

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE QUÍMICA**

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO  
DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE PRODUCTORES DE MONTEVERDE S.A, DISTRITO MONTEVERDE,  
PUNTARENAS”**

REALIZADO POR:

SILVIA GONZÁLEZ FUENTES

[sigonzalez.fuentes@gmail.com](mailto:sigonzalez.fuentes@gmail.com)

DIRECTOR:

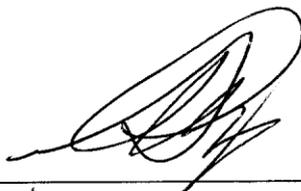
PROF. ALMA DELOYA MARTÍNEZ

CARTAGO JUNIO, 2013

“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PRODUCTORES DE MONTEVERDE S.A, DISTRITO MONTEVERDE, PUNTARENAS”

Informe presentado a la Escuela de Química  
del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero ambiental con el grado en Licenciatura

Miembros del Tribunal



Directora de Trabajo Final de Graduación

Prof. Alma Deloya Martínez



Firma del lector  
Dr. Juan José Monge Marotho



Firma del lector  
MBA Karla Valerín Berrocal

## **DEDICATORIA**

Para mi mamá y mi tío Mon,  
los que me acompañaron y  
aconsejaron a lo largo de este proyecto.

Y para mi profesora,  
que me inspiro a tener imaginación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Para mi familia, mis amigos, mis profesores y demás seres queridos, que de alguna forma influyeron en mí para ser la persona que soy hoy, y la profesional en la que me convierto.

Gracias por apoyarme en las buenas y en las malas, y enseñarme a seguir adelante.

## **CONTENIDO**

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS .....	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Visión de la Ingeniería Ambiental.....	1
1.3 Descripción metodológica del proyecto .....	2
1.4 Objetivos.....	3
CAPÍTULO 2 – MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.1 Proceso general de la fabricación de queso.....	4
2.2 Composición de las Aguas Residuales de la fábrica de quesos y la Granja Porcina. ....	6
2.3 Origen de las Aguas Residuales y descripción del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	8
2.3.1 Lagunas de oxidación.....	9
2.4 Información sobre las mejoras en la PTAR .....	10
2.4.1 Tratamientos para compuestos con N y P.....	11
2.4.2 Ventajas y desventajas de los tratamientos para compuestos de N y P.....	14
2.4.3 Tratamiento escogido para remover los compuestos de N y P en Productores de Monteverde S.A., Puntarenas .....	15
2.5 Legislación vigente para AR.....	16
CAPÍTULO 3 – METODOLOGÍA.....	18
3.1 Recolección de información sobre la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales. ....	18
3.1.1 Se realizaron entrevistas a los operadores del Sistema de Aguas Residuales. ....	18
3.1.2 Se revisó la documentación existente de la PTAR.....	18
3.1.3 Capacitación .....	19

3.2 Metodologías de muestreo en la recolección del agua residual en los diferentes puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales. ....	20
3.3 Análisis de las aguas residuales en los laboratorios del Tecnológico de Costa Rica. ....	22
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>23</b>
4.1 Comportamiento del Sistema de Lagunas en los últimos 6 años. ....	23
4.2 Comportamiento de las características de las aguas residuales durante el periodo de evaluaciones y estudio del sistema. ....	35
4.3 Estado de las estructuras que conforman la PTAR de Productores de Monteverde. ....	49
4.4 Propuesta de otro separador de sólidos. ....	54
4.5 Propuesta de humedal complementario en la laguna facultativa para nitrógeno y fósforo. ....	56
4.6 Entrevistas y capacitación a los operadores y encargado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Monteverde. ....	63
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>66</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>71</b>
Anexo 1. Ubicación de la fábrica de quesos y la Granja Porcina. ....	71
Anexo 2. Tabla de parámetros operacionales obligatorios según decreto 33601. ....	72
Anexo 3. Preguntas de la entrevista a los operadores y encargado del sistema de aguas residuales. ....	72
Anexo 4. Material entregado durante la capacitación de los operadores y encargado del sistema de aguas residuales. ....	73
Anexo 5. Tabla para obtener el caudal que sale por el vertedero triangular. ....	78
Anexo 6. Fórmulas para el procesamiento de resultados de análisis de laboratorio .....	79

