



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE  
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**II EVENTO INTERNACIONAL  
“LA UNIVERSIDAD EN EL SIGLO XXI”**

**PONENCIA: SIMPOSIO 1  
SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE CALCETA**

**AUTORES:**

**Ing. Sergio Alcívar Pinargote MCA  
Ing. Francisco Velásquez Intriago MCA**

**FECHA:**

**AGOSTO DE 2013**

## INTRODUCCIÓN

De los 52 millones de metros cúbicos por día de aguas residuales que se recolectan en América Latina, se estima que solamente tres millones cien mil metros cúbicos por día o el 6%, reciben tratamiento adecuado antes de ser dispuestas en cuerpos de agua o campos agrícolas. Encima de este problema serio, hay una tendencia en todo América Latina de usar para riego agua residual sin tratar (uso directo) o diluida con otra fuente de agua (uso indirecto); en todo América Latina hay un mínimo de 981.445 hectáreas regadas con agua residual cruda o diluida (Egocheaga y Moscoso, 2004).

En el Ecuador, el manejo de desechos líquidos, en lo que respecta al tratamiento de aguas residuales domésticas, representa un gran problema en sus ciudades, por la falta de inversión económica, el poco interés de preservar el medio ambiente por parte de las autoridades competentes y la no aplicación de las disposiciones legales, lo cual está generando una contaminación progresiva.

La ciudad de Calceta en la provincia de Manabí no es ajena a este problema; el sistema de depuración existente consiste en lagunas de estabilización que sirven para el tratamiento de desechos líquidos domésticos y que utilizan un proceso biológico, químico y físico conocido con el nombre de auto purificación natural.

El diseño original fue realizado en el año de 1972, hace 40 años; en el año 2005 se procedió a un rediseño del sistema, en terrenos propios de la Ilustre Municipalidad, ubicados al lado del camal municipal de dicha ciudad y adyacente a las antiguas lagunas de tratamiento de las aguas residuales domésticas. Este nuevo sistema involucra: un proceso de pre tratamiento constituido por un biorreactor anaerobio, seguido por dos lagunas facultativas y dos de maduración (Consultora Espiral Contespi Cía. Ltda., 2005).

Los criterios técnicos que tienen incidencia en el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, son los planes de estudios establecidos, apoyados por los análisis de las aguas residuales efectuados durante la etapa de monitoreo, tablas, cuadros y un conjunto de conocimientos técnicos basados en la tecnología, los cuales dependen del espacio físico, la maquinaria y la infraestructura utilizada en la construcción del sistema, todos estos parámetros son indispensables para ejecutar un diseño óptimo y cumplir con las normas ambientales vigentes.

Mendoza, (2000) y ETAPA (2011) sostiene que la manera más eficaz de tratar aguas residuales es considerando el siguiente procedimiento:

Estructuras de tratamiento preliminar.

Lagunas anaerobias o aerobias.

Lagunas facultativas.

Lagunas de maduración.

ETAPA (2011) dice que, las estructuras de tratamiento preliminar son las que están ubicadas antes de las lagunas de tratamiento. Dentro de las estructuras de pre-tratamiento o tratamiento preliminar tenemos:

Cajón de llegada - by pass - compuerta de admisión.

Cribas mecánicas autolimpiantes.

Desarenadores cuadrados de flujo horizontal.

Tchobanoglous, (2000) dice que las lagunas aerobias son pocas profundas para permitir la penetración de la luz del sol en toda la columna de agua, este tipo de lagunas tiene una gran actividad fotosintética durante las horas de luz solar en toda la columna de agua; su profundidad varía entre 1 y 2 pies (0,3 y 0,6 m). Las lagunas están diseñadas para aumentar la actividad fotosintética de las algas se denominan también lagunas de alta tasa de crecimiento.

Nogales (2002) manifiesta que en las lagunas facultativas el desecho biológicamente tratado en las lagunas aeradas, es descargado a ella. Estas unidades para funcionar como facultativas tienen que cumplir dos requisitos fundamentales que son: tener una adecuada carga facultativa y un balance de oxígeno favorable, capaz de mantener las condiciones aeróbicas sobre el estrato anaeróbico del fondo.

Mendonca (2000) expresa que las lagunas de maduración están en el tercer lugar de la serie de lagunas de una planta de tratamiento y su función es similar a la de las lagunas facultativas, con excepción de la capacidad de almacenamiento de lodos. A estas unidades no llegan sólidos biológicos que no sean algas unicelulares y prácticamente no acumulan lodos, de modo que no es necesaria su limpieza. Tal como se mencionó anteriormente el propósito de estas unidades es similar al de las lagunas facultativas.

