrillera Superior

**7.2.2.1. Evaluación de Costos.** Para estimar los costos relacionados con la implementación del lodo secundario en la alternativa 2 en la fabricación de ladrillos cerámicos, se proyectó para 10 años los costos de fabricar ladrillos cerámicos con 100% arcilla (Ver Tabla 25) y con 10% lodo – 90% arcilla (Ver Tabla 26).

Para establecer la inversión año tras año se realizó igual que para la alternativa 1, se tomó como base la tasa de inflación anual proyectada para el año 2.009 que es del 7,5% para los costos de operación, para los costos de transporte se toma como tasa interés anual el 1,4% que es el ajuste anual de la gasolina suministrada por el Ministerio de Minas y Energía y para los costos de arcilla y lodo secundario se tomó como tasa de interés el 4,51% que es la tasa representativa de productos agropecuarios para los consumidores suministrada por el DANE.



**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 25. Cálculo del VF para la alternativa 2 (100% arcilla)**

PERIODO	AÑO	VF ARCILLA	VF OPERACIÓN	VF
0	2009			
1	2010	443.456.834,72	26.061.359,06	469.518.193,78
2	2011	443.456.839,39	26.061.363,73	469.518.203,12
3	2012	443.456.852,09	26.061.376,43	469.518.228,51
4	2013	443.456.886,60	26.061.410,94	469.518.297,54
5	2014	443.456.980,41	26.061.504,76	469.518.485,17
6	2015	443.457.235,43	26.061.759,77	469.518.995,20
7	2016	443.457.928,63	26.062.452,98	469.520.381,61
8	2017	443.459.812,96	26.064.337,30	469.524.150,26
9	2018	443.464.935,08	26.069.459,43	469.534.394,51
10	2019	443.478.858,47	26.083.382,81	469.562.241,28
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>4.434.603.163,77</b>	<b>260.648.407,21</b>	<b>4.695.251.570,98</b>

Fuente: Los Autores 2.009.  
 \*VF = Total Costos  $\times (1 + i)^n$ ;  
 i: tasa inflación ; n: periodo

**Tabla 26. Cálculo del VF para la alternativa 2 (10% 90% Lodo-arcilla)**

PERIODO	AÑO	VF TRANSPORTE	VF LODO	VF OPERACIÓN	VF ARCILLA	VF TOTAL
0	2009					
1	2010	1.010.114,72	78.385,22	26.061.359,06	399.111.151,52	426.261.010,52
2	2011	1.010.119,39	78.389,89	26.061.363,73	399.111.156,19	426.261.029,20
3	2012	1.010.132,09	78.402,59	26.061.376,43	399.111.168,89	426.261.079,99
4	2013	1.010.166,60	78.437,10	26.061.410,94	399.111.203,40	426.261.218,04
5	2014	1.010.260,41	78.530,91	26.061.504,76	399.111.297,21	426.261.593,30
6	2015	1.010.515,43	78.785,93	26.061.759,77	399.111.552,23	426.262.613,36
7	2016	1.011.208,63	79.479,13	26.062.452,98	399.112.245,43	426.265.386,18
8	2017	1.013.092,96	81.363,46	26.064.337,30	399.114.129,76	426.272.923,48
9	2018	1.018.215,08	86.485,58	26.069.459,43	399.119.251,88	426.293.411,98
10	2019	1.032.138,47	100.408,97	26.083.382,81	399.133.175,27	426.349.105,51
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>10.135.963,77</b>	<b>818.668,77</b>	<b>260.648.407,21</b>	<b>3.991.146.331,77</b>	<b>4.262.749.371,53</b>

Fuente: Los Autores 2.009.  
 \*VF = Total Costos  $\times (1 + i)^n$ ;  
 i: tasa inflación ; n: periodo

Según lo anterior la producción de 3120000 ladrillos/año tipo (M) 100% arcilla, tiene un costo anual de \$448.563.122,18 pesos mcte, agregando el 10% de lodo secundario de la planta El Rosal en la producción de ladrillos se obtiene una reducción en costos al año de \$41.397.000,00 pesos mcte; lo cual hace significativo implementar esta alternativa, por otro lado el lodo secundario no necesita ser acondicionado para este proceso.

### **7.2.3 Punto de Equilibrio**

El punto de equilibrio me determina que costos de producción en la fabricación de un producto con diferentes materiales, es más rentable en un futuro.

La determinación del punto de equilibrio se realizó solo para la segunda alternativa, ya que se necesita tener el costo de un producto que puede ser vendido para desarrollar este procedimiento, la alternativa 1 tiene como objetivo recuperar un suelo erosionado con la incorporación de un producto en este caso el lodo secundario de la planta El Rosal y en ninguna parte del proceso se genera un producto que se pueda vender; la alternativa 2 tiene por objeto fabricar ladrillos cerámicos con el mismo lodo, que luego de la obtención de los mismos son vendidos a un costo de \$430 pesos mcte la unidad.

**7.2.3.1. Punto de equilibrio para la fabricación de ladrillos cerámicos 10%:90% lodo-arcilla.** Todos los precios y costos a continuación están dados en pesos mcte.

⇒ Precio de venta ladrillo cerámico unitario	\$430,00
⇒ Producción mensual ladrillos cerámicos	\$260.000,00
⇒ Producción anual ladrillo cerámico	\$3.120.000,00

⇒ <b>COSTOS FIJOS</b>	<b>ANUAL</b>
Mano de obra	5.962.800,00
<b>COSTOS FIJOS TOTALES</b>	<b>5.962.800,00</b>

La mano de obra es una variable que está fija a los costos de la fabricación de los ladrillos cerámicos, es decir, siempre se va a necesitar la mano de obra para producir  $n$  cantidad de ladrillos.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

⇒ <b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>COSTO ANUAL UNITARIO</b>	<b>COSTO VAR. UNITARIO</b>
Transporte PTAR - Ladrillera	960.000,00	0,31
Agua mt3	462.107,78	0,15
Energía Kw/h	17.818.214,40	5,71
Arcilla Tonelada	381.888.000,00	122,40
Lodo (100Kg)	75.000,00	0,02
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>401.203.322,18</b>	<b>128,59</b>

Los costos variables son aquellos que están sujetos a la fabricación del ladrillo cerámico; es decir, depende de la cantidad unitaria de ladrillos que se vayan a fabricar.

$$\Rightarrow \text{PUNTO DE EQUILIBRIO} = \frac{\text{COSTOS FIJOS TOTALES}}{\text{PRECIO DE VENTA - COSTOS VARIABLES UNITARIOS}}$$

$$\Rightarrow \text{PUNTO DE EQUILIBRIO} = \frac{5.962.800,00}{(430-128,59)}$$

$$\Rightarrow \text{PUNTO DE EQUILIBRIO} = 19.783,07 \text{ Cantidad de ladrillos cerámicos}$$

La cantidad de ladrillos cerámicos hallados en el punto de equilibrio, son los ladrillos que se deben fabricar para cubrir los costos fijos totales.

**7.2.3.2. Punto de equilibrio para la fabricación de ladrillos cerámicos 100% arcilla.** Todos los precios y costos a continuación están dados en pesos mcte.

⇒ Precio de venta ladrillo cerámico unitario	\$430,00
⇒ Producción mensual ladrillos cerámicos	\$260.000,00
⇒ Producción anual ladrillo cerámico	\$3.120.000,00

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

<b>⇒</b>	<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>ANUAL</b>
	Mano de obra	5.962.800,00
	<b>COSTOS FIJOS TOTALES</b>	<b>5.962.800,00</b>

Al igual que en la producción de ladrillos cerámicos con el 10%:90% lodo-arcilla, la mano de obra es indispensable para la fabricación de los mismos.

<b>⇒ COSTOS VARIABLES</b>	<b>COSTO ANUAL UNITARIO</b>	<b>COSTO VAR. UNITARIO</b>
Agua mt3	462.107,78	0,15
Energía Kw/h	17.818.214,40	5,71
Arcilla Tonelada	<u>424.320.000,00</u>	<u>136,00</u>
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>442.600.322,18</b>	<b>141,86</b>

El total de los costos variables de la fabricación del ladrillo con 10%:90% lodo-arcilla es menor en \$41.397.000,00 pesos mcte, en comparación con el total de costos variables de 100% arcilla; debido a que hay una reducción en la materia prima para la producción del ladrillo.

$$\Rightarrow \text{PUNTO DE EQUILIBRIO} = \frac{\text{COSTOS FIJOS TOTALES}}{\text{PRECIO DE VENTA} - \text{COSTOS VARIABLES UNITARIOS}}$$

$$\Rightarrow \text{PUNTO DE EQUILIBRIO} = \frac{5.962.800,00}{(430-141,86)}$$

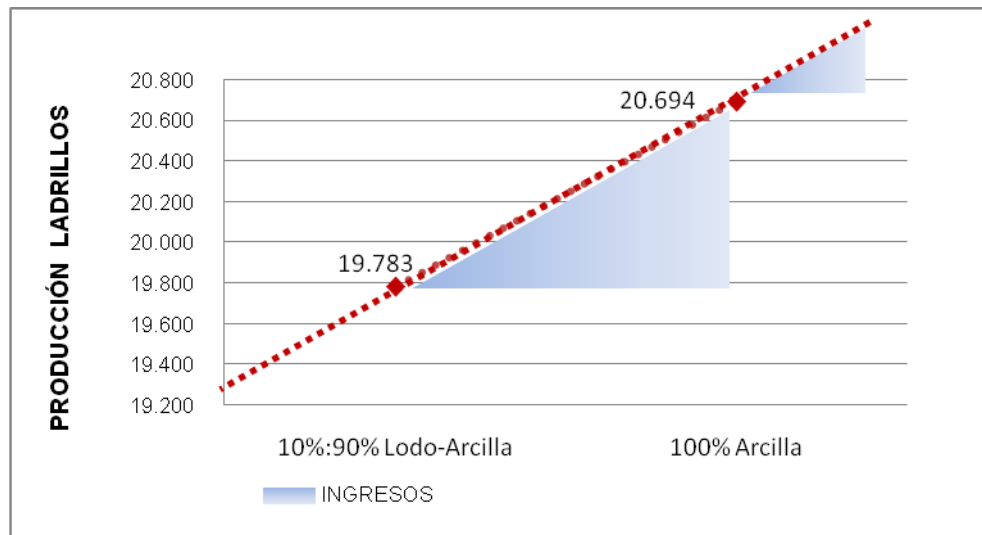
$$\Rightarrow \text{PUNTO DE EQUILIBRIO} = 20.694,04 \text{ Cantidad de ladrillos cerámicos}$$

Debido a que el total de los costos variables unitarios en la fabricación de ladrillos cerámicos con 100% es mayor que en la fabricación del 10%:90% lodo-arcilla, para poder cubrir el total de los costos fijos es necesario producir el 5% más de ladrillos cerámicos para alcanzar el punto de equilibrio.

Se realizó una comparación entre los puntos de equilibrio para cada caso (10%:90% lodo-arcilla y 100% arcilla), donde se determina que la opción de incorporar los lodos secundarios de la PTAR El Rosal en un 10% en la fabricación de ladrillos cerámicos es más rentable, ya que para alcanzar el punto de equilibrio se necesita menos producción de los mismos. (Ver Figura 42)

Con base en esta información se generan más ingresos con menor cantidad de ladrillo cerámicos.

**Figura 42. Comparación del punto de equilibrio de la fabricación de ladrillos cerámicos 10%:90% lodo-arcilla y 100% arcilla**



Fuente: Los Autores 2.009

## **CONCLUSIONES**

- ⇒ En el diagnóstico situacional de las plantas de tratamiento de La Calera y Bojacá se determinó, que durante el período de estudio presentaron problemas de operación, demostrando una deficiencia en la remoción de carga contaminante. La PTAR de La Calera tuvo una eficiencia del 65% y la de Bojacá tuvo una eficiencia del 75,7%, indicando que no están cumpliendo con lo establecido por el Decreto-Ley 1594 de 1.984 para el tratamiento de aguas residuales. Por otro lado la PTAR El Rosal durante este mismo período presentó una eficiencia de 87,4% demostrando una alta remoción de carga contaminante con respecto a la DBO<sub>5</sub>.
- ⇒ De acuerdo a los análisis realizados de los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica de las plantas de tratamiento de los municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá, los valores demuestran que el tipo de agua residual que entra en la plantas para ser tratada se asemeja a un agua residual industrial y no a un agua residual doméstica típica.
- ⇒ Los problemas de operación en las PTAR's se debe a que no se cumplen con las fases de tratamientos establecidos en los manuales de operación implementados por la CAR, además la rotación de operarios dificulta que la planta se mantenga constante en el tratamiento.
- ⇒ Según los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos secundarios, se determinó que la planta que presenta una mayor deficiencia en la remoción de carga contaminante es la de La Calera, debido a que hay un aumento significativo en la DBO<sub>5</sub> contenida en el lodo secundario.
- ⇒ Según la caracterización realizada a los lodos secundarios procedentes de las plantas de los municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá, no se puede determinar la buena calidad del lodo secundario, ya que no existe una normatividad que regule las límites máximos y mínimos de los parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos, sin embargo se asumió que no son peligrosos para incorporarlos en un proceso agroindustrial.
- ⇒ Según la matriz de comparación de alternativas de uso y aprovechamiento para los Biosólidos de la norma EPA 40 CFR-503, la recuperación de suelos y la fabricación de materiales de construcción, presentan una alta viabilidad ambiental, social y económica para incorporar lodos secundarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

- ⇒ Los metales contenidos en los lodos secundarios de las plantas de tratamiento de La Calera, El Rosal y Bojacá, muestran que hay presencia de industrias informales en los municipios que vierten los residuos al alcantarillado doméstico.
- ⇒ La selección de las alternativas para uso y aprovechamiento del lodo secundario de la PTAR' El Rosal, se realizó con base a las pocas investigaciones realizadas en la incorporación de Biosólidos en procesos agroindustriales.
- ⇒ Actualmente las plantas de tratamiento no están generando el lodo secundario esperado suficiente para ser aprovechados e incorporados como materia prima en la fabricación de ladrillos cerámicos, debido a la mala operatividad de las plantas.
- ⇒ De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos de metales pesados y microbiológicos establecidos por la Norma EPA 40 CRF-503 de uso y aprovechamiento para los Biosólidos, los lodos secundarios de las plantas de tratamiento La Calera, El Rosal y Bojacá pueden considerarse como Biosólidos, debido a que los parámetros se encuentran por debajo de los límites de referencia dispuesto por la noma.
- ⇒ No se presentan microorganismos como Salmonella, Coliformes y Escherichia en el lodo secundario de la PTAR El Rosal, debido a que este lodo duró por tres meses en los lechos de secado a temperaturas de 22 °C donde diariamente se aireaban mediante el volteo, los cuales perdieron gran cantidad de humedad, la cual es un medio de cultivo para estos microorganismos.
- ⇒ Los lodos secundarios de la planta El Rosal presenta macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en alto contenido, que fueron fijados al suelo erosionado mediante el intercambio catiónico, la proporción de 50%:50% lodo -suelo aumento estos nutrientes en un 16% el nitrógeno total, 12% el fósforo y 21% el potasio.
- ⇒ Los valores obtenidos después de dos meses de haber incorporado el lodo secundario, no son significativos para determinar qué la proporción del 50%:50% lodo-suelo es la más adecuada en la recuperación del suelo, ya que puede existir una saturación con el tiempo en los macronutrientes.