## ÍNDICE DE CUADROS

NUM.	TÍTULO	PÁG.
2.4.2.1.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS PARA TRATAR LOS COMPUESTOS CON P Y N DE LA PTAR.	14
3.2.1.	DISTRIBUCIÓN DE LOS MUESTREOS COMPUESTOS DURANTE LOS MESES DE SETIEMBRE, OCTUBRE Y NOVIEMBRE (2012).	20
4.4.1.	COSTOS ASOCIADOS A LA INSTALACIÓN DE UN NUEVO SEPARADOR DE SÓLIDOS	56
4.4.2.	OPCIONES DE COMPRA DEL SEPARADOR DE SÓLIDOS DE DOS EMPRESAS NACIONALES.	57
4.5.1.	COSTOS DE INVERSIÓN PARA IMPLEMENTAR EL HUMEDAL ARTIFICIAL EN EL TERRENO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	63
4.6.1.	INFORMACIÓN DE LAS ENTREVISTAS REALIZADAS A LOS OPERADORES DE LA GRANJA PORCINA.	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

NUM.	TÍTULO	PÁG.
2.1.1.	ESQUEMA DE LA FABRICACIÓN DEL QUESO EN PRODUCTORES DE MONTEVERDE, PUNTARENAS.	5
2.3.1.	ESQUEMA DE LA PTAR.	9
2.4.1.1.	ESQUEMA DEL REACTOR ANÓXICO-AEROBIO.	12
3.1.3.1	LISTA DE ASISTENCIA A LA CAPACITACIÓN.	19
3.2.1.	DIBUJO DEL VERTEDERO TRIANGULAR DE 90° EN LA SALIDA DE LA PTAR.	21
4.1.1.	COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL DE VERTIDO DE LA PTAR, DURANTE 6 AÑOS.	25
4.1.2.	COMPORTAMIENTO DE LA DQO Y DBO <sub>5</sub> EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES.	26
4.1.3.	COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN LA LAGUNA ANAEROBIA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES DE ESTOS SEIS AÑOS.	27
4.1.4.	COMPORTAMIENTO DE LA DQO Y DBO <sub>5</sub> EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES.	28
4.1.5.	COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.	29

---

4.1.6.	COMPORTAMIENTO DE LOS SSUSPT DE LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.	29
4.1.7.	COMPORTAMIENTO DE LOS SSED DE LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.	30
4.1.8.	COMPORTAMIENTO DEL pH DE LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE 6 AÑOS.	31
4.1.9.	COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE 6 AÑOS.	33
4.1.10.	COMPORTAMIENTO DE LAS GyA EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE 6 AÑOS.	34
4.1.11.	COMPORTAMIENTO DEL SAAM EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE 6 AÑOS.	34
4.1.12.	COMPORTAMIENTO DEL N <sub>T</sub> EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES DEL 2010-2011.	35
4.1.13.	COMPORTAMIENTO DEL P EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES DEL 2010-2011.	36
4.2.1	COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL INFLUENTE Y EFLUENTE EN LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	37
4.2.2.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA DQO Y DBO <sub>5</sub> EN LA PTAR.	39
4.2.3.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL N ORGÁNICO EN LA PTAR.	41
4.2.4.	PRESENCIA DE N <sub>T</sub> Y SU COMPOSICIÓN EN LA PTAR, DURANTE LOS MESES DE MUESTREO.	41
4.2.5.	PRESENCIA DE P <sub>T</sub> EN LA PTAR, DURANTE LOS MESES DE MUESTREO.	44
4.2.6	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL P EN LA PTAR.	45
4.2.7.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS Ssed EN LA PTAR.	46
4.2.8.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS S <sub>susp</sub> T EN LA PTAR.	46