La presente investigación planteó los siguientes objetivos: **OBJETIVO GENERAL.**- Diseñar un sistema de tratamiento para las aguas residuales domesticas de la ciudad de Calceta, de acuerdo a normas sanitarias y ambientales vigentes. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**- Evaluar la situación actual del sistema de tratamiento de la ciudad de Calceta (caracterización, medición de volumen y caudal de las aguas residuales). Definir la capacidad del sistema de tratamiento de aguas residuales, generadas por una población de Calceta proyectada a 30 años. Determinar los requerimientos técnicos, costes y ubicación del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Calceta perteneciente al cantón Bolívar que se encuentra ubicado al norte de la provincia de Manabí. El cantón Bolívar posee 538 kilómetros cuadrados, limita al norte con el cantón Chone, al sur con los cantones Portoviejo y Junín, al este con el cantón Pichincha y al oeste con el cantón Tosagua. Geográficamente se encuentra en el este de la provincia de

Manabí su posición geodésica es 0° 50' 39" de Latitud Sur y 80° 9' 33" de Longitud Oeste.

La investigación constó de dos etapas:

## Primera etapa

### Caracterización de las aguas residuales

**Física y Química.-** Se tomó la muestra de agua tanto del afluente como del efluente del sistema de tratamiento actual. Los parámetros físicos a caracterizar fueron: sólidos totales, sólidos suspendidos; y los parámetros químicos fueron: pH, DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), nitrógeno y fósforo total, grasas y aceites. Para el efecto se realizó un monitoreo durante cinco días, tomando una muestra por día.

**Biológica.-** Se tomó la muestra de agua tanto del afluente como del efluente del sistema de tratamiento actual. El parámetro biológico analizado fue coliformes fecales.

**Cuadro 1.** Límites permisibles en descarga de cuerpos de agua dulce (TULSMA, 2003)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coliformes Fecales		CF/100 ml	Remoción > al 99,9%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	250
Fósforo total	P	mg/l	10
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	15

Potencial de hidrógeno	pH	pH	5-9
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sólidos Suspendidos	SS	mg/l	100

Para llevar a efecto el cálculo del porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros se consideró los valores del afluente y del efluente utilizando la siguiente ecuación:

$$\%REMOCION = \frac{A - E}{A} * 100$$

**Donde:**

A= Afluente

E= Efluente

%REMOCIÓN= Porcentaje de Remoción.

**Medición del caudal de agua residual.-** Para calcular el caudal de agua residual se utilizó los datos estadísticos de producción de agua potable facilitados por la Empresa de Agua Potable de Calceta y mediante una fórmula establecida empíricamente se reemplazó los datos y de esta manera se obtuvo el volumen y el caudal de agua actual del sistema de tratamiento actual.

$$Q_{dAR} = C.A.P. * Pobl.$$

Qdar: Caudal de agua residual (litros/día)

C.A.P.: Consumo de agua potable (litros/habitante\*día)

Pobl.: Población (Habitantes)

## Segunda etapa

### Determinación técnica, económica del sistema de tratamiento

En esta etapa se procedió a la elaboración de la propuesta en lo que concierne a la determinación de los requerimientos técnicos, económicos y ubicación del nuevo

sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas, de la ciudad de Calceta, para lo cual se utilizó como guía metodológica el Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad para sistemas de tratamiento para aguas residuales domésticas (Oakley, 2005).

Los parámetros considerados fueron los siguientes:

Caudal de entrada, para el dimensionamiento de las unidades del tratamiento preliminar (canales, medidor Pharsall, cribas y desarenadores).

Para el tratamiento biológico se consideró la reducción de los coliformes fecales utilizando el modelo de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de lagunas (anaerobia, aerobia, facultativa y de maduración), así como también el caudal de entrada y el tiempo de retención en cada laguna.

Las normas de descarga de aguas servidas a un cuerpo receptor de agua dulce expuesta en la legislación ambiental secundaria, (cuadro 1) complementando la investigación con estudios realizados por funcionarios de la municipalidad como lo es el plan estratégico del cantón Bolívar elaborado en el año 2003.