- ⇒ En la fase de cocción los ladrillos cerámicos de las proporciones del 30% lodo, 40% lodo y 50% lodo en la fase de pre-experimentación, no soportaron la elevada temperatura de 1200 C° ya que, por el contenido de humedad presente en el interior lo que ocasionó grietas y afloramiento del ladrillo cerámico.
- ⇒ Los ladrillos cerámicos fabricados, tienden a perder entre un 10 % y 15% de peso entre cada fase y reducir su volumen inicial en un 10%; debido a que la fabricación fue manual se presenta un porcentaje de error cerca del 40%, si no hubiese sido en estas condiciones el porcentaje de las pérdidas sería menor, ya que no se presentarían altas absorciones de agua dentro de los ladrillos.
- ⇒ Los valores obtenidos en las pruebas de resistencia demostraron que los ladrillos cerámicos, de la proporción del 10% de lodo y 90% de arcilla durante las pruebas tienen el mejor comportamiento con respecto a lo establecido en la resolución 16395 de 2.004.
- ⇒ La fabricación de los ladrillos en la fase de pre-experimentación y la de experimentación mantienen el mismo comportamiento durante todo el proceso, demostrando que la cantidad de volumen no afecta la producción de ladrillos cerámicos.
- ⇒ Según la propuesta económica realizada no es rentable incorporar los lodos secundarios en la recuperación del suelo erosionado, debido a que se necesita realizar mensualmente pruebas de laboratorio para determinar si son óptimos para este proceso, lo contrario ocurre con el abono orgánico el cual, viene estandarizado con la cantidad de nutrientes requeridos para recuperar el suelo.
- ⇒ La incorporación del 10% del lodo secundario en la fabricación de ladrillos cerámicos, genera el 10% más de ingresos que en la fabricación con 100% de arcilla.
- ⇒ Se determinó que la alternativa implementada más viable técnica y económica para dar uso y aprovechamiento a los lodos secundarios es la incorporación de estos en la fabricación de ladrillos cerámicos, ya que no necesitan ser acondicionados para ser utilizados, contrario pasa en incorporar estos lodos en la recuperación de suelos erosionados ya que requieren pruebas de laboratorio para determinar si pueden ser como recuperadores orgánicos.



## **RECOMENDACIONES**

- ⇒ Se recomienda determinar qué tipo de industrias están funcionando en los municipios de La Calera, El Rosal y Bojacá, ya que el agua residual doméstica que llega a las plantas de tratamiento presenta alta concentración de DBO<sub>5</sub>, DQO y metales, siendo similar a un agua residual industrial.
- ⇒ Se recomienda que las plantas adopten los manuales de operación y mantenimiento implementados por la CAR, para que no se presente deficiencias en la producción del lodo secundario.
- ⇒ Se hace necesario que la CAR realice pruebas mensuales de laboratorio de parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos, para estandarizar la calidad del lodo que sale de las plantas.
- ⇒ Se recomienda que los operarios encargados de la operatividad de las plantas de tratamiento, lleven un registro de las veces que se extraen los lodos secundarios de los sedimentadores, para determinar el volumen generado de lodo secundario.
- ⇒ De acuerdo a los resultados obtenidos en el proyecto de investigación, se recomienda que la CAR realice estudios sobre implementar las otras alternativas de uso y aprovechamiento de la norma EPA 40 CFR-503.
- ⇒ Se recomienda que se realicen más estudios sobre la cantidad de lodo secundario que se necesita incorporar en la recuperación de suelos con deficiencias de macronutrientes.
- ⇒ Se recomienda verificar el porcentaje de error que se maneja empíricamente en la fabricación manual de ladrillos cerámicos, ya que si se determina el valor exacto se puede realizar una comparación más puntual frente a un ladrillo comercial.
- ⇒ Se recomienda que en las pruebas de fabricación de ladrillos cerámicos las etapas de secado sean más prolongadas para darle una mejor resistencia al ladrillo.

- ⇒ Para mejorar las características de resistencia en los ladrillos cerámicos es necesario en las próximas investigaciones extraer mediante una máquina el aire contenido durante el proceso de moldeo, ya que durante las pruebas las diferentes proporciones, al interior son porosas generando mayores espacios y por lo tanto disminuyendo su resistencia.
- ⇒ Se recomienda que en la incorporación del lodo secundario en la recuperación de suelos, se evalúen las características físicas como textura, color, porosidad y temperatura, para establecer que otros componentes se modifican aparte de los macronutrientes.
- ⇒ Se recomienda que el Laboratorio de Ingeniería Ambiental cuente con una metodología más amplia para el análisis de nutrientes del suelo.
- ⇒ Se hace necesario que exista una norma legal que adopte las características fisicoquímicas de metales pesados y microbiológicos para cada tipo de lodo que se genera en las plantas de tratamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ALCALDÍA MUNICIPIO LA CALERA. Dependencia de servicios públicos .2.008.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. Código de regulaciones federales parte 503. USA: EPA, 1.997.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. SBR.EU. 1.999.
- AQUA AEROBICS. Manual de Procesos de Tratamiento, AquaSBR Sequencing Batch Reactor Para La Calera, Colombia. 1.999.
- Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillos y Derivados de la Arcilla (Anfalit).
- ASOCOLFLORES. Macronutrientes en los suelos. 2.004.
- CHAVEZ, Gabriela, El Lodo y su Producción. México. 2.002.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).Atlas Ambiental. 2.005.
- CRITES Ron, TCHOBANOGLIOUS George, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Bogotá. Editorial: Mc Graw Hill. 2000.
- CUSIDÓP Joan A. y LÁZAROV. Cremades, Nuevos materiales cerámicos para la construcción mediante valorización de lodos de aguas residuales urbanas: PROYECTO ECOBRICK. 2.006.
- GOMEZ & MENDOZA. Alternativas de manejo ambientalmente adecuado de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales el salitre. 2.002. Trabajo de grado (Ingenieros Ambientales y Sanitarios). Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- GOMEZ, Oscar. Contabilidad de Costos. Bogotá Editorial Mc Graw Hill 2005. Pag 2-24 y 3-85.
- HERNANDEZ, Aurelio, Depuración de aguas residuales. Bogotá. 1996. p 611-616.

INSTITUTO COLOMBIANO DE TORMAS TÉCNICAS 4205. Ingeniería Civil y Arquitectura unidades de mampostería de arcilla cosida ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá: ICONTEC 1.997.

INSTITUTO COLOMBIANO DE TORMAS TÉCNICAS 4017. Ingeniería Civil y Arquitectura métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla cosida. Bogotá: ICONTEC 1.997.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Usos de agua y residuos líquidos. Decreto – Ley 1594 de 1.984.

M.Kornmann and CTTB, "Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties", Soc. Industries minières, Paris. 2.007.

OSORIO, Carlos. Muestreo de suelo. Universidad Nacional de Colombia. 2.006.

Página Web; [http:// www.Cundinamarca.gov.co](http://www.Cundinamarca.gov.co), 2.009.

Página Web;<http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/503pe/index.htm>,2.009.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Resolución 16395 de 2.004

RAIGOSA, Ricardo. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR) de la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de la Calera. 2.007. Trabajo de grado (Ingenieros Ambientales y Sanitarios). Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

ROMERO, Jairo Alberto, Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2002.

SÁNCHEZ, Calvo. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Mundial Prensa, Madrid. 1.999.

TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia, Mayo de 2000.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Tablas de conversión. Laboratorio de suelos 2.006.

# ANEXOS

## ANEXO A. CARACTERIZACIONES PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS EL ROSAL, BOJACÁ Y LA CALERA

### A.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Tabla 27. Valores de Caudal durante el periodo de muestreo PTAR Rosal

HORA	CAUDAL (L/s) - PTAR ROSAL								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.
07:00 a.m.	9,23	6,92	9,23	15,4	6,92	10,8	12,3	8,46	6,92
08:00 a.m.	9,23	6,92	9,23	12,3	12,3	10,8	12,3	9,23	6,92
09:00 a.m.	7,69	6,92	9,2	8,46	6,92	9,2	8,46	9,23	6,92
10:00 a.m.	7,69	6,92	9,23	9,23	6,92	9,23	9,22	9,23	6,92
11:00 a.m.	9,23	8,46	8,46	9,23	18,45	9,23	9,22	9,23	8,46
12:00 p.m.	15,4	18,4	9,23	18,5	21,53	18,5	18,4	18,45	18,4
01:00 p.m.	15,4	18,4	9,23	18,5	18,4	15,4	18,4	18,45	18,4
02:00 p.m.	11	18,4	9,23	16,8	18,4	12,3	16,6	16,8	18,4
03:00 p.m.	9,23	6,92	7,69	12,3	6,92	9,23	12,3	9,23	6,92
04:00 p.m.	9,23	6,92	7,69	9,23	10,76	9,23	9,22	9,23	6,92
05:00 p.m.	8,46	6,92	9,23	9,23	9,23	9,23	9,22	9,23	6,92
06:00 p.m.	8,46	6,92	9,23	9,23	9,23	9,23	9,22	9,23	6,92
07:00 p.m.	8,46	6,92	9,23	9,23	9,23	9,23	9,22	9,23	6,92
PROMEDIO	9,9	9,7	8,9	12,1	12	10,9	11,9	11,2	9,7

Fuente: Los Autores 2.009

Tabla 28. Valores de T durante el periodo de muestreo PTAR Rosal

HORA	T(°C) - PTAR ROSAL								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.
07:00 a.m.	11,5	17,1	17,0	10	15	19,6	10	18	10
08:00 a.m.	14,8	19,5	16,0	14,8	17	21	13	21	12
09:00 a.m.	16,7	17,4	17,0	18,9	20	19,9	18	20	19
10:00 a.m.	17,2	16,8	17,0	20,7	21	21,8	20	22	20
11:00 a.m.	18,5	15,9	17,0	22,9	23	23	22	24	23
12:00 p.m.	18,2	15,2	18,0	21	22,3	25	21	25	21
01:00 p.m.	20,7	18,4	19,0	22,5	22,8	23	22	23	23
02:00 p.m.	21	17,3	20,0	23	23,7	21	23	22	23
03:00 p.m.	21,7	17,8	21,0	22,8	23	20	21	20	23
04:00 p.m.	17,4	16,7	19,0	21,4	22,4	17,4	21	18	22
05:00 p.m.	16,7	16,8	17,0	16,8	15	16	16	16	17
06:00 p.m.	13,7	16,2	14,0	15,2	13	15	15	15	16
07:00 p.m.	11,4	17,4	13,0	12	12	12	12	12	12
PROMEDIO	16,9	17,1	17	18,6	19,2	19,6	18	19,7	18,5

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 29. Valores de pH durante el periodo de muestreo PTAR Rosal**

HORA	pH - PTAR ROSAL								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.
07:00 a.m.	7,3	7,5	7,6	7,6	7,5	7,5	7,4	7	7
08:00 a.m.	7,4	7,5	7,6	7,6	7,5	7,5	7,4	7	7
09:00 a.m.	7,4	7,6	7,7	7,7	7,7	7,6	7,5	7,1	7,1
10:00 a.m.	7,4	7,6	7,7	7,8	7,7	7,6	7,5	7,2	7,1
11:00 a.m.	7,5	7,7	7,8	7,8	7,7	7,6	7,6	7,3	7,1
12:00 p.m.	7,6	7,8	7,9	7,9	7,8	7,7	7,7	7,3	7,3
01:00 p.m.	7,6	7,8	7,9	7,9	7,8	7,7	7,7	7,3	7,3
02:00 p.m.	7,6	7,8	7,9	7,8	7,8	7,7	7,6	7,4	7,2
03:00 p.m.	7,6	7,7	7,8	7,8	7,7	7,7	7,6	7,4	7,2
04:00 p.m.	7,5	7,7	7,8	7,8	7,7	7,6	7,5	7,3	7,1
05:00 p.m.	7,4	7,7	7,7	7,7	7,6	7,5	7,5	7,3	7,1
06:00 p.m.	7,4	7,6	7,7	7,7	7,6	7,5	7,5	7,2	7
07:00 p.m.	7,4	7,6	7,7	7,7	7,6	7,5	7,5	7,3	7,1
PROMEDIO	7,5	7,7	7,8	7,8	7,7	7,6	7,5	7,2	7,1

Fuente: Los Autores 2.009

**Tabla 30. Valores de Caudal durante el periodo de muestreo PTAR Bojacá**

HORA	CAUDAL (L/s) - PTAR BOJACA								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S,Z,	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.
07:00 a.m.	5,39	4,99	4,55	8,4	7,95	6,04	5,79	5,39	4,7
08:00 a.m.	5,39	4,99	4,55	7,5	7,05	6,04	5,79	5,39	4,7
09:00 a.m.	5,79	5,39	5,52	6,62	6,2	6,04	6,2	5,79	4,7
10:00 a.m.	5,79	5,39	5,52	6,62	6,2	7,18	6,2	5,79	4,7
11:00 a.m.	6,62	6,20	5,52	7,5	6,62	7,18	6,62	6,62	5,52
12:00 p.m.	6,62	6,20	6,04	7,5	6,62	7,18	6,62	6,62	5,52
01:00 p.m.	6,62	6,20	5,52	7,5	6,62	6,04	5,79	5,79	5,52
02:00 p.m.	6,62	6,20	5,52	7,5	7,5	5,52	5,79	5,79	5,52
03:00 p.m.	6,62	6,20	5,52	6,62	6,2	5,02	3,54	3,2	4,11
04:00 p.m.	6,2	5,79	5,52	6,62	6,2	5,52	3,54	3,2	4,11
05:00 p.m.	6,2	5,79	4,55	6,62	6,62	5,02	3,54	3,2	4,11
06:00 p.m.	6,2	5,79	4,55	5,39	7,6	5,02	3,88	3,54	4,11
07:00 p.m.	6,2	5,79	4,55	7,5	7,6	4,55	4,2	3,88	4,11
PROMEDIO	6,2	6	5,2	7,1	6,8	5,9	5,2	5	4,7

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 31. Valores de T durante el periodo de muestreo PTAR Bojacá**

HORA	T(°C) - PTAR BOJACA								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.
07:00 a.m.	11	17	17	13	11	17	7	12	6,1
08:00 a.m.	14	18	14	15	14,8	19	9	15	8,4
09:00 a.m.	16	19	15	18	16	17	11	18,2	10,8
10:00 a.m.	17	18,8	17	21	17,2	16	14	21	12
11:00 a.m.	18	20	19	20	17	15	15	20	15
12:00 p.m.	22	21	21	19	18	15	18	19	18
01:00 p.m.	24	25	23	18	20,7	18	18	18	19
02:00 p.m.	23	23	22	17	21	17	22	17	20
03:00 p.m.	21	20	19	16	21,7	17	20	16	20
04:00 p.m.	18	17	18	14	17,4	16	17	14	18
05:00 p.m.	15	15,8	14	11	16	14	15	11	15
06:00 p.m.	13	12	13	9	13	12	12	9	12
07:00 p.m.	14	10,3	12	8	10	10	10	8	10
<b>PROMEDIO</b>	<b>17</b>	<b>18,2</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>16,4</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>15,2</b>	<b>14,18</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**Tabla 32. Valores de pH durante el periodo de muestreo PTAR Bojacá**

HORA	pH - PTAR BOJACA								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.	E.S.	S.Z.	S.S.
07:00 a.m.	7,4	7,6	7,3	6,8	7,1	6,8	6,9	6,8	6,6
08:00 a.m.	7,4	7,6	7,3	7	7,1	6,8	6,9	6,8	6,6
09:00 a.m.	7,4	7,6	7,3	7	7,1	6,8	7	6,8	6,6
10:00 a.m.	7,4	7,4	7,2	7,1	7,4	6,8	6,8	6,8	6,5
11:00 a.m.	7,4	7,4	7,2	7,1	7,2	7,2	6,9	7,2	6,5
12:00 p.m.	7,5	7,6	7,2	7,2	7,3	7,2	7	6,8	6,7
01:00 p.m.	7,4	7,6	7,1	7,2	7,5	6,8	7,1	6,8	6,6
02:00 p.m.	7,3	7,5	7,1	7,1	7,4	6,8	7,1	6,8	6,6
03:00 p.m.	7,3	7,5	7,1	7,1	7,2	6,8	7,1	6,8	6,5
04:00 p.m.	7,2	7,4	7,1	7	7,2	6,8	7,2	6,8	6,5
05:00 p.m.	7,2	7,4	7	7	7,2	6,9	7,3	6,9	6,4
06:00 p.m.	7,1	7,4	7	7	7,2	6,8	7,3	6,8	6,4
07:00 p.m.	7,1	7,4	7	7	7,2	6,8	7,3	6,7	6,4
<b>PROMEDIO</b>	<b>7,3</b>	<b>7,5</b>	<b>7,1</b>	<b>7,0</b>	<b>7,2</b>	<b>6,9</b>	<b>7,1</b>	<b>6,8</b>	<b>6,5</b>

Fuente: Los Autores 2.009



**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 33. Valores de Caudal durante el periodo de muestreo PTAR La Calera**