---

---

4.2.9.	COMPORTAMIENTO DEL COLOR APARENTE EN EL AR DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	47
4.2.10.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA TURBIEDAD EN EL AR DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	48
4.2.11.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA EN EL AR DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	49
4.2.12.	COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL pH EN EL AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	49
4.3.1.	SEPARADOR DE SÓLIDOS EN EL ESTABLO DE TOROS.	51
4.3.2.	SEDIMENTADOR Y DESGRASADOR DE LAS AR.	51
4.3.3.	CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDALES DE ENTRADA A LA LAGUNA ANAEROBIA.	52
4.3.4.	CAJA DE PASO, ESQUINA SURESTE, PARA EL AR DE LA A LF.	53
4.3.5.	TUBERÍA DE REBALSO ENTRE LAGUNAS DE OXIDACIÓN.	53
4.3.6.	GEOMEMBRANA EN LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA FACULTATIVA.	54
4.3.7.	VERTEDERO TRIANGULAR EN LA SALIDA DE LA PTAR	55
4.4.1.	ILUSTRACIÓN DE LOS SEPARADORES DE SÓLIDOS EN EL ESTABLO DE TOROS.	56
4.5.1.	DIVISIONES PARA LA LAGUNA FACULTATIVA Y DATOS NECESARIOS PARA LA RECOLECCIÓN DEL LIRIO ACUÁTICO DIARIAMENTE.	59
4.5.2.	ESQUEMA DE UN VERTEDERO DE ALTURA MÓVIL CON BAFLE.	60
4.5.3.	DIMENSIONES DEL BORDE DEL HUMEDAL CON DESAGÜE PARA LLUVIA.	61
4.5.4.	VISTA SUPERIOR DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	62
4.5.5.	RECOLECCIÓN DE LIRIO EN EL HUMEDAL SUPERFICIAL	63

---

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AR: Agua Residual

As: Área superficial

ChMat: Casa de Maternidad

CIIU: Código Internacional Industrial Unificado

CN: Carga de Nitrógeno

CP: Carga de fósforo

CO: Carga Orgánica

COS: Carga Orgánica Superficial

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ELA: Entrada de la Laguna Anaerobia

Est: Separador de sólidos

Int: Salida primera laguna (entrada segunda laguna)

LA: Laguna Anaerobia

LF: Laguna Facultativa

OD: Oxígeno Disuelto

N: Nitrógeno

N Amon. : Nitrógeno Amoniacal

N Org. : Nitrógeno Orgánico

N<sub>T</sub>: Nitrógeno total

P: Fósforo

P<sub>T</sub>: Fósforo total

pH: Potencial de Hidrógeno

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

SLF: Salida de la Laguna Facultativa

SSed: Sólidos Sedimentables

SSuspT: Sólidos Suspendidos Totales

Tr: Tiempo de retención

## **RESUMEN**

Se evalúa la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Productores de Monteverde S.A. La planta funciona desde hace 21 años y recibe las aguas residuales procedentes de la fábrica de productos lácteos y de una porqueriza, con 2500 cerdos. Se realizan muestreos y análisis, para determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica, N Org, P, DQO, Ssed, SsusT y DBO<sub>5</sub>. La eficiencia fue 28%, 17%, 88%, 98%, 76% y 94%, respectivamente. Además, se hacen inspecciones y evaluaciones a las unidades de tratamiento. Encontrándose una filtración en la caja distribuidora de caudales y tubos con atascamientos. Se recomienda construir un separador de sólidos paralelo al actual y un tratamiento complementario, por humedal superficial, para tratar los compuestos nitrogenados y fosfatados, removiéndolos del agua residual vertida a la Quebrada Cambronerero. También, se capacita al operador y encargados, de la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento.

Palabras clave: productos lácteos, cerdos, remoción, materia orgánica, nitrogenados, fosfatados, humedal superficial.

## **ABSTRACT**

Evaluate Treatment Plant Wastewater Productores de Monteverde S.A. The plant has been operating for 21 years and receives wastewater from the dairy factory and a pigsty, with 2500 pigs. Sampling and analysis are conducted to determine the removal efficiency of organic matter, N, P, COD, ssed, SsusT and BOD<sub>5</sub>. The efficiency was 28%, 17%, 88%, 98%, 76% y 94%, respectively. In addition, inspections and assessments to make treatment units. Finding a leak in the headbox flow and clogging pipes. It is recommended to build a solid separator parallel to the existing and complementary treatment for surface wetland to treat nitrogen and phosphate compounds, removing them from wastewater discharged into the Quebrada Cambronerero. Also, it enables the operator and managers, operation and maintenance of the treatment plant.

Key words: milk products, pigs, removal, organic matter, nitrogen, phosphate, wetland surface.

# **CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Definición del Problema**

En la empresa Productores de Monteverde S.A., se mantiene una conciencia ambiental sobre la protección de los recursos naturales y el medio ambiente. Es por esto que ha implementado tecnologías amigables con el ambiente, para tratar sus desechos líquidos. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales consiste en un tanque homogenizador, un separador de sólidos, un sedimentador y dos lagunas de oxidación.