El costo del sistema de tratamiento de aguas residuales depende de su localización y de los precios en el momento de su construcción. La relación entre los costos actuales y pasados se expresó mediante índices de costos de construcción. Para la estimación de los costos aproximados se utilizó costos de inversión per cápita, los cuales sirvió para proyectar las inversiones futuras en el área de saneamiento.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Primera Etapa.-** De los parámetros analizados, los que están por encima de los valores permisibles son  $DBO_5$ , DQO y coliformes fecales, los cuales son

perjudiciales para el medio ambiente y los habitantes de la ciudad de Calceta, resultados que coinciden con lo dicho por TULSMA, (2003) el cual expresa que cuando los valores de DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes fecales están por encima de los valores permisibles en el efluente produce el consumo excesivo de oxígeno, por lo cual, origina la eutrofización; además provoca la mortalidad de la fauna acuática, y también da origen a enfermedades.

**Cuadro 2.** Valores de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual

<b>Parámetros Físicos</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Puntos de Muestras</b>	<b>Valores encontrados</b>	<b>Valores permisibles</b>
Sólidos totales	Afluente	880 mg/l	-----
	Efluente	751 mg/l	1600 mg/l
Sólidos suspendidos	Afluente	945 mg/l	-----
	Efluente	621 mg/l	100 mg/l
<b>Parámetros Químicos</b>			
pH	Afluente	6,90	-----
	Efluente	7,10	5 - 9
DBO <sub>5</sub>	Afluente	444 mg/l	-----
	Efluente	108 mg/l	100 mg/l
DQO	Afluente	786 mg/l	-----
	Efluente	259 mg/l	250 mg/l
Aceites y grasas	Afluente	14,88 mg/l	-----
	Efluente	9,59 mg/l	0,30 mg/l
Fósforo total	Afluente	12,50 mg/l	-----
	Efluente	1,40 mg/l	10 mg/l
Nitrógeno total	Afluente	58 mg/l	-----
	Efluente	4 mg/l	15 mg/l
<b>Parámetro Biológico</b>			
Coliformes fecales	Afluente	1'600.000 CF/ml	-----
	Efluente	170.000 CF/ml	REMOCIÓN > 99,9%



## **Segunda etapa**

### **Requerimientos técnicos, costes y ubicación del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.**

#### **Técnicos**

El sistema de tratamiento para las aguas residuales del cantón Bolívar constará de los siguientes elementos:

#### **Sistema de tratamiento preliminar.-** Consta de:

- Un cajón de recepción y aliviadero cuya función será recibir las aguas residuales bombeadas de la estación actual del cantón Bolívar.
  
- Sistema de rejillas el cual poseerá una rejilla principal ubicada frontal al ingreso del agua y otra rejilla alterna ubicada lateralmente al ingreso del agua, la función a desempeñar es la remoción de sólidos gruesos en suspensión, así como de cuerpos flotantes, como estopa, papel, paño, madera, plástico, etc.
  
- Desarenadores con dos compuertas de entrada de agua, la función a cumplir es retener la arena y otros residuos minerales y pesados que se encuentran en las aguas residuales, se ubicaran dos desarenadores, uno estará en funcionamiento y el otro cuando pasen 15 días de actividad del primero, se le realizará mantenimiento para lo cual se abrirá el segundo desarenador y así sucesivamente.
  
- Canaleta Parshall, es una estructura de paredes verticales, constituida a partir de la entrada por un trecho convergente con el fondo, en los sentidos longitudinales y transversal, de un trecho contraído y de una sección divergente en pendiente, la función a cumplir es medir el caudal de ingreso y la velocidad del agua en régimen de escurrimiento libre; las canaletas Parshall son especificados por el ancho nominal, número con que convencionalmente se identifican.

- Sistema de trampas y grasas, es una sección rectangular en la cual se captura y eliminan las grasas y aceites presentes en el agua residual.

- Canal derivador con pendiente a cada laguna anaerobia, con plato de llegada que por lo normal es construido de hormigón simple.

**Tratamiento de lodos.-** Es un área designada para que el lodo extraído de la laguna anaerobia tenga un adecuado tratamiento y pueda ser utilizado como abono para los cultivos agrícolas. Tiene una dimensión de 148,1 metros de largo por 156,2 metros de ancho.

**Lagunas anaerobias.-** Son en las que el agua residual iniciará el tratamiento, funcionan como un tanque séptico abierto y en ellas están presentes los mismos grupos de bacterias existentes en los pozos sépticos y en los digestores anaerobios, tiene una dimensión de 139 metros de largo por 53 metros de ancho. Cada laguna constará de una ranfla con el objetivo de que por ella ingresen los vehículos en el momento que se de mantenimiento a la laguna, ubicada estratégicamente para que circule por el carretero interno de la planta y los lodos puedan ser ubicados en el área de tratamiento asignados para ellos. Además constará de un pozo vertedero cuyo función es por rebose alimentar a las lagunas facultativas. Constará de dos lagunas para el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento.