HORA	CAUDAL (L/s)- PTAR CALERA								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.SBR	S.S.	E.S.	S.SBR	S.S.	E.S.	S.SBR	S.S.
07:00 a.m.	21,1	18,5	18,50	20,3	20,3	19,2	20,3	20,3	18,8
08:00 a.m.	23,2	18,5	18,98	20,3	18,5	18,5	23,2	23,2	18,8
09:00 a.m.	23,2	18,5	19,19	18,5	18,5	15,8	23,2	23,2	22,4
10:00 a.m.	20,3	18,5	20,85	18,5	18,5	18,5	25,8	25,8	22,4
11:00 a.m.	18,5	20,3	23,20	20,3	23,2	18,5	25,8	25,8	26,8
12:00 p.m.	24,2	23,2	24,20	26,8	23,2	24,8	28,5	28,5	26,8
01:00 p.m.	24,2	23,2	24,20	24,2	23,2	24,8	28,5	28,5	26,8
02:00 p.m.	23,2	24,2	19,19	23,2	24,2	22,4	28,5	28,5	22,7
03:00 p.m.	20,3	23,2	18,98	23,2	23,2	21,8	25,8	23,2	22,4
04:00 p.m.	20,3	23,2	18,98	20,3	23,2	18,5	25,8	23,2	22,4
05:00 p.m.	18,5	18,5	19,98	20,3	20,3	18,5	25,8	20,3	22,7
06:00 p.m.	18,5	18,5	17,60	20,3	18,5	14,4	20,3	20,3	22,7
07:00 p.m.	18,5	18,5	17,60	20,3	18,5	14,4	20,3	20,3	18,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>21,1</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>21,3</b>	<b>21</b>	<b>19,2</b>	<b>24,8</b>	<b>23,9</b>	<b>22,7</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**Tabla 34. Valores de T durante el periodo de muestreo PTAR La Calera**

HORA	T(°C) - PTAR CALERA								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.SBR	S.S.	E.S.	S.SBR	S.S.	E.S.	S.SBR	S.S.
07:00 a.m.	12	15,8	13,4	17	18	17	7	13	11
08:00 a.m.	15	19	15	19	19	19	9	15	14
09:00 a.m.	18	17	18	17	18	17	11	18	16
10:00 a.m.	21	17	22	16	17	16	14	21	20
11:00 a.m.	20	15	20	15	15	18,2	15	19	20,8
12:00 p.m.	19	18	19	15	17	18	18	19	18
01:00 p.m.	18	18	18	18	21,7	20	18	18,2	17
02:00 p.m.	17	17	17	17	18	18	22	17	17
03:00 p.m.	16	17	16	17	18	17	20	16	15
04:00 p.m.	14	16	14	16	17	15	17	14	14
05:00 p.m.	11	14	11	14	15	14	15	11	11
06:00 p.m.	9	12	9	12	12	12	12	9	10
07:00 p.m.	8	10	8	10	11	10	10	8	9
<b>PROMEDIO</b>	<b>15</b>	<b>15,8</b>	<b>15,4</b>	<b>16</b>	<b>16,7</b>	<b>16,2</b>	<b>14</b>	<b>15,2</b>	<b>14,8</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 35. Valores de pH durante el periodo de muestreo PTAR La Calera**

HORA	pH - PTAR CALERA								
	MARZO			ABRIL			MAYO		
	E.S.	S.SBR	S.S.	E.S.	S.SBR	S.S.	E.S.	S.SBR	S.S.
07:00 a.m.	7,2	7,4	7,3	7,6	7,7	7,9	7	6,9	7
08:00 a.m.	7,2	7,4	7,3	7,6	7,7	7,9	7	6,9	7,3
09:00 a.m.	7,2	7,3	7,2	7,6	7,7	7,8	7,1	6,9	7,3
10:00 a.m.	7	7,1	7,2	7,6	7,8	7,8	7,1	7	7,2
11:00 a.m.	7	6,9	7,2	7,5	7,8	7,8	7,3	7,1	7,2
12:00 p.m.	7	7,2	7,3	7,4	7,7	7,9	7,3	7,1	7,2
01:00 p.m.	6,9	7,1	7,3	7,4	7,7	7,8	7,3	7	7,2
02:00 p.m.	6,9	7,1	7,2	7,4	7,7	7,8	7,1	7	7
03:00 p.m.	6,9	7,1	7,2	7,3	7,6	7,7	7,1	7	7
04:00 p.m.	6,8	7,1	7,1	7,3	7,6	7,7	7,1	7	6,8
05:00 p.m.	6,8	7,1	7,1	7,4	7,6	7,7	7,1	6,8	6,8
06:00 p.m.	6,7	7,3	7,1	7,4	7,6	7,7	7,1	6,8	6,8
07:00 p.m.	6,7	7,3	7,1	7,4	7,6	7,7	7,1	6,8	6,8
PROMEDIO	6,9	7,2	7,2	7,5	7,7	7,8	7,1	6,9	7,0

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 36. Parámetros fisicoquímicos evaluados del agua residual de las PTAR`s, El Rosal, Bojacá y La Calera**

PUNTO DE MUESTREO	PARAMETRO	PTAR ROSAL Nº1			PTAR BOJACA Nº2			PTAR CALERA Nº3		
		MARZO	ABRIL	MAYO	MARZO	ABRIL	MAYO	MARZO	ABRIL	MAYO
ENTRADA AL SISTEMA	Caudal (L/s)	9,9	12,1	11,8	6,2	7,1	5,2	21,1	21,3	24,8
	pH	7,5	7,8	7,5	7,3	7,0	7,1	6,9	7,5	7,1
	Temperatura(°C)	16,9	18,6	18,0	17,0	15,0	14,0	15,0	16,0	14,0
	Sólidos sedimentables(mL/L)	1,0	1,5	1,4	1,2	1,0	1,4	5,0	7,0	9,4
	Sólidos Suspendedos totales(mg/L)	410,0	460,0	520,0	660,0	680,0	520,0	742,0	876,0	1024,0
	DBO (mg/L)	455,0	693,0	920,0	612,0	541,0	480,0	443,0	574,0	627,0
	DQO (mg/L)	1025,0	1425,0	1680,0	1230,0	1390,0	1020,0	684,0	1390,0	945,0
	Grasas y aceites (mg/L)	7,6	11,4	8,4	17,4	25,3	18,4	24,4	28,1	22,7
SALIDA DE ZANJONES O SBR	Caudal (L/s)	9,7	12,0	11,2	6,0	6,8	5,0	21,0	21,0	23,9
	pH	7,7	7,7	7,2	7,5	7,2	6,8	7,2	7,7	6,9
	Temperatura(°C)	17,1	19,2	19,7	18,2	16,4	15,2	15,8	16,7	15,2
	Sólidos sedimentables (mL/L)	550,0	483,0	528,0	320,0	450,0	385,0	290,0	390,0	410,0
	Sólidos Suspendedos totales(mg/L)	141,0	191,0	218,0	580,0	420,0	380,0	840,0	752,0	1680,0
	DBO(mg/L)	105,0	127,0	180,0	412,0	365,0	274,0	180,0	320,0	430,0
	DQO(mg/L)	187,0	198,0	294,0	718,0	512,0	540,0	420,0	510,0	1020,0
	Grasas y Aceites(mg/L)	6,4	8,6	7,2	16,9	20,0	14,8	17,8	22,3	19,4
SALIDA DEL SISTEMA	Caudal(L/s)	8,9	10,9	9,7	5,2	5,9	4,7	20,0	19,2	22,7
	pH	7,8	7,6	7,1	7,1	6,9	6,5	7,2	7,8	7,0
	Temperatura(°C)	17,3	19,6	18,5	17,0	16,0	14,2	15,4	16,2	14,8
	Sólidos sedimentables(mL/L)	0,4	0,7	0,3	0,8	0,5	1,0	3,7	5,2	6,8
	Sólidos Suspendedos totales(mg/L)	41,7	57,0	80,0	180,0	214,0	123,0	312,4	278,0	430,7
	DBO(mg/L)	64,0	87,0	110,0	174,0	106,0	117,0	134,0	215,0	226,0
	DQO(mg/L)	108,0	134,0	188,0	248,0	140,0	264,0	216,0	321,0	358,0
	Grasas y aceites(mg/L)	5,2	6,8	6,4	12,6	17,4	12,8	15,8	19,7	18,3

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 37. Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos evaluados del agua residual de las PTAR's, El Rosal, Bojacá y La Calera**

PUNTO DE MUESTREO	PARAMETRO	PROMEDIO		
		ROSAL	BOJACA	CALERA
ENTRADA AL SISTEMA	Caudal (L/s)	11,3	6,2	22,4
	pH	7,6	7,1	7,2
	Temperatura(°C)	17,8	15,3	15,0
	Sólidos sedimentables(mL/L)	1,3	1,2	7,1
	Sólidos Suspendidos totales(mg/L)	463,3	620,0	880,7
	DBO (mg/L)	689,3	544,3	548,0
	DQO (mg/L)	1376,7	1213,3	1006,3
	Grasas y aceites (mg/L)	9,1	20,4	25,1
SALIDA DE ZANJONES O SBR	Caudal (L/s)	11,0	5,9	22,0
	pH	7,5	7,2	7,2
	Temperatura(°C)	18,7	16,6	15,9
	Sólidos sedimentables (mL/L)	520,3	385,0	363,3
	Sólidos Suspendidos totales(mg/L)	183,3	460,0	1090,7
	DBO(mg/L)	137,3	350,3	310,0
	DQO(mg/L)	226,3	590,0	650,0
	Grasas y Aceites(mg/L)	7,4	17,2	19,8
SALIDA DEL SISTEMA	Caudal(L/s)	9,8	5,3	20,6
	pH	7,5	6,8	7,3
	Temperatura(°C)	18,5	15,7	15,5
	Sólidos sedimentables(mL/L)	0,5	0,8	5,2
	Sólidos Suspendidos totales(mg/L)	59,6	172,3	340,4
	DBO(mg/L)	87,0	132,3	191,7
	DQO(mg/L)	143,3	217,3	298,3
	Grasas y aceites(mg/L)	6,1	14,3	17,9

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 38. Parámetros fisicoquímicos evaluados de los Lodos secundarios de las PTAR's, El Rosal, Bojacá y La Calera**

		ROSAL			BOJACA			CALERA		
		JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
LODOS B.S.	DBO(mg/L)	110	85	97,8	92	108	97,4	138	232	180,4
	DQO(mg/L)	186	120	174	122	176	210	294	360	317
	Sólidos Suspendidos totales(mg/L)	4,35	3,40	2,70	0,79	4,30	2,40	16,70	22,40	19,64
	Grasas y aceites(mg/L)	0,56	0,72	0,41	0,20	0,87	0,70	0,22	1,32	0,87
	pH	7,40	7,10	6,90	6,85	7,20	7,00	7,70	7,50	7
	Contenido de Humedad %	9,14	12,70	8,60	1,34	2,80	1,42	1,58	2,40	1,7
	Contenido de Cenizas %	0,10	0,17	0,12	0,10	0,08	0,14	0,09	0,06	0,12
LODOS B.S.	Arsenico(mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cadmio(mg/kg)	0,029	0,041	0,038	0,026	0,210	0,068	0,036	0,02	0,08
	Cromo(mg/kg)	2	0,5	1,3	3	2,8	1,8	5	4	6,4
	Cobre(mg/kg)	34	16	24	24	28	37	45	36	27
	Mercurio(mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Niquel(mg/kg)	0,12	0,22	1,20	0,069	0,08	0,10	0,066	0,02	0,08
	Plomo(mg/kg)	0,20	0,05	0,02	0,17	0,31	0,26	0,17	0,28	0,67
	Selenio(mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: Los Autores 2.009

## A.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y METALES PESADOS LODO SECUNDARIO

Tabla 39. Valores promedios de los parámetros físicoquímicos evaluados de los Lodos secundarios de las PTAR's, El Rosal, Bojacá y La Calera

PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS		PROMEDIO		
		ROSAL	BOJACA	CALERA
LODOS B.S.	DBO(mg/L)	97,60	99,13	183,47
	DQO(mg/L)	160,00	169,33	323,67
	Sólidos Suspendidos totales(mg/L)	3480	2500	19580
	Grasas y aceites(mg/L)	0,56	0,59	0,80
	pH	7,13	7,02	7,40
	Contenido de Humedad %	10,15	1,85	1,89
	Contenido de Cenizas %	0,13	0,11	0,09
PARAMETROS DE METALES PESADOS		PROMEDIO		
		ROSAL	BOJACA	CALERA
LODOS B.S.	Arsenico(mg/kg)	ND	ND	ND
	Cromo(mg/kg)	1,27	2,53	5,13
	Cobre(mg/kg)	24,67	29,67	36,00
	Mercurio(mg/kg)	ND	ND	ND
	Cadmio(mg/kg)	0,04	0,10	0,05
	Niquel(mg/kg)	0,51	0,08	0,06
	Plomo(mg/kg)	0,09	0,25	0,37
	Selenio(mg/kg)	ND	ND	ND
PARAMETRO MICROBIOLÓGICOS		PROMEDIO		
		ROSAL	BOJACA	CALERA
LODOS B.S.	Salmonella(NMP/gr)	Ausente	Ausente	Ausente
	Coliformes Fecales(NMP/gr)	Ausente	Ausente	Ausente
	Escherichia coli	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: Los Autores 2.009

**ANEXO B. NORMA EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: USO Y DISPOSICIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS**

***Parámetros Físicoquímicos para los Biosólidos Categoría A.***

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de Referencia</b>
Contenido de Humedad (%)	< 35,0
Contenido de Cenizas (%)	≤ 60,0
Contenido de Carbono Orgánico Oxidable Total (%)	> 15,0
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	> 30,0
Capacidad de Retención de Humedad (%)	> 100,0
pH (Unidades)	5,0 < pH < 9,0
Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> Base Seca)	< 0,6
N total, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O (%)	Declararlos si cada uno es > 1,0

***Parámetros de Metales Pesados para los Biosólidos Categoría A***

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de Referencia Máximo (mg/Kg. de Biosólido Base Seca)</b>
Arsénico (As)	41,0
Cadmio (Cd)	39,0
Cromo (Cr)	1.200,0
Mercurio (Hg)	17,0
Níquel (Ni)	420,0
Plomo (Pb)	300,0
Selenio (Se)	36,0

***Parámetros Microbiológicos para los Biosólidos Categoría A.***

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de Referencia</b>
<i>Salmonella sp.</i>	< 3 NMP/ g de muestra de producto final (En base seca)
Coliformes Fecales	< 1,00 E(+3) NMP/g – UFC/g de producto final (En base seca)
Huevos de Helmintos	< 1 Huevo de Helminto Viable/4 g de muestra de producto final (En base seca)

**Parámetros Fisicoquímicos para los Biosólidos Categoría B.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de Referencia</b>
Contenido de humedad (%)	≤ 70,0
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	> 20,0
Capacidad de retención de humedad (%)	> 100,0
pH (Unidades)	4,0 < pH < 9,0
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> Base Seca)	< 0,6

**Parámetros de Metales Pesados para los Biosólidos Categoría B.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de Referencia Máximo (mg/Kg. de Biosólido Base Seca)</b>
Arsénico (As)	75,0
Cadmio (Cd)	85,0
Cromo (Cr)	3.000,0
Mercurio (Hg)	57,0
Níquel (Ni)	420,0
Plomo (Pb)	840,0
Selenio (Se)	100,0

**Parámetros Microbiológicos para los Biosólidos Categoría B.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de Referencia</b>
<i>Salmonella sp.</i>	≤ 300 NMP /g de muestra de producto final (En base seca)
Coliformes Fecales	< 2.00 E(+6) NMP/g - UFC/g de muestra de producto final (En base seca)



## **ANEXO C. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA FINCA AGUA PUCHA II**

**Fotografía 14. Localización del suelo (Blanco).**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 15. Finca Aguapucha II.**



Fuente: Los Autores 2.009

## **ANEXO D. REGISTRO FOTOGRÁFICO LADRILLERA SUPERIOR**

**Fotografía 16. Ladrillera Superior.**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 17. Etapa de Trituración de la arcilla.**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 18. Etapa de Mezcla de la Arcilla.**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 19. Etapa de Prensado del Ladrillo crudo**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 20. Etapa de Corte del Ladrillo crudo.**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 21. Patio de secado.**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 22. Etapa de Cocción.**