Debido al crecimiento de la producción en la fábrica de productos lácteos, la PTAR requiere realizar ampliaciones y modificaciones, para procesar el aumento de las aguas residuales. Además, debe asegurar un tratamiento efectivo para los compuestos con N y P presentes en estas aguas. Por lo tanto, se consideró importante realizar una evaluación de su funcionamiento y compararlo con el diseño original, y a la vez, modificar algunas unidades del sistema, para obtener mejores resultados en los parámetros de calidad del agua vertida a la Quebrada Cambroneo.

Fue necesaria la evaluación para poder determinar la capacidad futura de la PTAR y las modificaciones en infraestructura de tratamiento para aumentar la vida útil del sistema y optimizar su funcionamiento.

## **1.2 Visión de la Ingeniería Ambiental**

La evaluación y funcionamiento de una PTAR es una labor ambiental donde se manifiesta una de las funciones del Ing. Ambiental, la cual es la prevención de la contaminación ambiental. Es decir, al evaluarla, se logran localizar las fallas que pueden llegar a convertirse en graves problemas, por lo cual, se pueden remediar antes, o en caso de no poderse modificar, se puede tener un plan de emergencia para disminuir los daños que se puedan presentar.

Por otro lado, el diseño de un tratamiento complementario como la eliminación de los N y P, cumple con el objetivo ambiental de mejora continua; o sea se le está sumando otra parte al sistema, y se le incrementa la calidad del agua tratada, la cual será vertida en un cuerpo de agua,

el cual a su vez, es usado como fuente de abastecimiento para algunas familias o proyectos (ganadería, agricultura).

Estos objetivos van a llevar hacia un proceso ambientalmente sostenible a la empresa Productores de Monteverde S.A, ya que el mejoramiento de la calidad del agua se acerca más, a lo que la empresa consume y lo que debe regresar a la naturaleza.

### **1.3 Descripción metodológica del proyecto**

El sistema de tratamiento de las aguas residuales se evaluó por medio de los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, Ssed, SsuspT, N, P, color aparente, turbiedad, pH y temperatura. Ya que estos son los parámetros operacionales que indican la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica, la presencia de sólidos sedimentables, suspendidos y coloidales, la acidez y temperatura, en el agua residual que ingresa y sale de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Además del N y P que se encuentra en el agua residual.

La metodología del proyecto fue la siguiente:

- a. Recolección de muestras de AR en diferentes puntos de la PTAR, para, posteriormente, realizar análisis de laboratorio; con el fin de obtener parámetros operacionales para evaluar el estado del agua residual de entrada y salida de la planta. Obteniéndose la eficiencia de remoción de cada parámetro, al pasar por las distintas unidades de tratamiento.
- b. Realización de inspecciones, para determinar los problemas en los pre-tratamientos y las lagunas de oxidación.
- c. Cotización de un separador de sólidos para trabajar en paralelo con el actual.
- d. Proposición de diseño de tratamiento complementario, humedal superficial. Generación de biomasa (lirio acuático) consumiendo N y P; escogiéndose debido al cero consumo energético y la no generación de lodos. Y la posibilidad de usar los lirios maduros como alimento para toros.

- e. Recolección de información sobre el conocimiento de la operación y mantenimiento dada por los operadores de la PTAR. Y revisar la documentación sobre la PTAR y sus reportes operacionales, de los últimos seis años.
- f. Capacitación del encargado y los operadores del sistema de aguas residuales, en la operación y mantenimiento de las lagunas de oxidación. Siendo los temas principales la operación de ambas lagunas, los parámetros operacionales, el mantenimiento de ambas lagunas, y los problemas que surgen si no se realiza el mantenimiento correctamente; y se duró 2 horas en sesión.

## **1.4 Objetivos**

### Objetivo General

Evaluar el funcionamiento y proponer mejoras a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Productores de Monteverde S.A.

### Objetivos Específicos

- a) Establecer la eficiencia en DQO, DBO, S<sub>suspT</sub>, S<sub>sed</sub>, N y P; y el estado de las estructuras del sistema de tratamiento.
- b) Proponer el diseño para el tratamiento complementario y las recomendaciones de mejora viable, para el tratamiento primario y secundario (lagunas de oxidación), a corto y mediano plazo.
- c) Identificar las oportunidades de mejora a nivel administrativo, concerniente a la operación y mantenimiento de las lagunas de oxidación.