**Laguna facultativa.-** Su función es presentar las condiciones adecuadas de mortalidad bacteriana, lo cual se da cuando la población de algas al alimentarse básicamente del sistema carbonatado. Tiene una dimensión de 296 metros de largo por 92,4 metros de ancho. Posee un plato de llegada de agua que por lo normal es construido de hormigón simple. Además cuenta con un pozo vertedero cuyo función es por rebose alimentar a la laguna de maduración o pulimiento 1.

**Laguna de maduración.-** Posee dos lagunas, una laguna de maduración o pulimiento 1 y una laguna de maduración o pulimiento 2, es la última en el tratamiento de las aguas residuales por lo cual posee una tubería que descarga al río. Su función es presentar las condiciones adecuadas de balance de oxígeno, de modo que se pueda sustentar una adecuada biomasa de algas unicelulares en la parte superior de la laguna. Tiene una dimensión de 296 metros de largo por 74,4 metros de ancho. Posee un plato de llegada de agua que por lo normal es construido de hormigón simple. Además cuenta con un pozo vertedero cuya función es por rebose alimentar a la laguna de maduración o pulimiento 2.

Las dimensiones del sistema de tratamiento preliminar, tratamiento de lodos, lagunas anaerobias, laguna facultativa y maduración, son las adecuadas para cumplir con las normas ambientales de tratamiento de aguas residuales domésticas, resultados que coinciden con lo dicho por Mendoca, (2000) en donde expresa que, la manera más eficaz de tratar aguas residuales es considerando: Estructuras de tratamiento preliminar, lagunas anaerobias, lagunas facultativas y lagunas de maduración.

### **Costos**

El costo de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales para el cantón Bolívar es de \$ 2'031.077,99 en el que están incluidos grupos de rubros importantes como se muestra en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Rubros considerados en la implantación de la planta

<b>Grupos de Rubros</b>	<b>Costo Total</b>
Implementos de bombeo	118.567,33
Línea de impulsión	55.341,63
Laguna de Oxidación, obras de interconexión y tratamiento preliminar	937.541,87
Línea de descarga al río	19.483,77
Vía interna y rampa	222.600,94
Cerramiento perimetral	167.464,35

Caseta de oficina, bodega, baños y laboratorios	50.685,26
Tendido eléctrico	123.392,84
Expropiación predial	336.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>2'031.077,99</b>

## **Ubicación**

La nueva planta de tratamiento de aguas residuales se ubicará en el sitio El Limón porque la topografía del lugar es plana, los terrenos a expropiar dan la superficie requerida, se ubica aguas abajo del río y la planta actual está ubicada muy cerca del área considerada para la implantación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **CONCLUSIONES**

Del análisis y discusión de los resultados se concluye que: El diseño de la nueva planta de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Calceta está compuesta por un sistema preliminar y de estabilización que asegura el adecuado tratamiento del agua residual doméstica. La ubicación de la nueva planta de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Calceta es la idónea para la implantación de esta obra por la topografía que posee y la disponibilidad física del área. El costo para una futura construcción del sistema de tratamiento para las aguas residuales del cantón Bolívar es; \$ 2'031.077,99.

## **LITERATURA CITADA**

Consultora Espiral Contespi Cia. Ltda. 2005. Estudio y diseño de la ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Depuración de aguas residuales de la ciudad de Calceta. Portoviejo, EC.

Egocheaga, L. y Moscoso, J. 2004. Una estrategia para la gestión de las aguas residuales domésticas, CEPIS/OPS, Lima, Perú.

ETAPA (Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca). 2011. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba. Cuenca, EC. p 11 a 23.

Mendonca, S. 2000. Sistemas de Lagunas de Estabilización. Editorial Nomos S.A

Nogales, O. 2002. Minimización de la contaminación del agua y suelo a través del reuso de las aguas residuales domesticas tratadas. Memorias XXV Congreso AIDIS. México – DF

Tchobanoglous, G. 2000. Sistema de tratamiento con lagunas. Aguas Residuales. Quecebor Impreandes.

TULSMA (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria). 2003. Libro VI Anexo 1. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes. Recurso Agua. Quito, EC.

Oakley, S. 2005. Lagunas de Estabilización en Honduras. Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad. California, Estados Unidos.