Fuente: Los Autores 2.009

**Fotografía 23. Producto Final.**



Fuente: Los Autores 2.009

### ANEXO E. RESOLUCIÓN 16395 DE 2.004

**Resolución 16395 del 21 de julio de 2004**

Acreditado por la Superintendencia de Industria y Comercio, conforme a los criterios establecidos en los documentos Decreto 2269 de 1993 y Resolución 8728 de 2001 (norma ISO/IEC 17025:1999, NTC - ISO/IEC 17025:2001), la cual fue incorporada en la Circular Única Título V, para realizar los siguientes ensayos:

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	TIPO DE ENSAYO PROPIEDADES MEDIBLES RANGO DE MEDIDA	NORMA TÉCNICA O ESPECIFICACIÓN UTILIZADA
Unidades de mampostería de arcilla	Compresión de Unidades de Mampostería (Unidades Perforadas o Ladrillo Macizo) Rango: 0 – 50 MPa (500 kg/cm <sup>2</sup> )	NTC 4017-97
Unidades de mampostería de arcilla	Flexión en unidades de Mampostería Rango: 0 – 20 MPa (200kg/cm <sup>2</sup> ).	NTC 4017-97
Unidades de mampostería de arcilla	Absorción en frío de Unidades de Mampostería Rango: 0 - 30%	NTC 4017-97
Unidades de mampostería de arcilla	Coefficiente de Saturación de Unidades de Mampostería	NTC 4017-97
Unidades de mampostería de arcilla	Tasa Inicial de Absorción de Unidades de Mampostería Rango: 0 - 30%.	NTC 4017-97
Varillas de acero	Tensión en varillas corrugadas Rango: 0 - 1.0 GPa (10000 kg/cm <sup>2</sup> )	NTC 2289-00 NTC 3353
Varillas de acero	Tensión en varillas lisas Rango: 0 - 1.0 GPa (10000 kg/cm <sup>2</sup> )	NTC 2-95
Varillas de acero	Doblamiento en Varillas - Ensayo Cualitativo Rango: Varillas desde #4 a #10 (1/2" - 1 1/4")	NTC 1 - 72
Concreto	Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Rango: 0 – 55 MPa (550 kg/cm <sup>2</sup> )	NTC 873-94
Concreto	Resistencia a la flexión del concreto (Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz) Rango: 0 - 5.0 MPa (50 kg/cm <sup>2</sup> )	INV E 414 - 98
Concreto	Resistencia a la flexión del concreto (Método de la viga simple cargada en el punto central) Rango: 0 - 5.0 MPa (50 kg/cm <sup>2</sup> )	INV E 415-98

Fuente. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

**ANEXO F. NORMA NTC-4017: MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA**

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA    NTC 4017

---

INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE  
UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA

**1. OBJETO**

**1.1** Esta norma cubre los procedimientos de muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla. Los ensayos incluyen módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, efecto de congelamiento y descongelamiento, eflorescencia, tasa inicial de absorción y determinación de la masa, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones y análisis térmico-diferencial, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades.

**1.2** Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias.

**1.3** Los valores se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (véase la NTC 1000 (ISO 1000)).

**2. TERMINOLOGÍA**

**2.1 DEFINICIONES**

Las definiciones presentadas en las normas ASTM E 6 y NTC 4051 se consideran aplicables a esta norma.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017**

**3.2 NÚMERO DE ESPÉCIMENES**

Las muestras deben ser escogidas aleatoriamente de cada lote de las unidades de mampostería, constituidos por 100 000 unidades o remanentes superiores a 50 000 unidades, o por la totalidad del despacho o producción cuando ésta sea inferior a 50 000 unidades. De cada lote se deben extraer 10 muestras para la evaluación de medidas, color y defectos superficiales, las mismas que luego se deben usarse en dos grupos de cinco unidades para los ensayos de absorción y resistencia a la compresión.

**3.3 IDENTIFICACIÓN**

Cada espécimen debe estar marcado de tal manera que se pueda identificar en cualquier momento. Estas marcas no deben cubrir más del 5 % del área superficial del espécimen.

**3.4 ELIMINACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE SILICONA DE LOS LADRILLOS**

Los recubrimientos de silicona que se van a retirar mediante este procedimiento, pueden ser compuestos poliméricos orgánicos de silicona para ladrillos, empleados como recubrimientos resistentes al agua.

Se calientan los ladrillos a  $510\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una atmósfera oxidante, por un periodo no inferior a 3 h. La tasa de calentamiento y enfriamiento no debe exceder los  $149\text{ }^{\circ}\text{C}$  por hora.

**4. DETERMINACIÓN DE LA MASA**

Para la determinación de la masa se debe tener en cuenta la eliminación de los eventuales recubrimientos y contenidos de silicona en los ladrillos, como lo indica el numeral 3.4

**4.1 SECADO**

Los especímenes se secan entre  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en un horno ventilado, durante 24 h y hasta que en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 h, no se presente ninguna pérdida de masa superior al 0,2 % del último peso del espécimen determinado previamente.

**4.2 ENFRIAMIENTO**

Después del secado, se enfrían los especímenes en una cámara que se mantiene a una temperatura de  $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa entre el 30 % y 70 %. Se almacenan las unidades separadas entre sí, durante un periodo de 4 h. Para los ensayos que requieran unidades secas, no se deben utilizar especímenes notablemente cálido al tacto.

Un método alternativo para enfriar los especímenes hasta una temperatura ambiente aproximada, puede ser el siguiente: En un cuarto ventilado se almacenan las unidades, sin estacas, separadas entre sí, durante 4 h, con una corriente de aire proveniente de un ventilador eléctrico que opera mínimo por 2 h.

**4.3 CÁLCULOS E INFORMES**

Los resultados se registran separadamente para cada unidad, junto con el promedio de cinco unidades o más.



**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017**

**5. MÓDULO DE ROTURA (ENSAYO DE FLEXIÓN)**

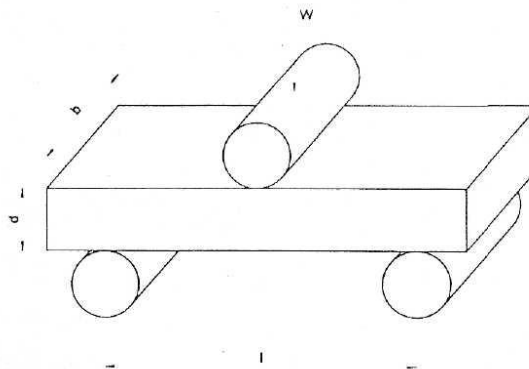
**5.1 ESPECÍMENES DE ENSAYO**

Los especímenes de ensayo deben ser cinco unidades completas y secas; (véase el numeral 4.2)

**5.2 PROCEDIMIENTO**

**5.2.1** Se coloca el espécimen con el lado plano hacia abajo, a menos que se especifique y se informe algo diferente (es decir, se aplica la carga en la dirección de la profundidad de la unidad), en una luz de aproximadamente 25 mm menos con respecto a la longitud de la unidad básica y se carga en la mitad de la luz (véase la Figura 1). Si los especímenes tienen depresiones o ranuras, se colocan de tal manera que estas depresiones o ranuras queden colocadas en el lado de compresión. La carga se aplica a la superficie superior del espécimen mediante una placa de apoyo de acero de 6,0 mm de espesor y 38,0 mm de ancho; su longitud debe ser como mínimo igual al ancho del espécimen.

**5.2.2** Es necesario cerciorarse de que los soportes del espécimen están libres para rotar en dirección longitudinal y transversal a éste y se deben ajustar de manera que no ejerzan fuerza en estas direcciones.



Donde:

- $W$  = carga aplicada, en N
- $l$  = distancia entre los soportes de apoyo, en mm
- $b$  y  $d$  = ancho y alto respectivamente, en mm

Figura 1. Diagrama del montaje módulo de rotura

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017**

**5.2.3 Velocidad del ensayo**

La velocidad de carga no debe exceder los 8 900 N/min; sin embargo, se puede considerar que este requisito se cumple, si la velocidad de la cabeza móvil, antes de la aplicación de la carga, es inferior a 1,3 mm/min.

**5.3 CÁLCULOS E INFORMES**

**5.3.1** El módulo de rotura de cada espécimen se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Módulo de rotura, MR} = \frac{W \times L \times Z}{4 \times I}$$

Donde:

- MR = módulo de rotura en la mitad de la luz, en kgf/cm<sup>2</sup>, ó Pa x 10<sup>4</sup>
- W = carga máxima indicada por la máquina de ensayo (carga de rotura) en kgf o N
- L = distancia entre los soportes de apoyo, en mm
- Z = distancia del eje neutro a la cara más alejada, en mm
- I = momento de inercia de la sección, en cm<sup>4</sup>

**5.3.2** El promedio de las determinaciones del módulo de rotura de todos los especímenes ensayados, se informa como el módulo de rotura del lote.

**6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**6.1 ESPECÍMENES DE ENSAYO**

**6.1.1 Ladrillos macizos**

Los especímenes de ensayo deben ser mitades de ladrillos secos (véase los numerales 4.1 y 4.2), con la altura y ancho de la unidad completa, mientras que su longitud debe ser igual a la mitad de la longitud de la unidad, ± 25 mm excepto como se describe más adelante. Si el espécimen de ensayo descrito arriba excede la capacidad de la máquina de ensayo, entonces debe estar conformado por piezas de ladrillo secas, con la altura y ancho de la unidad, con una longitud no inferior a 1/4 de la longitud total de la unidad, y un área de sección transversal total, perpendicular a la carga, de mínimo 90 cm<sup>2</sup>. Los especímenes de ensayo se deben obtener por cualquier método que produzca un elemento de extremos aproximadamente planos y paralelos, sin rajaduras ni grietas. Se deben ensayar cinco especímenes.

**6.1.2 Unidades perforadas**

Se ensayan cinco especímenes en una superficie de apoyo de longitud igual a su ancho, ± 25 mm, ó se ensayan unidades completas.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017**

**6.2 PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO**

**6.2.1** Todos los especímenes de ensayo deben estar secos y fríos, como se especifica en los numerales 4.1 y 4.2, antes de que se lleve a cabo alguna parte del procedimiento de refrentado.

**6.2.2** Si la superficie de soporte para el ensayo de compresión presenta espacios salientes, se nivela con mortero, compuesto de una parte por peso de cemento de endurecimiento rápido, de acuerdo con los requisitos para cemento Tipo III, de la NTC 121 (ASTM C150) y dos partes por peso de arena. Los especímenes deben tener por lo menos 48 h antes del refrentado. Cuando las depresiones superan los 12 mm, se usa una parte de un ladrillo, bloque o lámina metálica como relleno. Los especímenes de ensayo se refrentan utilizando uno de los dos procedimientos descritos en los numerales 6.2.3 y 6.2.4.

**6.2.3 Refrentado de yeso**

Se cubren con laca las dos superficies opuestas de carga de cada espécimen y se dejan secar bien. Se asienta una de las capas con laca seca sobre una pasta de yeso calcinado (yeso de Paris), extendida en una superficie engrasada no absorbente, como vidrio o metal maquinado. La superficie de vaciado debe ser plana, con una tolerancia de 0,1 mm en 400 mm y suficientemente rígida; debe estar apoyada de tal manera que no se flexione considerablemente durante la operación de refrentado. Se aplica ligeramente una capa de aceite u otro material adecuado y se repite este procedimiento con la otra superficie lacada. Es necesario prestar atención con relación a que las superficies opuestas así formadas, sean aproximadamente paralelas y perpendiculares al eje vertical del espécimen, y que el espesor de los refrentados sea aproximadamente el mismo y no exceda los 3,0 mm. Los refrentados se envejecen mínimo 24 h antes de ensayar los especímenes.

**6.2.4 Refrentado de relleno de azufre**

Se usa una mezcla que contenga entre 40 % y 60 % de azufre en peso. El resto del material se compone de arcilla refractaria u otro material inerte adecuado que pase por un tamiz No. 100 (150  $\mu$ m), o un material sin plastificante. Los requisitos que se aplican a la superficie de vaciado son los mismos del numeral 6.2.3. Se colocan cuatro barras de acero de 25 mm x 25 mm en la placa, para formar un molde rectangular aproximadamente de 12 mm; cualquiera de las dimensiones internas del molde debe ser mayor que la del espécimen. Se calienta la mezcla de azufre en un recipiente de calentamiento controlado termostáticamente, a una temperatura suficiente para mantener la fluidez durante un período de tiempo razonable después del contacto con la superficie que se está recubriendo. Se debe evitar el sobrecalentamiento y se debe revolver el líquido del recipiente antes de su uso. Se llena el molde a una profundidad de 6,0 mm con material de azufre derretido. Rápidamente, se coloca sobre el líquido la superficie de la unidad que se va a refrentar, y se sostiene el espécimen de manera que su eje vertical esté en ángulo recto sobre la superficie de refrentado. El espesor de los refrentados debe ser aproximadamente el mismo. Se deja la unidad en reposo hasta que la solidificación sea completa. Se deja que los refrentados se enfrien mínimo 2 h, antes de ensayar los especímenes.

**6.3 PROCEDIMIENTO**

**6.3.1** Los especímenes se ensayan en una posición tal, que la carga se aplique en la misma dirección en que va a estar expuesto en servicio. Se centran los especímenes bajo el soporte superior esférico, a una distancia de 1,6 mm.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4017**

**6.3.3** El soporte superior debe ser un bloque metálico endurecido, ajustado firmemente al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe colocarse en el centro de la superficie del bloque que está en contacto con el espécimen y firmemente colocado en su asiento esférico, pero libre para girar en cualquier dirección; debe haber una luz mínima de 6,0 mm entre su perímetro y la cabeza, de manera que el basculamiento admita la entrada de piezas cuyas caras no son absolutamente paralelas. El diámetro de la superficie de soporte debe ser como mínimo de 127,00 mm. Debajo del espécimen se utiliza un bloque de metal endurecido, para minimizar el desgaste de la platina inferior de la máquina. Las superficies del bloque de soporte que van a estar en contacto con el espécimen, deben tener una dureza no inferior a HRC60 (HB 620). Estas superficies no se pueden desviar más de 0,03 mm. Cuando el área de soporte del bloque esférico no cubre lo suficiente el espécimen, se coloca una placa de acero con las superficies maquinadas, planas, y una tolerancia de 0,03 mm, y un espesor igual al menos a 1/3 parte de la distancia desde el borde del soporte esférico a la esquina cubierta más lejana entre el bloque de soporte esférico y el espécimen refrendado.

**6.3.4 Velocidad del ensayo**

Se aplica la carga hasta la mitad de la máxima esperada, a una velocidad adecuada; después de esto se ajustan los controles de la máquina, de manera que la carga restante se aplique a una velocidad uniforme durante no menos de 1 min ni más de 2 min.

**6.4 CÁLCULOS E INFORMES**

**6.4.1** La resistencia a la compresión de cada espécimen se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

Donde:

- C = resistencia del espécimen a la compresión, en kgf/cm<sup>2</sup> ó Pa x 10<sup>4</sup>
- W = carga máxima (de rotura), en kgf o N, indicada por la máquina de ensayo,
- A = promedio del área total de las superficies de soporte superior e inferior, en cm<sup>2</sup>.

Nota 1. En los ladrillos huecos de perforación vertical, se usa tanto el valor del área neta como de área bruta, para expresar las resistencias correspondientes.

**7. ABSORCIÓN DE AGUA**

**7.1 EXACTITUD DE LOS PESAJES**

La báscula o balanza usada debe tener una capacidad no inferior a 2 000 g, y debe ser sensible a 0,5 g.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA      NTC 4017**

**7.2      ESPECÍMENES DE ENSAYO**

**7.2.1    Ladrillos macizos**

Los especímenes de ensayo deben estar compuestos de medio ladrillo que cumpla los requisitos del numeral 6.1.1. Se deben ensayar cinco especímenes.

**7.2.2    Unidades perforadas**

Los especímenes para el ensayo de absorción deben estar compuestos por cinco unidades o tres partes o fragmentos representativos de cada una de ellas. Si se usan piezas pequeñas, se toman dos de las paredes y una del núcleo. El peso de cada pieza no debe ser inferior a 250 g. Los bordes de los especímenes deben estar libres de partículas sueltas; si se han tomado de bloques que se han sometido a ensayos de resistencia a la compresión, los especímenes deben estar libres de grietas debidas a fallas en la compresión.