## **CAPÍTULO 2 – MARCO CONCEPTUAL**

La Fábrica de Quesos de Productores de Monteverde S.A. fundada en 1953, con la capacidad de producción de 35 000 kg de leche procesada, ubicada en Monteverde, Puntarenas; cuenta con una selectiva variedad de productos (quesos, derivados y helados).

A lo largo de su funcionamiento, la empresa ha mostrado su compromiso ambiental tratando las aguas residuales. Demostrando una gran responsabilidad ambiental, en la cual se comprometen a enviar todos sus desechos líquidos de producción a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Anexo 1).

### **2.1 Proceso general de la fabricación de queso**

El proceso de la fabricación de queso, en Productores de Monteverde S.A., inicia con la recepción de la leche (35 000 Kg/día provenientes de 180 fincas), la cual se da en la misma fábrica de quesos. Ésta se almacena en tanques que mantienen la temperatura menor a 10 °C; esto debido a que la leche es un producto perecedero, que se puede contaminar y es sensible a las altas temperaturas (Paniagua, 2008). Además se realizan pruebas de laboratorio (naturaleza físico-química, contenido de proteína coagulante, presencia de sustancias inhibidoras y baja tasa microbiana), donde se asegure la calidad de la leche, para ser utilizada en la fabricación del queso y los otros productos (Paniagua, 2008).

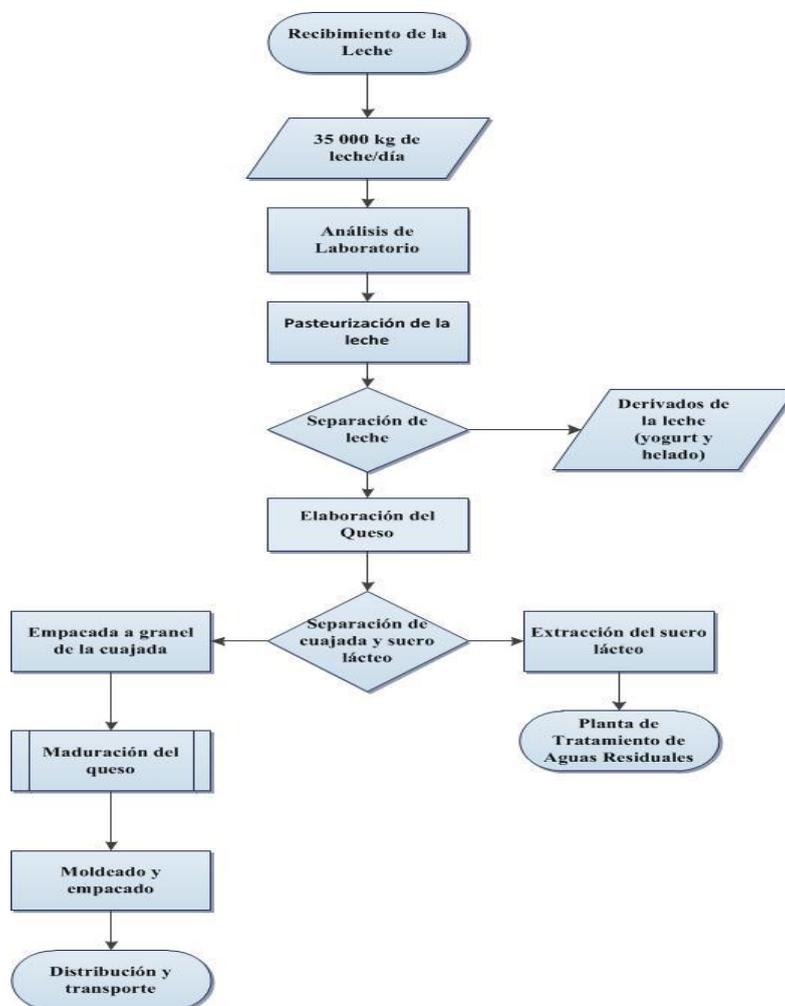
La leche posteriormente es clarificada, pasteurizada y puesta en marcha hacia la planta de producción, donde se separa en la que va a ser utilizada para hacer el queso y la que se dirige hacia la fabricación de los productos derivados de la leche (yogurt, helado).