**7.3      ENSAYO DE INMERSIÓN DURANTE 24 h**

**7.3.1    Procedimiento**

7.3.1.1 Se secan y enfrían los especímenes de ensayo, de acuerdo con los numerales 4.1 y 4.2. Se pesa cada uno.

7.3.1.2 Saturación. Se sumergen los especímenes secos y fríos, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia (blanda, destilada o de lluvia) entre 15,5 °C y 30 °C durante 24 h. Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa. El pesaje de cada espécimen se debe hacer antes de que pasen 5 min de retirado del agua.

**7.3.2    Cálculos e informes**

7.3.2.1 La absorción de cada espécimen se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 \times (W_s - W_d)}{W_d}$$

Donde:


$W_d$  = peso del espécimen seco

$W_s$  = peso del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría

7.3.2.2 La absorción promedio de todos los especímenes ensayados se registra como la absorción del lote.

## ANEXO G. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE MACRONUTRIENTES

### Metodología para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S003
			Versión 01		Página 1 de 4

#### 1. ALCANCE

Este procedimiento tiene por objeto definir las condiciones para la medición de la capacidad de intercambio catiónico en muestras de suelo, por el método del acetato de amonio 1M a pH 7. Este método se recomienda para suelos con pH mayor de 5.5.


#### 2. PRINCIPIO

El método se basa en la saturación de los sitios de intercambio con el ion amonio mediante la aplicación a la muestra de un exceso de acetato de amonio. Las bases resultan desplazadas con el amonio, pudiendo ser determinadas en el extracto por Absorción Atómica. Posteriormente la muestra es lavada con etanol para eliminar el exceso de amonio no intercambiado presente en el suelo. El  $\text{NH}_4^+$  que ocupa los sitios de cambio es reemplazado luego por  $\text{Na}^+$  mediante lavado de la muestra con una solución de cloruro de sodio al 10%. Finalmente a la solución extraída se le adiciona formaldehído que reacciona con el cloruro de amonio formado para producir ácido clorhídrico, el cual es valorado por titulación con hidróxido de sodio.

#### 3. MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza electrónica con resolución de 0.01 g
- Frascos plásticos de 100 ml de boca ancha, tapa rosca y cierre hermético
- Dispensador de volumen variable de 10 a 25 ml
- Agitador mecánico
- Bomba para filtración al vacío
- Erlenmeyer de 250 mL con desprendimiento lateral
- Embudos Buchner de porcelana o polipropileno de 7 cm de diámetro
- Papel filtro cualitativo de 7 cm de diámetro
- Balones volumétricos de 250 ml de capacidad
- Bureta con resolución de 0.05 ml
- Agitador magnético

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ</p>	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S003
			Versión 01		Página 2 de 4


#### 4. REACTIVOS

- **Acetato de amonio 1N pH 7.0:** Pese 77.08 g de acetato de amonio R.A. y disuelva en 900 mL de agua destilada. Ajuste el pH a 7.0 empleando ácido acético o hidróxido de amonio según sea el caso. Lleve a volumen de 1 L con agua destilada.
- **Etanol al 95% grado técnico.**
- **Oxido de lantano al 10%:** Pese 100 g de óxido de lantano R.A. y disuelva en 500 mL de agua destilada. En la cabina extractara de gases agregue lentamente 250 mL de ácido clorhídrico concentrado agitando continuamente. Cuando se haya disuelto completamente el óxido de lantano y la solución se haya enfriado, lleve a volumen de 1 L con agua destilada.
- **Cloruro de sodio al 10%:** Pese 100 g de cloruro de sodio R.A. y disuelva en 500 mL de agua destilada, lleve a un volumen de un 1 L con agua destilada.
- **Formaldehido (CH<sub>2</sub>O) al 37% R.A.**
- **Hidróxido de sodio 0.1N:** Pese 4.00 g de hidróxido de sodio R.A. y disuelva en 500 mL de agua destilada, lleve a un volumen de 1L en balón aforado. Para calcular la CIC se debe conocer la concentración exacta de la solución por lo cual se debe estandarizar semanalmente con biftalato de potasio, la cual debe ser igual o cercana a 0.1 N
- **Fenolftaleína al 0.5%:** Disuelva 1.25 g de fenolftaleína en 125 mL de alcohol etílico o isopropílico y 125 mL de agua destilada, luego agregue gota a gota y con agitación NaOH 0.02N hasta la aparición de un color rosado pálido.

#### 5. PROCEDIMIENTO


El procedimiento que se describirá a continuación debe efectuarse también con la muestra de control interno "Caldas" con el fin de verificar el método.

- Pese 5.00 g de muestra previamente secada y tamizada (ver POE-S001 Preparación de la muestra de suelo), en un frasco plástico de 100 mL
- Agregue 25 mL de acetato de amonio 1N a pH 7.0 y agite mecánicamente durante 15 minutos.
- Para continuar con la determinación de la CIC, lave bien el Erlenmeyer de 250 mL con agua corriente y enjuague tres veces con agua destilada. Instale nuevamente el embudo con la muestra en el Erlenmeyer, aplique vacío y lave con cinco porciones de 10 mL de etanol al 95%, permitiendo cada vez que el etanol se filtre casi completamente, sin dejar secar el suelo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S003
			Versión 01		Página 3 de 4

- Coloque el embudo Buchner en un Erlenmeyer de 250 mL con desprendimiento lateral y conecte a la línea de vacío. Filtre al vacío el extracto a través de un papel filtro en el embudo y luego lave el suelo tres veces con porciones de 10 mL de acetato de amonio 1M pH 7.0, permitiendo cada vez que la solución extractora se filtre casi completamente sin dejar secar el suelo ni el papel filtro.
- Si va a realizar la determinación de los cationes Ca, Mg, Na, K, pase cuantitativamente el filtrado obtenido a un balón aforado de 250 mL. Agregue 2.5 mL de óxido de lantano al 10%, lleve a volumen con agua destilada y homogenice la solución. Guarde esta solución para la terminación de las bases intercambiables por absorción atómica (ver POE-5004 Cationes intercambiable).
- Para continuar con la determinación de la CIC, lave bien el Erlenmeyer de 250 mL con agua corriente y enjuague tres veces con agua destilada. Instale nuevamente el embudo con la muestra en el Erlenmeyer, aplique vacío y lave con cinco porciones de 10 mL de etanol al 95%, permitiendo cada vez que el etanol se filtre casi completamente, sin dejar secar el suelo.
- Recoja el alcohol filtrado en un recipiente dispuesto para tal fin, el cual será recuperado
- Lave nuevamente el Erlenmeyer de 250 mL con agua corriente y enjuague tres veces con agua destilada. Instale el embudo con la muestra en el Erlenmeyer, aplique vacío y lave con cinco porciones de 10 mL de cloruro de sodio al 10%, permitiendo que cada porción adicionada se filtre completamente.
- Agregue 5 mL de formaldehido al 37% y cinco gotas de fenolftaleína al filtrado recogido en el Erlenmeyer.
- Titule lentamente con el hidróxido de sodio normalizado, hasta que el extracto vire de transparente a rosa pálido. El color debe permanecer por lo menos 30 segundos. Registre en el FOE-013 (Capacidad de intercambio cationico en suelos) la normalidad y el volumen del hidróxido de sodio gastado en la titulación.
- Titule con el hidróxido de sodio normalizado un blanco compuesto por 50 mL de cloruro de sodio al 10%, 5 mL de formaldehido y 5 gotas de fenolftaleína. Registre el volumen gastado de NaOH en el FOE 013 (Capacidad de intercambio cationico en suelos)



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S003
		Versión 01		Página 4 de 4

## 6. CÁLCULOS

La capacidad de intercambio catiónico de la muestra en  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  es igual a:

$$\text{CIC} = \frac{[\text{NaOH}] \times (V_{\text{NaOH}} - V_{\text{Bk}}) \times 0.1}{\text{PM}}$$

Donde:

[NaOH]: Concentración del hidróxido de sodio ( $\text{mmol}_c/\text{mL}$ )

$V_{\text{NaOH}}$ : Volumen gastado de hidróxido de sodio en la titulación (mL)

$V_{\text{BK}}$ : Volumen gastado por el blanco (mL)

PM: Peso de la muestra en kg

0,1: Factor de conversión de  $\text{mmol}_c$  a  $\text{cmol}_c$


## 7. PARÁMETROS DE CALIDAD

Verifique que el valor de CIC obtenido para la muestra de control interno "Caldas" esté dentro de los límites de advertencia.

- POE-S001 Preparación de la muestra
- FOE-013 Capacidad de intercambio catiónico en suelos
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Sexta edición. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, 2006. 674 p.
- Ramírez, K. Validación de las determinaciones de acidez y cationes de cambio en suelos con fines agrícolas. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá, 2004. 130 p.
- Torres, L. G. Evaluación e implementación de dos métodos para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico de suelos. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá, 2004. 109 p.

Elaborado por  ALEXANDER NIEVES Técnico operativo	Revisado por  MARTHA C. HENAO Directora Laboratorio
------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

## Metodología para determinar los Cationes Intercambiables.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>CATIONES INTERCAMBIABLES</b> <b>Ca, Mg, K y Na</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S004
			Versión 01		Página 1 de 3

### 1. ALCANCE

Este procedimiento tiene por objeto definir las condiciones para la cuantificación de los cationes intercambiables calcio, magnesio, sodio y potasio en muestras de suelo, extraídas por el método del acetato de amonio 1N a pH 7.

### 2. PRINCIPIO

El método se basa en la saturación de los sitios de cambio con el ion amonio mediante la aplicación al suelo de un exceso de acetato de amonio. Las bases resultan desplazadas con el amonio, pudiendo ser determinadas en el extracto por Absorción Atómica,


### 3. MATERIALES Y EQUIPOS

Espectrofotómetro de Absorción Atómica

### 4. REACTIVOS

- **Acetato de amonio 1N pH 7.0:** Pese 77,08 g de acetato de amonio R.A. y disuelva en 900 mL de agua destilada. Ajuste el pH a 7.0 empleando ácido acético o hidróxido de amonio según sea el caso. Lleve a volumen de 1 L con agua destilada.
- **Oxido de lantano al 10%:** Pese 100 g de óxido de lantano R.A. y disuelva en 500 mL de agua destilada. En la cabina extractora de gases agregue lentamente 250 mL de ácido clorhídrico concentrado agitando continuamente. Cuando se haya disuelto completamente el óxido de lantano y la solución se haya enfriado, lleve a volumen de 1 L con agua destilada.
- **Soluciones patrón de 1000 mg/L de calcio, magnesio, sodio y potasio:** Estas soluciones se consiguen comercialmente.
- **Soluciones patrón de trabajo:** A partir de los patrones de 1000 mg/L prepare un patrón intermedio de 50 mg/L. La curva de calibración para cada elemento se debe preparar de acuerdo a la siguiente tabla de concentraciones:

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>CATIONES INTERCAMBIABLES</b> <b>Ca, Mg, K y Na</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR	POE- S004
			Versión 01	Página 2 de 3

Elemento	Patrón 1	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4	Patrón 5	Patrón 6	Patrón 7
				mg/L			
Calcio	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
Magnesio	0.00	1.00	3.00	5.00	7.00	10.0	15.0
Potasio	0.00	1.00	3.00	5.00	7.00	10.0	15.0
Sodio	0.00	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	10.0

Para cada concentración prepare 50 ml del patrón de trabajo en balón volumétrico, tomando el volumen correspondiente del patrón intermedio de 50 mg/L, adicionando 0.50 ml de óxido de lantano al 10% y 12 ml de acetato de amonio 1N pH 7.0 antes de enrasar con agua desionizada. Se debe preparar cada estándar por separado.

## 5. PROCEDIMIENTO

Realice la valoración de las bases sobre el extracto obtenido para tal fin (POE-S003 Capacidad de intercambio catiónico en suelos) en el espectrofotómetro de Absorción Atómica, de acuerdo a las siguientes condiciones instrumentales:

Llama aire/acetileno  
Flujo de aire 10,00  
Flujo de acetileno 2.00

Parámetro	Calcio	Potasio	Magnesio	Sodio
Corriente de la lámpara (mA)	10	12	6	8
Longitud de onda (nm)	422.7	766.5	285.2	589.0


La valoración debe efectuarse también con la muestra de control interno "Caídas" con el fin de verificar el método. Transfiera los datos obtenidos en el equipo al FOE-006 (Lecturas de AA en suelos).

## 6. CÁLCULOS

Las bases intercambiables expresadas en cmolc kg<sup>-1</sup> se calculan individualmente de acuerdo a la siguiente fórmula:

Base int. = Ca, K, Mg ó Na intercambiable  
 LAA = Lectura por Absorción Atómica en mg/L  
 0.25 = Volumen total del extracto en L  
 100 = Factor de conversión de mol<sub>c</sub> a cmol<sub>c</sub>  
 E = Peso de una mol<sub>c</sub> de Ca (20.04 g), K (39 g), Mg (12,15 g) ó Na (23 g), según el catión que se esté calculando.  
 PM = Peso de la muestra en kg (0.005)  
 1000 = Factor de conversión de g a mg

$$\text{Base int.} = \frac{\text{LAA} \times 0.25 \times 100}{E \times \text{PM} \times 1000}$$

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>CACIONES INTERCAMBIABLES</b> <b>Ca, Mg, K y Na</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S004
			Versión 01		Página 3 de 3

## 7. PARÁMETROS DE CALIDAD

Verifique que las lecturas en mg/L de las bases intercambiables en el extracto de acetato de amonio obtenido para la muestra de control interno "Caldas" estén dentro de los límites de advertencia,

## 8. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- FOE-006 (Lecturas por Absorción Atómica en suelos) . POE-S003 Capacidad de intercambio catiónico
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Sexta edición. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, 2006. 674 p.
- Ramírez, K. Validación de las determinaciones de acidez y cationes de cambio en suelos con fines agrícolas. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Departamento de Química, Bogotá, 2004, 130 p.
- Torres, L. G. Evaluación e implementación de dos métodos para la determinación de capacidad de intercambio catiónico de suelos. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá, 2004. 109 p.

Elaborado por	Revisado por
ALEXANDER NIEVES Técnico operativo	MARTHA C. HENAO Directora Laboratorio

## Metodología para determinar el Fosforo disponible.

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ</p>	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>FOSFORO DISPONIBLE</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S008
			Versión 01		Página 1 de 4

### 1. ALCANCE

Este procedimiento tiene por objeto definir las condiciones para la cuantificación del fósforo disponible en muestras de suelo, por el método Bray II (fosfomolibdato - ácido ascórbico).

### 2. PRINCIPIO

El fósforo es extraído del suelo usando la solución Bray II, la cual mediante la formación de complejos con el ion fluoruro, disuelve algunos fosfatos fácilmente solubles en ácido como los fosfatos de calcio y una parte de los fosfatos de hierro y aluminio. El fósforo extraído es medido colorimétricamente, basado en la reacción con molibdato de amonio y desarrollando el color "azul de molibdeno" por la reducción con ácido ascórbico. La intensidad del color desarrollado, la cual es directamente proporcional a la cantidad de fósforo extraído del suelo, se mide en el espectrofotómetro a 890 nm.


### 3. MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanzas electrónicas con resolución de 0.01 g y 0,0001 g
- Espectrofotómetro UV-Vis
- Frasco plástico de 100 mL
- Dispensador de volumen variable de 25 ml de capacidad
- Papel filtro cualitativo de 12 cm de diámetro
- Tubos plásticos de 50 ml
- Pipetas aforadas de 25 y 1 mL
- Balones aforados de 100, 250 mL y de 1 L
- Vasos de precipitado
- Cronómetro

### 4. REACTIVOS

- **Solución extractora Bray II (Ácido clorhídrico (HCl) 0.1 M y fluoruro de amonio (NH<sub>4</sub>F) 0.03 M):** Pese 3,33 g de fluoruro de amonio R.A., disuelva en 1 L de agua destilada, agregue 25 mL de ácido clorhídrico concentrado y lleve a 3 L con agua destilada.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>FOSFORO DISPONIBLE</b>	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR</b>	<b>POE- S008</b>
			Versión 01	Página 2 de 4

- **Solución A:** Disuelva 6.00 g de molibdato de amonio  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  en 20 mL de agua destilada, añada 0,1455 g de tartrato de antimonio y potasio  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  y disuelva; agregue lentamente y con agitación suave 70 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Deje enfriar y diluya a volumen de 100 mL en balón aforado. Transfiera a un recipiente oscuro y guarde en nevera, ya que esta solución es sensible a la luz y el calor.
- **Solución B:** Disuelva 6,10 g de ácido ascórbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) en 30 mL agua destilada y complete a 50 mL en balón aforado. Transfiera a un recipiente oscuro y guarde en nevera, ya que esta solución es sensible a la luz y el calor.
- **Solución de trabajo:** Transfiera 80 mL de agua destilada a un balón aforado de 100 mL tome, adicione 2.5 mL de solución A, mezcle y añada 1 mL de la solución B, lleve a volumen. La solución de trabajo se debe preparar al momento del análisis y la cantidad necesaria de acuerdo al número de muestras por analizar.
- **Solución estándar de fósforo de 500 mg/L:** Disuelva 2.197 g de fosfato diácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) R.A. del 100 % de pureza, previamente seco en estufa a  $105^\circ\text{C}$  durante una hora, en 800 mL de agua destilada y lleve a volumen en balón aforado de 1 L.
- **Patrones de trabajo:** A partir del patrón de 500 mg/L prepare una solución de 50 mg/L de fósforo. Prepare a su vez cada uno de los siguientes estándares de calibración: 0, 2, 4, 8, 12 y 16 mg/L de P, tomando respectivamente 0, 4, 8 16, 24 y 32 mL de la solución de 50 mg/L y llevando a volumen de 100 mL con solución extractora Bray II para evitar interferencias debido a la matriz.

## 5. PROCEDIMIENTO

El necesario efectuar el mismo procedimiento de análisis a la muestra de control interno "Espinal" con el fin de verificar el método.

- Pese 2.85 g de suelo seco y tamizado (POE-S001 Preparación de la muestra de suelo) en un frasco plástico de 100 mL y agregue 20 mL de solución extractora Bray II con el dispensador.
- Agite manualmente durante 40 segundos exactos, tomando el tiempo con un cronómetro. Filtre la suspensión inmediatamente.
- Tome con una pipeta aforada 1 mL del extracto y transfíralo a un tubo de ensayo. Con ayuda de un dispensador adicione 9 mL de la solución de trabajo.
- Proceda de la misma manera con las soluciones patrón de fósforo.
- Lea la absorbancia de las soluciones patrón y de las muestras en el espectrofotómetro UV-Visible, a una longitud de onda 890 nm, después de 15 minutos y antes de 30 minutos.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>FOSFORO DISPONIBLE</b>	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR</b>		POE- S008
			Versión 01		Página 3 de 4

- Construya una curva de calibración donde se gráfica concentración (eje x) versus absorbancia (eje y). Obtenga la ecuación de regresión y con esta calcule la concentración de fósforo en el extracto.
- Si el instrumento calcula directamente la concentración de fósforo en el extracto, registre el valor en el FOE-009 (Lecturas UV-Vis en suelos).

**NOTA:** Si la absorbancia de la muestra es superior a la absorbancia del patrón de 16 mg/L, el valor del fósforo disponible en el suelo se reporta como mayor de 112 mg/kg

## 6. CÁLCULOS

La concentración de fósforo en el suelo en  $\text{mg kg}^{-1}$  es igual a:

$$P = \frac{A \times 0.020}{0.00285}$$

Donde:

A = Concentración de fósforo en el extracto en mg/L

0.020 = Volumen de solución extractora en L

0.00285 = Peso de la muestra de suelo en kg

## 7. PARÁMETROS DE CALIDAD

Verifique que la concentración de fósforo en el extracto obtenida para la muestra de control interno "Espinal" esté dentro de los límites de advertencia.

## 8. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- POE-S001 Preparación de la muestra
- FOE-009 Lecturas UV-Vis en suelos
- García, J. Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico y fósforo disponible en suelos. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá, 2004. 104 p.
- Carrillo, I. F. 1985. Manual de laboratorio de suelos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE). Chinchiná, 1985. 110 p.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---


 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ</p>	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>FOSFORO DISPONIBLE</b>	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR</b>		<b>POE- S008</b>
			Versión 01		Página 4 de 4

Elaborado por  ALEXANDER NIEVES Técnico operativo	Revisado por  MARTHA C. HENAO Directora Laboratorio
------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

---



## DETERMINACIÓN DE N TOTAL POR EL MÉTODO DE KJELDAHL.

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ</p>	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>NITROGENO TOTAL</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR		POE- S004
			Versión 01		Página 1 de 3

### Principio del método:

La mayor parte del nitrógeno orgánico presente en los suelos pasa a la forma de  $\text{NH}_4$  con ayuda del catalizador ( $\text{Cu}^{2+}$  ó  $\text{Se}$ ). Radicales como  $\text{NO}_3^-$  deben reducirse o pasar a la forma de nitrocompuestos (V. gr.; Nitrosalicilatos) y luego a la forma de  $\text{NH}_4^+$ . Todos éstos resultarán formando sales de amonio al final de una digestión acida y caliente donde además se destruye la materia orgánica.

En una segunda etapa alcalina el  $\text{NH}_4$  se destila como  $\text{NH}_3$  y se captura dentro de una solución de ácido bórico. Posteriormente el amonio se titula con ácido clorhídrico de normalidad conocida.

### MÉTODO SEMIMICRO - KJELDAHL.

#### Principio:

El principio es igual al del método de Kjeldahl y la cantidad de muestra y reactivos se reduce más o menos a la mitad.


#### Equipo.

- 3 Digestores Büchi Mod. 425 a 220 V de cuatro puestos cada uno. Extracción de gases por trompa de agua o extractor de gases centrífugo.
- 2 Destiladores con generador de vapor Büchi Mod. 320 a 220 V. Puesto único, fusible de 10 A. Con adición automática de agua y soda. También evacuación y lavado por succión.

#### Accesorios:

- Tubos digestores de vidrio de unos 300 ml de capacidad.
- Para destilar el volumen no debe pasar de unos 150 ml en total.
- Gradillas metálicas de 4 puestos.
- Gradillas de madera de 12 puestos.
- Erlenmeyer de 250 ml para recibir los destilados.
- Balanza analítica Mettler H35.
- Dispensador de vidrio de 10 ml.
- Bureta de 10 ml.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>NITROGENO TOTAL</b>	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR</b>		POE- S004
			Versión 01		Página 2 de 3

**Reactivos:**


- Acido sulfúrico G.A. de 95-97%.
- Acido sulfúrico G.T. concentrado, mínimo 96%.
- Tabletas catalizadoras Merck, Según Wieninger, para cada análisis se utiliza 1/4 de tableta. Soda líquida al 50% G.T. tipo rayonera, fabricada por la planta de soda de Cartagena. Solución de soda al 25%. Se prepara a partir de 1 litro de soda al 50% al cual se adiciona 1 1/2 litros de agua.
- Acido bórico G.A. H3BO3.
- Solución de ácido bórico al 4%. Tomar 80 g de ácido bórico G.A. y llevar a 2 litros con agua.
- Acido clorhídrico. Titrisol 1N.
- Solución de acido clorhídrico 0,1N. Tomar una ampolla de Titrisol 1N (para 1 litro) y llevar a 10 litros. En caso de no obtener el factor 1.000, véase correcciones en la preparación del ácido clorhídrico 0,1 en la determinación de N por Kjeldahl.

**Indicador mixto:**

Mezcla de rojo de metilo y azul de metileno: igual al usado en el N por Kjeldahl (0,3 g de rojo de metilo; 0,2 de azul de metileno y se lleva a 250 ml con alcohol de 90° G.L.).

<b>Procedimiento</b>	<b>Observación</b>
Pesar 0,5 g de suelo seco pasado por tamiz No 60, colocarlo en el fondo de! tubo digestor, adicionar 1/4 de tableta catalizadora, dos perlas de vidrio y 10 ml de ácido sulfúrico a cada una de las muestras.  Poner en digestión por media hora aproximadamente hasta que aclare la solución.	El tamizado se efectúa para tener una muestra similar a la de la materia orgánica en suelos.  Llevar un blanco (sin suelo) para las correcciones en los cálculos.  Inicialmente se calienta en posición 8 durante los primeros 15 minutos; luego en 10 (máximo de calor). Cerciorarse de que la extracción de gases sea suficiente y no excesiva.

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ	FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS	<b>NITROGENO</b>  <b>TOTAL</b>	PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR	POE- S004
			Versión 01	

Procedimiento	Observación
Dejar enfriar. Adicionar 30 ml de agua.	Alistar el destilador (precalentado) y el Erlenmeyer de 250 ml que recibe el destilado, con 10 ml de solución de ácido bórico al 4%; adicionar 3 gotas de indicador mixto y unos 50 mL de agua.
Colocar el tubo de digestión listo para destilar.	Cerciorarse de que selle bien la boca y el soporte haga buena presión.
Adicionar 80 ml de soda al 25%.	Hay un cambio de color de la solución sulfúrica, lo que indica que hay soda en exceso.
Poner a destilar unos 5 minutos.	Recoger unos 160 mL de destilado.
Bajar el Erlenmeyer con el destilado y titular con ácido clorhídrico 0,1 N hasta el gris o algo morado.	Utilizando la bureta de 10 mL.  El morado definido es indicativo de que se ha pasado del punto final.
Apuntar los consumos C en ml.	

Cálculos:

$$\% N = \frac{(C-B) \times 100 \times 0,1 \times 0,014}{0,5}$$

$$\% N = (C - B) \times 0,28$$

$$P(0,05): \pm 0,05\%$$

Elaborado por  ALEXANDER NIEVES Técnico operativo	Revisado por  MARTHA C. HENAO Directora Laboratorio
------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

## ANEXO H. REPORTE DE MACRONUTRIENTES

### Reporte de Macronutrientes presentes en el Lodo secundario, suelo (blanco) y suelo estudio (Aguapucha II)

Página 1 de 1



#### REPORTE DE ANALISIS DE SUELO

LABORATORIO DE SUELOS

**Recibido:** 10/07/2008    **Solicitante:** Karen Márquez    **Cultivo:** Pasto  
**Entregado:** 15/08/2008    **Dirección:** Cll 44b 73B-41    **Municipio:** El Rosal  
**No. recibo:** 930    **Teléfono:** 2649755    **Departamento:** Cundinamarca

#### RESULTADOS

No	Referencia	NT%	K meq/ 100 g	P mg/kg
997	Lodo Secundario PTAR El Rosal	3,73	14,2	116
998	Blanco	0,89	2,33	60
999	Aguapucha II	0,15	0,08	15

Los resultados de este reporte corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

#### METODOS DE ANÁLISIS

K intercambiable: Extracción con acetato de amonio 1N pH7, valoración por Absorción Atómica; P aprovechable: Método de Bray II, valoración colorimétrica; (nitrógeno total): método de semi-micro Kjeldahl, valoración volumétrica.

#### NIVELES GENERALES DE REFERENCIA

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo	Elemento	Alto	Medio	Bajo
N total (%)	Frío	> 0.50	0.25 - 0.50	< 0.25	P (mg/kg)	> 40	20 - 40	< 20
	Medio	> 0.25	0.15 - 0.25	< 0.15	K (meq/100g)	> 0.35	0.15 - 0.35	< 0.15
	Cálido	> 0.20	0.10 - 0.20	< 0.10	Ca (meq/100g)	> 6	3 - 6	< 3
					Mg (meq/100g)	> 2.5	1.5 - 2.5	< 1.5

*Alexander Nieves*

ALEXANDER NIEVES

Analista

*Martha Cecilia Henao*

MARTHA CECILIA HENAO

Directora del Laboratorio

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente y productivo si Usted consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad

Universidad Nacional de Colombia. AK 30 No. 45-03  
 Facultad de Agronomía. Edificio 500 Cuarto Piso. Laboratorio de Aguas y Suelos.  
 Conmutador 216 5000 extensiones 19088 19097 19049 19110. Telefax 216 5498  
 e-mail: [mchenasto@unal.edu.co](mailto:mchenasto@unal.edu.co)  
 Bogotá, Colombia

**Reporte de los Macronutrientes presentes en las proporciones al cabo de dos meses de prueba: Mezcla de Lodo y Suelo estudio**

Página 1 de 1

**REPORTE DE ANALISIS DE SUELO**



**Recibido:** 12/09/2008    **Solicitante:** Karen Márquez    **Cultivo:** Pasto  
**Entregad:** 01/16/2009    **Dirección:** Cll 44b 73B-41    **Municipio:** Aguapucha II  
**No. recibo:** 987    **Teléfono:** 2649755    **Departamento:** Cundinamarca

**RESULTADOS**

No	Referencia	NT%	K meq/100 g	P mg/kg
1	10% - 90%	0,156	0,085	15,600
2		0,160	0,084	15,750
3		0,153	0,087	15,480
4		0,161	0,086	15,590
5		0,163	0,088	15,790
1	20% - 80%	0,161	0,091	15,870
2		0,159	0,087	15,970
3		0,161	0,093	16,010
4		0,160	0,089	15,980
5		0,158	0,091	16,200
1	30% - 70%	0,161	0,092	16,030
2		0,159	0,091	16,130
3		0,162	0,093	16,080
4		0,161	0,091	16,240
5		0,160	0,089	16,067

Los resultados de este reporte corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

**MÉTODOS DE ANÁLISIS**

**K intercambiable:** Extracción con acetato de amonio 1N pH 7, valoración por Absorción Atómica; **P aprovechable:** Método de Bray II, valoración colorimétrica; **(nitrógeno total):** método de semi-micro Kjeldahl, valoración volumétrica.

**NIVELES GENERALES DE REFERENCIA**

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo	Elemento	Alto	Medio	Bajo
N total (%)	Frío	> 0.50	0.25 - 0.50	< 0.25	P (mg/kg)	> 40	20 - 40	< 20
	Medio	> 0.25	0.15 - 0.25	< 0.15	K (meq/100g)	> 0.35	0.15 - 0.35	< 0.15
	Cálido	> 0.20	0.10 - 0.20	< 0.10	Ca (meq/100g)	> 6	3 - 6	< 3
					Mg (meq/100g)	> 2.5	1.5 - 2.5	< 1.5

Universidad Nacional de Colombia, AK 30 No. 45-02  
 Facultad de Agronomía, Edificio 500 Cuarto Piso, Laboratorio de Aguas y Suelos.  
 Conmutador 216 5000 extensiones 19088 19097 19049 19110. Telefax 216 5498  
 e-mail: [mchanacto@unal.edu.co](mailto:mchanacto@unal.edu.co)  
 Bogotá, Colombia

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

Página 1 de 2



**REPORTE DE ANALISIS DE SUELO**

LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE AGRONOMÍA

Recibido: 12/09/2008    Solicitante: Karen Márquez    Cultivo: Pasto  
 Entregado: 01/16/2009    Dirección: Cll 44b 73B-41    Municipio: Aguapucha II  
 No. recibo: 987    Teléfono: 2649755    Departamento: Cundinamarca

**RESULTADOS**

1	40% - 60%	0,169	0,089	16,089
2		0,170	0,093	16,981
3		0,168	0,091	16,893
4		0,172	0,097	17,003
5		0,168	0,098	16,975
1	50% - 50%	0,169	0,095	16,810
2		0,171	0,093	16,798
3		0,178	0,097	17,045
4		0,176	0,098	16,963
5		0,174	0,101	16,982

Los resultados de este reporte corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

**METODOS DE ANÁLISIS**

**K intercambiable:** Extracción con acetato de amonio 1N pH 7, valoración por Absorción Atómica; **P aprovechable:** Método de Bray II, valoración colorimétrica; **(nitrógeno total):** método de semi-micro Kjeldahl, valoración volumétrica.