La leche, para preparar el queso, se deposita en una tina de acero inoxidable. Se mezcla con cultivos de bacterias (productoras de ácido láctico), cultivos de hongos (para quesos de características especiales), cuajo (para la coagulación), cloruro de sodio, agua potable, nitrato de sodio o potasio, sustancias aromatizantes o saborizantes y, ácido cítrico o láctico (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008). La duración de la coagulación y la temperatura, ya están establecidas por el tipo de queso a preparar.

Consecuentemente se forma una masa húmeda (cuajada) que se captura en baldes rectangulares con mallas especiales (permiten la salida de cierta cantidad de suero), y se deja la parte líquida en la tina (lacto suero).

La cuajada permanece un tiempo determinado en almacenamiento (empacado a granel), según el queso deseado, para luego ser prensado y moldeado. Finalmente, se obtiene el queso que se distribuye en el mercado.

En la figura 2.1.1 se visualiza el proceso de fabricación del queso en Productores de Monteverde S.A.



Microsoft Visio

Figura 2.1.1. ESQUEMA DE LA FABRICACIÓN DEL QUESO EN PRODUCTORES DE MONTEVERDE, PUNTARENAS.

## **2.2 Composición de las Aguas Residuales de la fábrica de quesos y la Granja Porcina.**

El desecho líquido de mayor importancia en la fabricación del queso, es el lacto suero o suero lácteo, el cual está constituido químicamente por: agua (93%), sólidos totales (7%), lactosa (4.9-5.1 %), materia grasa (0.3%), cenizas o sustancias minerales (0.6%), proteína total (0.9%), proteínas coagulantes térmicamente (0.5%) y proteínas y materias nitrogenadas no coagulables (0.4%) (FAO, 1985).

El suero lácteo representa del 80-90 % de la leche, y contiene el 50 % de los nutrientes de ésta (Arrey, 2008). Entre los nutrientes se encuentran: calcio, fósforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, caseína, lactalbumina, lactoglobulina, sero albúminas, inmunoglobulinas y proteosa-peptonas (FAO, 1985). Además de cloro, sodio, potasio y ácido láctico (Franchi, 2010).

Por estas propiedades nutritivas, en ciertas sociedades (España, Alemania, Holanda), se consume el suero lácteo como bebida energizante. No obstante, en Costa Rica, es un desecho líquido y que por sus propiedades, resulta difícil de tratar.

La DQO del suero lácteo sin tratar es de 40 000 a 60 000 ppm (Ocampo, y otros, s.f.), mientras que la DBO es de 30 000 a 40 000 ppm (Gutierrez, 2006). Es decir, el desecho líquido es altamente contaminante para el ambiente, si se descarga directamente en él. Como consecuencia pueden causar la eutrofización de un cuerpo de agua.

Una forma de tratar el suero líquido es empleándolo en la alimentación de cerdos, los cuales aseguran una disminución de la contaminación de las aguas, y a la vez, representan un negocio rentable.

Los cerdos (pesos mayores a 45 kg) tienen importantes aumentos de peso (con suero y cereal en la dieta) en comparación con cerdos de dietas más comunes; y para, los otros cerdos de pesos inferiores, es necesario un suplemento proteico. Sin embargo, existe una desventaja para estos animales, cuando consumen más del 20% en peso seco de su alimento en suero, les causa

diarrea y puede, incluso, causar la muerte. No obstante, las probabilidades, de estos casos, son bajas.

La Granja Porcina representa un pre-tratamiento para el suero, ya que al recolectar las excretas de los cerdos, se obtiene una DQO de 27 515 ppm y una DBO de 9 171 ppm (Escalante & Alarcón) en las AR.

De acuerdo con Productores de Monteverde S.A., ellos envían a la Granja Porcina 38 394 kg de suero al día. Sin embargo, no todas las aguas de desecho de la sección de producción son suero, existen las aguas de: lavado de equipo, residuos de suero que no se pudieron mandar a la granja como alimento, residuos de cuajada (ya sea por caída al piso o por no recolección en la tina), residuos de las soluciones alcalinas, ácidas y/o desinfectantes empleados. Y en consecuencia se calcula que la cantidad de suero que viaja en estas aguas residuales es de 713 kg de suero al día.

Además se encuentran los compuestos que viajan en el agua de limpieza que contiene N y P. Esto se debe a que en la tinas de preparación de la cuajada quedan rastros de: lactosa, materia grasa, proteína y sales minerales; por lo tanto, es necesario hacer limpiezas controlando la temperatura y usando detergentes o sustancias limpiadoras que tengan tenso-activos, a veces en presencia de agua y otras en presencia de sustancias alcalinas (Escamilla, 2007).