**NIVELES GENERALES DE REFERENCIA**

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo	Elemento	Alto	Medio	Bajo
N total (%)	Frío	> 0.50	0.25 - 0.50	< 0.25	P (mg/kg)	> 40	20 - 40	< 20
	Medio	> 0.25	0.15 - 0.25	< 0.15	K (meq/100g)	> 0.35	0.15 - 0.35	< 0.15
	Cálido	> 0.20	0.10 - 0.20	< 0.10	Ca (meq/100g)	> 6	3 - 6	< 3
					Mg (meq/100g)	> 2.5	1.5 - 2.5	< 1.5

*Alexander Nieves*

ALEXANDER NIEVES  
Analista

*Martha Cecilia Henao*

MARTHA CECILIA HENAO  
Directora del Laboratorio

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente y productivo si Usted consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad

Universidad Nacional de Colombia. AK 30 No. 45-03  
 Facultad de Agronomía. Edificio 500 Cuarto Piso. Laboratorio de Aguas y Suelos.  
 Conmutador 316 5000 extensiones 19088 19097 19049 19110. Telefax 316 5498  
 e-mail: [mchenao@unal.edu.co](mailto:mchenao@unal.edu.co)  
 Bogotá, Colombia

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

**Tabla 40. Valores promedio de los macronutrientes presentes en las proporciones al cabo de dos meses de prueba: Mezcla de Lodo y Suelo estudio**

PROPORCIONES	N° DATOS	Nitrógeno total (%)	Fósforo (mg/Kg)	Potasio (meq/100 g)
10%	1	0,156	15,600	0,085
	2	0,160	15,750	0,084
	3	0,153	15,480	0,087
	4	0,161	15,590	0,086
	5	0,163	15,790	0,088
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,159</b>	<b>15,642</b>	<b>0,086</b>
20%	1	0,161	15,870	0,091
	2	0,159	15,970	0,087
	3	0,161	16,010	0,093
	4	0,160	15,980	0,089
	5	0,158	16,200	0,091
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,160</b>	<b>16,006</b>	<b>0,090</b>
30%	1	0,161	16,030	0,092
	2	0,159	16,130	0,091
	3	0,162	16,080	0,093
	4	0,161	16,240	0,091
	5	0,160	16,067	0,089
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,161</b>	<b>16,109</b>	<b>0,091</b>
40%	1	0,169	16,089	0,089
	2	0,170	16,981	0,093
	3	0,168	16,893	0,091
	4	0,172	17,003	0,097
	5	0,168	16,975	0,098
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,169</b>	<b>16,788</b>	<b>0,094</b>
50%	1	0,169	16,810	0,095
	2	0,171	16,798	0,093
	3	0,178	17,045	0,097
	4	0,176	16,963	0,098
	5	0,174	16,982	0,101
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,174</b>	<b>16,920</b>	<b>0,097</b>

Fuente: Los Autores 2.009

ANEXO I. PROCEDIMIENTO FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS





## ANEXO J. RESULTADOS FASE DE PRE-EXPERIMENTACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS

**Tabla 41. Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de pre-experimentación**

Nº	PORCENTAJE (%)	W ARCILLA (gr)	W LODO (gr)	CANT AGUA (ml)	MASA RESTANTE(gr)	W LADRILLO INICIAL(gr)	MEDIDAS (cm)			W LADRILLO 24 hr secado (gr)	W LADRILLO 6 hr 120°C (gr)	W LADRILLO cocción 1200 °C (gr)	MEDIDAS (cm)		
							LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO
1	10	360	40	86	82	348	14,8	3,3	3,3	296	260	210	14,6	3,2	3,2
2	10	360	40	86	157	335	14,7	3,4	3,3	311	267	215	14,5	3,3	3,2
3	10	360	40	86	125	316	14,8	3,5	3,2	291	246	198	14,7	3,4	3,2
<b>PROMEDIO</b>					<b>122</b>	<b>333</b>	<b>14,8</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>299</b>	<b>258</b>	<b>208</b>	<b>14,6</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>
1	20	320	80	102	151	334	14,5	3,4	3,5	283	237	189	14,4	3,2	3,2
2	20	320	80	102	188	305	14,3	3,4	3,3	282	237	189	14,3	3,3	3,2
3	20	320	80	102	185	314	14,5	3,3	3,2	290	250	201	14,4	3,3	3,2
<b>PROMEDIO</b>					<b>175</b>	<b>317</b>	<b>14,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>285</b>	<b>241</b>	<b>193</b>	<b>14,4</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>
1	30	280	120	140	212	306	14,5	3,2	3,3	260	208	0	0,0	0,0	0,0
2	30	280	120	140	242	288	14,6	3,5	3,2	265	214	0	0,0	0,0	0,0
3	30	280	120	140	225	302	14,6	3,4	3,3	278	230	0	0,0	0,0	0,0
<b>PROMEDIO</b>					<b>226</b>	<b>298</b>	<b>14,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>268</b>	<b>218</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
1	40	240	160	174	244	287	14,1	3,2	3,2	243	180	0	0,0	0,0	0,0
2	40	240	160	174	236	277	14,0	3,1	3,2	235	174	0	0,0	0,0	0,0
3	40	240	160	174	215	296	14,2	3,3	3,1	250	186	0	0,0	0,0	0,0
<b>PROMEDIO</b>					<b>232</b>	<b>286</b>	<b>14,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>243</b>	<b>180</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
1	50	200	200	211	322	277	14,3	3,2	3,2	234	168	0	0,0	0,0	0,0
2	50	200	200	211	338	291	14,2	2,9	3,2	245	177	0	0,0	0,0	0,0
3	50	200	200	211	346	297	14,2	3,2	3,1	250	180	0	0,0	0,0	0,0
<b>PROMEDIO</b>					<b>335</b>	<b>289</b>	<b>14,2</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>243</b>	<b>175</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
1	BLANCO	400	0	86	180	345	14,0	3,5	3,3	300	262	213	14,0	3,2	3,1
2	BLANCO	400	0	86	186	459	14,3	3,4	3,3	337	280	230	14,3	3,1	3,0
3	BLANCO	400	0	86	191	365	14,1	3,1	3,2	342	287	238	14,1	3,1	3,0
<b>PROMEDIO</b>					<b>185</b>	<b>389</b>	<b>14,1</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>326</b>	<b>276</b>	<b>227</b>	<b>14,1</b>	<b>3,1</b>	<b>3,0</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 42. Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de experimentación: mezcla 10% lodo - 90% arcilla**

N°	PORC (%)	V ARCILLA (gr)	V LODO (gr)	CANT AGUA (ml)	MASA RESTANTE(gr)	V LADRILLO (gr)	MEDIDAS (cm)			V LADRILLO 24 hr secado (gr)	V LADRILLO 6 hr 120°C (gr)	V LADRILLO cocción 1200 °C (gr)	MEDIDAS (cm)		
							LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO
1	10	2700	300	800	0,00	376	14,5	3,4	3,3	300	259	209	14,1	3,3	3,1
2	10					378	14,6	3,4	3,3	302	261	211	14,2	3,3	3,2
3	10					386	14,9	3,5	3,3	310	269	219	14,7	3,4	3,3
4	10					380	14,7	3,4	3,3	304	263	213	14,3	3,3	3,2
5	10					381	14,7	3,4	3,3	305	264	214	14,4	3,4	3,2
6	10					382	14,8	3,4	3,3	306	265	215	14,5	3,4	3,2
7	10					388	15,0	3,5	3,4	312	271	221	14,9	3,5	3,3
8	10					384	14,8	3,5	3,3	308	267	217	14,6	3,4	3,3
9	10					374	14,4	3,4	3,2	298	257	207	13,9	3,2	3,1
10	10					384	14,8	3,5	3,3	308	267	217	14,6	3,4	3,3
11	10	2700	300	800	0,00	376	14,5	3,4	3,3	300	259	209	14,1	3,3	3,1
12	10					368	14,2	3,3	3,2	292	251	201	13,5	3,2	3,0
13	10					378	14,6	3,4	3,3	302	261	211	14,2	3,3	3,2
14	10					377	14,6	3,4	3,3	301	260	210	14,1	3,3	3,2
15	10					379	14,6	3,4	3,3	303	262	212	14,3	3,3	3,2
16	10					379	14,6	3,4	3,3	303	262	212	14,3	3,3	3,2
17	10					385	14,9	3,5	3,3	309	268	218	14,7	3,4	3,3
18	10					369	14,3	3,3	3,2	293	252	202	13,6	3,2	3,0
19	10					368	14,2	3,3	3,2	292	251	201	13,5	3,2	3,0
20	10					380	14,7	3,4	3,3	304	263	213	14,3	3,3	3,2
21	10	2700	300	800	0,00	373	14,4	3,4	3,2	298	256	206	13,9	3,2	3,1
22	10					376	14,5	3,4	3,3	301	259	209	14,1	3,3	3,2
23	10					380	14,7	3,4	3,3	304	263	213	14,3	3,3	3,2
24	10					379	14,6	3,4	3,3	303	262	212	14,3	3,3	3,2
25	10					373	14,4	3,4	3,2	297	256	206	13,9	3,2	3,1
26	10					378	14,6	3,4	3,3	303	261	211	14,2	3,3	3,2
27	10					375	14,5	3,4	3,2	300	258	208	14,0	3,3	3,1
28	10					381	14,7	3,4	3,3	305	264	214	14,4	3,4	3,2
29	10					384	14,9	3,5	3,3	309	268	218	14,6	3,4	3,3
30	10					375	14,5	3,4	3,3	300	259	209	14,0	3,3	3,1
<b>PROMEDIO</b>						<b>378</b>	<b>14,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>303</b>	<b>261</b>	<b>211</b>	<b>14,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 43. Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de Experimentación: Mezcla 20% Lodo - 80% Arcilla**

N°	PORC (%)	V ARCILLA (gr)	V LODO (gr)	CANT AGUA (ml)	MASA RESTANTE(gr)	V LADRILLO (gr)	MEDIDAS (cm)			V LADRILLO 24 hr secado (gr)	V LADRILLO 6 hr 120°C (gr)	V LADRILLO cocción 1200 °C (gr)	MEDIDAS (cm)		
							LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO
1	20	2400	600	1100	0,00	344	14,8	3,5	3,3	268	224	176	14,7	3,4	3,3
2	20					340	14,7	3,4	3,3	264	220	172	14,3	3,3	3,2
3	20					340	14,7	3,4	3,3	264	220	172	14,3	3,3	3,2
4	20					338	14,6	3,4	3,2	262	218	170	14,2	3,3	3,2
5	20					343	14,8	3,5	3,3	267	223	175	14,6	3,4	3,3
6	20					339	14,6	3,4	3,2	263	219	171	14,3	3,3	3,2
7	20					344	14,8	3,5	3,3	268	224	176	14,7	3,4	3,3
8	20					340	14,7	3,4	3,3	264	220	172	14,3	3,3	3,2
9	20					341	14,7	3,5	3,3	265	221	173	14,4	3,4	3,2
10	20					342	14,7	3,5	3,3	266	222	174	14,5	3,4	3,2
11	20	2400	600	1100	0,00	337	14,7	3,4	3,2	261	217	169	14,5	3,4	3,2
12	20					334	14,6	3,4	3,2	258	214	166	14,2	3,2	3,1
13	20					336	14,7	3,4	3,2	260	216	168	14,4	3,3	3,1
14	20					338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,6	3,3	3,2
15	20					339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2
16	20					336	14,7	3,4	3,2	260	216	168	14,4	3,3	3,1
17	20					338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,6	3,3	3,2
18	20					341	14,9	3,5	3,3	265	221	173	14,8	3,4	3,2
19	20					339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2
20	20					339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2
21	20	2400	600	1100	0,00	339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,4	3,2
22	20					338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,5	3,3	3,2
23	20					338	14,8	3,4	3,2	262	219	170	14,6	3,3	3,2
24	20					338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,6	3,3	3,2
25	20					340	14,8	3,4	3,2	263	220	171	14,7	3,3	3,2
26	20					341	14,9	3,5	3,3	264	221	172	14,8	3,4	3,2
27	20					340	14,9	3,5	3,3	264	221	172	14,8	3,3	3,2
28	20					339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2
29	20					348	15,2	3,5	3,3	271	228	179	15,4	3,5	3,4
30	20					337	14,8	3,4	3,2	261	218	169	14,5	3,3	3,2
<b>PROMEDIO</b>						<b>340</b>	<b>14,8</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>263</b>	<b>220</b>	<b>172</b>	<b>14,6</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 44. Valores obtenidos durante la fabricación de ladrillos cerámicos en la fase de Experimentación: 100% Arcilla**

N°	PORC (%)	V ARCILLA (gr)	V LODO (gr)	CANT AGUA (ml)	MASA RESTANTE(gr)	V LADRILLO (gr)	MEDIDAS (cm)			V LADRILLO 24 hr secado (gr)	V LADRILLO 6 hr 120°C (gr)	V LADRILLO cocción 1200 °C (gr)	MEDIDAS (cm)		
							LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO
1	BLANCO	3000	0	800	0,00	480	14,9	3,5	3,3	367	325	275	14,8	3,5	3,3
2	BLANCO					470	14,6	3,4	3,3	357	315	265	14,3	3,3	3,2
3	BLANCO					475	14,8	3,4	3,3	362	320	270	14,6	3,4	3,3
4	BLANCO					480	14,9	3,5	3,3	367	325	275	14,8	3,5	3,3
5	BLANCO					480	14,9	3,5	3,3	367	325	275	14,8	3,5	3,3
6	BLANCO					469	14,6	3,4	3,3	356	314	264	14,2	3,3	3,2
7	BLANCO					469	14,6	3,4	3,3	356	314	264	14,2	3,3	3,2
8	BLANCO					467	14,5	3,4	3,2	354	312	262	14,1	3,3	3,2
9	BLANCO					476	14,8	3,5	3,3	363	321	271	14,6	3,4	3,3
10	BLANCO					468	14,5	3,4	3,2	355	313	263	14,2	3,3	3,2
11	BLANCO	3000	0	800	0,00	462	14,7	3,4	3,2	349	307	257	14,3	3,2	3,1
12	BLANCO					464	14,8	3,5	3,2	351	309	259	14,4	3,3	3,1
13	BLANCO					466	14,9	3,5	3,2	353	311	261	14,5	3,3	3,2
14	BLANCO					466	14,9	3,5	3,2	353	311	261	14,5	3,3	3,2
15	BLANCO					469	15,0	3,5	3,3	356	314	264	14,7	3,3	3,2
16	BLANCO					460	14,7	3,4	3,2	347	305	255	14,2	3,2	3,1
17	BLANCO					464	14,8	3,5	3,2	351	309	259	14,4	3,3	3,1
18	BLANCO					465	14,8	3,5	3,2	352	310	260	14,4	3,3	3,1
19	BLANCO					465	14,8	3,5	3,2	352	310	260	14,4	3,3	3,1
20	BLANCO					465	14,8	3,5	3,2	352	310	260	14,4	3,3	3,1
21	BLANCO	3000	0	800	0,00	473	15,1	3,5	3,3	360	317	268	14,9	3,4	3,2
22	BLANCO					484	15,4	3,6	3,4	371	328	278	15,5	3,5	3,4
23	BLANCO					471	15,0	3,5	3,3	358	315	266	14,8	3,3	3,2
24	BLANCO					467	14,9	3,5	3,2	354	311	262	14,5	3,3	3,2
25	BLANCO					468	14,9	3,5	3,2	355	313	263	14,6	3,3	3,2
26	BLANCO					479	15,3	3,6	3,3	366	324	274	15,2	3,4	3,3
27	BLANCO					471	15,0	3,5	3,3	358	315	265	14,7	3,3	3,2
28	BLANCO					476	15,1	3,5	3,3	363	320	270	15,0	3,4	3,3
29	BLANCO					466	14,8	3,5	3,2	353	310	260	14,5	3,3	3,1
30	BLANCO					475	15,1	3,5	3,3	362	319	270	15,0	3,4	3,3
<b>PROMEDIO</b>		<b>24300</b>	<b>2700</b>	<b>27000</b>	<b>0,00</b>	<b>471</b>	<b>14,9</b>	<b>3,5</b>	<b>3,3</b>	<b>358</b>	<b>315</b>	<b>265</b>	<b>14,6</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 45. Valores obtenidos durante la prueba de Absorción para las proporciones de 10%-90%, 20%-80%, Lodo-Arcilla y 100% arcilla**

N°	PORC (%)	ARC (gr)	LODO (gr)	CANT AGUA(ml)	LADRILLO (gr)	MEDIDAS (cm)			LADRILLO(gr) 24 hr secado	LADRILLO 6 hr 120°C (gr)	LADRILLO (gr) cocción 1200 °C	MEDIDAS (cm)			VOL AGUA INICIAL (ml)	LADRILLO 24 hr en agua (gr)	VOL AGUA FINAL (ml)	ABSORCIÓN %
						LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO				
1	10	2700	300	800	373	14,4	3,4	3,2	298	256	206	13,9	3,2	3,1	2500	259	1865	20,50
2	10				376	14,5	3,4	3,3	301	259	209	14,1	3,3	3,2		263		20,55
3	10				380	14,7	3,4	3,3	304	263	213	14,3	3,3	3,2		268		20,58
4	10				379	14,6	3,4	3,3	303	262	212	14,3	3,3	3,2		267		20,54
5	10				373	14,4	3,4	3,2	297	256	206	13,9	3,2	3,1		260		20,83
6	10				378	14,6	3,4	3,3	303	261	211	14,2	3,3	3,2		266		20,66
7	10				375	14,5	3,4	3,2	300	258	208	14,0	3,3	3,1		262		20,44
8	10				381	14,7	3,4	3,3	305	264	214	14,4	3,4	3,2		269		20,55
9	10				384	14,9	3,5	3,3	309	268	218	14,6	3,4	3,3		274		20,44
10	10				375	14,5	3,4	3,3	300	259	209	14,0	3,3	3,1		263		20,56
<b>PROMEDIO</b>					<b>377</b>	<b>14,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>302</b>	<b>261</b>	<b>211</b>	<b>14,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>265</b>	<b>20,57</b>		
1	20	2400	600	1100	339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,4	3,2	2500	235	1768	27,24
2	20				338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,5	3,3	3,2		232		26,95
3	20				338	14,8	3,4	3,2	262	219	170	14,6	3,3	3,2		230		26,06
4	20				338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,6	3,3	3,2		234		27,18
5	20				340	14,8	3,4	3,2	263	220	171	14,7	3,3	3,2		236		27,28
6	20				341	14,9	3,5	3,3	264	221	172	14,8	3,4	3,2		231		25,36
7	20				340	14,9	3,5	3,3	264	221	172	14,8	3,3	3,2		234		26,33
8	20				339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2		234		27,05
9	20				348	15,2	3,5	3,3	271	228	179	15,4	3,5	3,4		245		26,65
10	20				337	14,8	3,4	3,2	261	218	169	14,5	3,3	3,2		231		26,68
<b>PROMEDIO</b>					<b>340</b>	<b>14,9</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>264</b>	<b>220</b>	<b>172</b>	<b>14,7</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>234</b>	<b>26,68</b>		
1	BLANC	3000	0	800	473	15,1	3,5	3,3	360	317	268	14,9	3,4	3,2	2500	318	1938	15,74
2	BLANC				484	15,4	3,6	3,4	371	328	278	15,5	3,5	3,4		329		15,44
3	BLANC				471	15,0	3,5	3,3	358	315	266	14,8	3,3	3,2		316		15,90
4	BLANC				467	14,9	3,5	3,2	354	311	262	14,5	3,3	3,2		310		15,62
5	BLANC				468	14,9	3,5	3,2	355	313	263	14,6	3,3	3,2		312		15,71
6	BLANC				479	15,3	3,6	3,3	366	324	274	15,2	3,4	3,3		325		15,62
7	BLANC				471	15,0	3,5	3,3	358	315	265	14,7	3,3	3,2		314		15,65
8	BLANC				476	15,1	3,5	3,3	363	320	270	15,0	3,4	3,3		320		15,51
9	BLANC				466	14,8	3,5	3,2	353	310	260	14,5	3,3	3,1		309		15,72
10	BLANC				475	15,1	3,5	3,3	362	319	270	15,0	3,4	3,3		309		12,86
<b>PROMEDIO</b>					<b>473</b>	<b>15,1</b>	<b>3,5</b>	<b>3,3</b>	<b>360</b>	<b>317</b>	<b>267</b>	<b>14,9</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>316</b>	<b>15,38</b>		

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 46. Valores obtenidos durante la prueba de Compresión para las proporciones de 10%-90%, 20%-80%, Lodo-Arcilla y 100% arcilla**

Nº	PORC (%)	ARCILLA (gr)	LODO (gr)	CANT AGUA (ml)	LADRILLO (gr)	MEDIDAS (cm)			LADRILLO (gr) 24 hr secado	LADRILLO (gr) 6 hr 120°C	LADRILLO (gr) cocción 1200 °C	MEDIDAS (cm)			AÑADIDO Kg	RESISTENCIA COMPRESIÓN C = (W/A)=(Kgf/cm2)
						LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO		
1	10	2700	300	800	376	14,5	3,4	3,3	300	259	209	14,1	3,3	3,1	1070	24,17
2	10				378	14,6	3,4	3,3	302	261	211	14,2	3,3	3,2	1550	34,35
3	10				386	14,9	3,5	3,3	310	269	219	14,7	3,4	3,3	1410	29,01
4	10				380	14,7	3,4	3,3	304	263	213	14,3	3,3	3,2	1300	28,27
5	10				381	14,7	3,4	3,3	305	264	214	14,4	3,4	3,2	1280	27,58
6	10				382	14,8	3,4	3,3	306	265	215	14,5	3,4	3,2	1430	30,52
7	10				388	15,0	3,5	3,4	312	271	221	14,9	3,5	3,3	1480	29,90
8	10				384	14,8	3,5	3,3	308	267	217	14,6	3,4	3,3	1480	31,01
9	10				374	14,4	3,4	3,2	298	257	207	13,9	3,2	3,1	1520	35,00
10	10				384	14,8	3,5	3,3	308	267	217	14,6	3,4	3,3	1260	26,40
<b>PROMEDIO</b>					<b>381</b>	<b>14,7</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>306</b>	<b>264</b>	<b>214</b>	<b>14,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>1378</b>	<b>29,62</b>
1	20	2400	600	1100	344	14,8	3,5	3,3	268	224	176	14,7	3,4	3,3	720	14,94
2	20				340	14,7	3,4	3,3	264	220	172	14,3	3,3	3,2	450	9,78
3	20				340	14,7	3,4	3,3	264	220	172	14,3	3,3	3,2	490	10,65
4	20				338	14,6	3,4	3,2	262	218	170	14,2	3,3	3,2	380	8,45
5	20				343	14,8	3,5	3,3	267	223	175	14,6	3,4	3,3	350	7,35
6	20				339	14,6	3,4	3,2	263	219	171	14,3	3,3	3,2	580	12,75
7	20				344	14,8	3,5	3,3	268	224	176	14,7	3,4	3,3	570	11,83
8	20				340	14,7	3,4	3,3	264	220	172	14,3	3,3	3,2	490	10,65
9	20				341	14,7	3,5	3,3	265	221	173	14,4	3,4	3,2	580	12,46
10	20				342	14,7	3,5	3,3	266	222	174	14,5	3,4	3,2	500	10,62
<b>PROMEDIO</b>					<b>341</b>	<b>14,7</b>	<b>3,5</b>	<b>3,3</b>	<b>265</b>	<b>221</b>	<b>173</b>	<b>14,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>511</b>	<b>10,95</b>
1	BLANCO	3000	0	800	480	14,9	3,5	3,3	367	325	275	14,8	3,5	3,3	4750	96,31
2	BLANCO				470	14,6	3,4	3,3	357	315	265	14,3	3,3	3,2	4260	93,02
3	BLANCO				475	14,8	3,4	3,3	362	320	270	14,6	3,4	3,3	3970	83,51
4	BLANCO				480	14,9	3,5	3,3	367	325	275	14,8	3,5	3,3	3840	77,86
5	BLANCO				480	14,9	3,5	3,3	367	325	275	14,8	3,5	3,3	4060	82,32
6	BLANCO				469	14,6	3,4	3,3	356	314	264	14,2	3,3	3,2	3760	82,73
7	BLANCO				469	14,6	3,4	3,3	356	314	264	14,2	3,3	3,2	4050	89,11
8	BLANCO				467	14,5	3,4	3,2	354	312	262	14,1	3,3	3,2	3880	86,67
9	BLANCO				476	14,8	3,5	3,3	363	321	271	14,6	3,4	3,3	3670	76,63
10	BLANCO				468	14,5	3,4	3,2	355	313	263	14,2	3,3	3,2	3950	87,57
<b>PROMEDIO</b>					<b>474</b>	<b>14,7</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>361</b>	<b>318</b>	<b>268</b>	<b>14,5</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>4019</b>	<b>85,57</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

**Tabla 47. Valores obtenidos durante la prueba de Flexión para las proporciones de 10%-90%, 20%-80%, Lodo-Arcilla y 100% arcilla**

Nº	PORC (%)	ARCILLA (gr)	LODO (gr)	CANT AGUA (ml)	LADRILLO (gr)	MEDIDAS (cm)			LADRILLO 24 hr secado (gr)	LADRILLO 6 hr 120°C (gr)	LADRILLO cocción 1200 °C (gr)	MEDIDAS (cm)			PESO AÑADIDO Lb	RESIST. FLEXIÓN (Kgf/cm <sup>2</sup> )
						LARGO	ANCHO	ALTO				LARGO	ANCHO	ALTO		
1	10	2700	300	800	376	14,5	3,4	3,3	300	259	209	14,1	3,3	3,1	42,91	94,60
2	10				368	14,2	3,3	3,2	292	251	201	13,5	3,2	3,0	30,65	67,57
3	10				378	14,6	3,4	3,3	302	261	211	14,2	3,3	3,2	36,78	81,08
4	10				377	14,6	3,4	3,3	301	260	210	14,1	3,3	3,2	42,91	94,60
5	10				379	14,6	3,4	3,3	303	262	212	14,3	3,3	3,2	452,91	998,48
6	10				379	14,6	3,4	3,3	303	262	212	14,3	3,3	3,2	55,17	121,63
7	10				385	14,9	3,5	3,3	309	268	218	14,7	3,4	3,3	42,91	94,60
8	10				369	14,3	3,3	3,2	293	252	202	13,6	3,2	3,0	24,52	54,06
9	10				368	14,2	3,3	3,2	292	251	201	13,5	3,2	3,0	30,65	67,57
10	10				380	14,7	3,4	3,3	304	263	213	14,3	3,3	3,2	42,91	94,60
<b>PROMEDIO</b>					<b>376</b>	<b>14,5</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>300</b>	<b>259</b>	<b>209</b>	<b>14,1</b>	<b>3,3</b>	<b>3,1</b>	<b>80,23</b>	<b>176,88</b>
1	20	2400	600	1100	337	14,7	3,4	3,2	261	217	169	14,5	3,4	3,2	12,26	27,03
2	20				334	14,6	3,4	3,2	258	214	166	14,2	3,2	3,1	6,13	13,51
3	20				336	14,7	3,4	3,2	260	216	168	14,4	3,3	3,1	9,81	21,62
4	20				338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,6	3,3	3,2	11,03	24,33
5	20				339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2	6,13	13,51
6	20				336	14,7	3,4	3,2	260	216	168	14,4	3,3	3,1	9,81	21,62
7	20				338	14,8	3,4	3,2	262	218	170	14,6	3,3	3,2	11,03	24,33
8	20				341	14,9	3,5	3,3	265	221	173	14,8	3,4	3,2	12,26	27,03
9	20				339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2	8,58	18,92
10	20				339	14,8	3,4	3,2	263	219	171	14,7	3,3	3,2	3,68	8,11
<b>PROMEDIO</b>					<b>338</b>	<b>14,8</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>262</b>	<b>218</b>	<b>170</b>	<b>14,5</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>9,07</b>	<b>20,00</b>
1	BLANCO	3000	0	800	462	14,7	3,4	3,2	349	307	257	14,3	3,2	3,1	110,34	243,25
2	BLANCO				464	14,8	3,5	3,2	351	309	259	14,4	3,3	3,1	147,12	324,34
3	BLANCO				466	14,9	3,5	3,2	353	311	261	14,5	3,3	3,2	122,60	270,28
4	BLANCO				466	14,9	3,5	3,2	353	311	261	14,5	3,3	3,2	122,60	270,28
5	BLANCO				469	15,0	3,5	3,3	356	314	264	14,7	3,3	3,2	110,34	243,25
6	BLANCO				460	14,7	3,4	3,2	347	305	255	14,2	3,2	3,1	110,34	243,25
7	BLANCO				464	14,8	3,5	3,2	351	309	259	14,4	3,3	3,1	116,47	256,77
8	BLANCO				465	14,8	3,5	3,2	352	310	260	14,4	3,3	3,1	95,63	210,82
9	BLANCO				465	14,8	3,5	3,2	352	310	260	14,4	3,3	3,1	100,53	221,63
10	BLANCO				465	14,8	3,5	3,2	352	310	260	14,4	3,3	3,1	73,56	162,17
<b>PROMEDIO</b>					<b>465</b>	<b>14,8</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>352</b>	<b>309</b>	<b>260</b>	<b>14,4</b>	<b>3,3</b>	<b>3,1</b>	<b>111</b>	<b>244,61</b>

Fuente: Los Autores 2.009

**ANEXO K. DETERMINACION DEL VOLUMEN DIARIO DE LODOS SECUNDARIOS EN LAS PTAR's DE LOS MUNICIPIOS DE LA CALERA, BOJACÁ Y EL ROSAL.**

La producción diaria de lodo secundario se calculo de la siguiente manera:

⇒ PTAR La Calera: DBO entrada = 548 mg / L  
Q = 22,4 L/s  
Eficiencia del sistema 65 %

$$L = 548 \text{ mg / L} * 22,4 \text{ L / s}$$

$$L = 1.060 \text{ Kg / d}$$

$$L = 1.060 \text{ Kg / d} * 0,65$$

$$L = 689 \text{ Kg /d}$$

Teniendo en cuenta que la eficiencia de remoción de un SBR es de aproximadamente 40 %, entonces:

$$\text{Producción de Lodos Secundarios} = 689 \text{ Kg /d} * 0,4 = 275 \text{ Kg /d}$$

$$= 275 \text{ Kg /d} / 0,02$$

$$\text{Producción de Lodos Secundarios} = \mathbf{13.750 \text{ Kg / d}} \cong 13,7 \text{ m}^3 / \text{d}$$

⇒ PTAR Bojacá: DBO entrada = 544 mg / L  
Q = 6,2 L/s  
Eficiencia del sistema 75 %

$$L = 544 \text{ mg / L} * 6,2 \text{ L / s}$$

$$L = 291 \text{ Kg / d}$$

$$L = 291 \text{ Kg / d} * 0,75$$

$$L = 220 \text{ Kg /d}$$



**ESTUDIO DE DOS ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS SECUNDARIOS DE SISTEMAS AEROBIOS PROVENIENTES DE PTAR's JURISDICCIÓN DE LA CAR**

---

Teniendo en cuenta que la eficiencia de remoción de un Zanjón de Oxidación es de aproximadamente 50 %, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Producción de Lodos Secundarios} &= 220 \text{ Kg /d} * 0.5 = 110 \text{ Kg /d} \\ &= 110 \text{ Kg /d} / 0,02 \end{aligned}$$

$$\text{Producción de Lodos Secundarios} = \mathbf{5.507 \text{ Kg / d}} \cong 5,5 \text{ m}^3 / \text{d}$$

⇒ PTAR El Rosal: DBO entrada = 689 mg / L  
Q = 11,3 L/s  
Eficiencia del sistema 87 %

$$L = 689 \text{ mg / L} * 11,3 \text{ L / s}$$

$$L = 673 \text{ Kg / d}$$

$$L = 673 \text{ Kg / d} * 0,87$$

$$L = 588 \text{ Kg /d}$$

Teniendo en cuenta que la eficiencia de remoción de un Zanjón de Oxidación es de aproximadamente 50 %, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Producción de Lodos Secundarios} &= 588 \text{ Kg /d} * 0.5 = 294 \text{ Kg /d} \\ &= 294 \text{ Kg /d} / 0,02 \end{aligned}$$

$$\text{Producción de Lodos Secundarios} = \mathbf{14.700 \text{ Kg / d}} \cong 14.7 \text{ m}^3 / \text{d}$$