En la actualidad se aconseja que estas sustancias de limpieza contengan bajas cantidades de compuestos N y P, así como tenso-activos de buena biodegradabilidad, y que no sean derivados del fenol ni tengan metales pesados (Escamilla, 2007).

Las excretas de los cerdos contienen 1.83 mg/L  $N_T$  y 481 mg/L  $P_T$ . El  $N_T$  y  $P_T$  son el resultado de: nitrógeno orgánico más nitrógeno amoniacal, y ortofosfato más polifosfato más compuesto fosfato orgánico, respectivamente. Siendo el nitrógeno orgánico y el ortofosfato, los compuestos que se transforman con mayor velocidad en el ambiente, y los cuales pueden servir de parámetro de operación en un sistema de tratamiento. No obstante, la legislación vigente está utilizando como parámetro de calidad del agua residual, al  $N_T$  y  $P_T$ , los límites máximos permisibles son 50 mg/L y 25 mg/L, respectivamente (Decreto 33601, 2007).

### **2.3 Origen de las Aguas Residuales y descripción del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**

Antes de ser enviada el AR a la Granja Porcina, pasa por una trampa de grasas, que disminuye los grupos de partículas grasosas y evita el paso de sólidos, como bolsas y servilletas plásticas, hacia el sistema de tratamiento. La trampa de grasas es una caja de concreto de 1.5x3 m, con 2.5 m de profundidad.

La Granja Porcina, ubicada a 800 m suroeste de la Fábrica de quesos, posee tres casas de cerdos, llamadas: Casa de cerdos 1: Fertilización, Casa de cerdos 2: Maternidad y Casa de cerdos 3: Desarrollo y Engorde; y un establo de toros.

Hay dos casas de cerdos que son lavadas por las aguas residuales, la 1 y 2. Están construidas especialmente para que cada hora, 1 m<sup>3</sup> de AR, recorra los pisos, arrastrando los desechos sólidos y líquidos de los cerdos, sin que los animales resulten perjudicados por las sustancias químicas presentes en las aguas; ya que se mantienen sobre unas rejillas metálicas y plásticas.

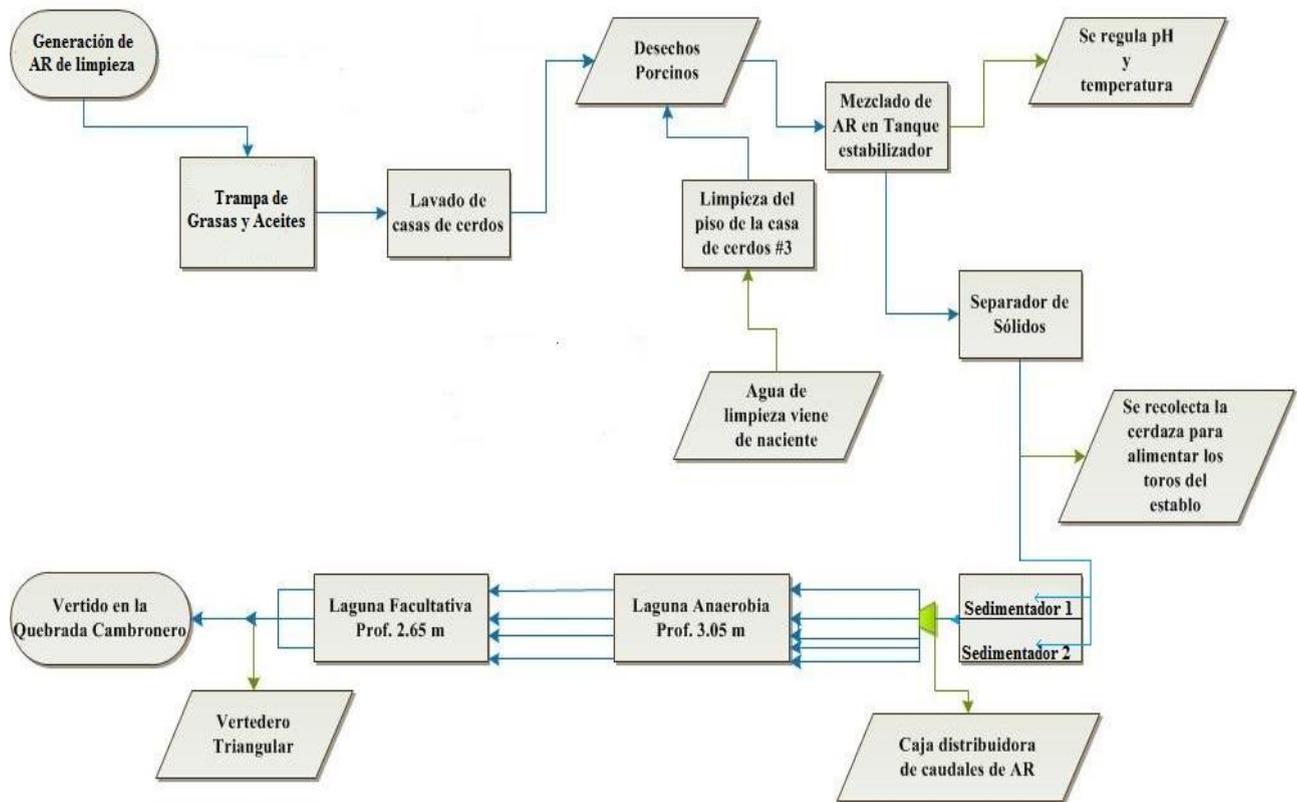
En la 3, el agua que limpia los pisos proviene de una naciente. Por su calidad natural no necesita tratamientos y puede entrar en contacto con los animales.

Los desechos líquidos pasan de las casas de cerdos a un tanque estabilizador de 180 m<sup>3</sup>, el cual se utiliza como homogenizador o de ecualización de las AR, y a la vez permite regular el caudal que va a pasar al resto de la planta de tratamiento.

El siguiente paso en el tratamiento es el cribado o separador de sólidos, donde los granos y sólidos de tamaño apreciable quedan en una rejilla. Los sólidos recolectados o cerdaza, sirven como alimento para ganado (Arronis, s.f.). En la Granja, se tiene un establo de 30 toros, los cuales tienen una dieta de cerdaza y pasto.

Inmediatamente después, el AR, es depositado en dos tanques de concreto (1.5 x 2 m cada uno), que sirven como sedimentadores, para separar los sólidos más pesados del agua residual.

Prosiguiendo el recorrido, el agua residual llega combinada de las dos actividades (quesera y porqueriza), a una caja de registro que sirve como distribuidora del AR en cinco tubos (entradas del AR a la 1ª laguna de oxidación); ésta a su vez se comunica con la última laguna de oxidación por medio de cuatro cajas de registro, y en la salida de ésta, se encuentran tres salidas triangulares para el paso regulado del agua, y por medio de un tubo que las atraviesa, se recogen los efluentes en uno solo y se pasan a una caja de registro que contiene al vertedero triangular, en el cual se mide el caudal de salida del efluente del sistema de tratamiento hacia la Quebrada Cambroneo. En la Figura 2.3.1 se puede observar un esquema de la PTAR.



Microsoft Visio

Figura 2.3.1. ESQUEMA DE LA PTAR.

### 2.3.1 Lagunas de oxidación

La primera laguna de oxidación es anaerobia, por lo cual puede soportar cargas orgánicas superficiales superiores a 1000 kg DBO/ha.día. Mientras que la segunda laguna de oxidación es facultativa, la carga orgánica superficial estará entre 220 y 550 kg DBO/ha.día (Ramalho, 1983).

La carga orgánica superficial es un parámetro de diseño que indica que tipo de sistema biológico está trabajando en la unidad.

Algunos autores (Ramalho, 1983; Metcalf, Eddy, & Inc., 2003; Correa, 2008) consideran que las lagunas de oxidación trabajan con mayor eficiencia cuando van en serie, como en este caso, y no en paralelo. Además de ir desde una laguna anaerobia a una facultativa, ya que la carga orgánica va disminuyendo significativamente en la anaerobia.

Ambas lagunas tienen como fin disminuir la materia orgánica, eliminar sólidos suspendidos y sedimentables (sólidos totales), aumentar el oxígeno disuelto en el agua de vertido, eliminar las grasas y aceites, las sustancias activas al azul de metileno (detergentes y jabones), y patógenos (Ramalho, 1983). Todas estas características son parámetros que determinan la calidad del efluente, y así prever una posible contaminación del cuerpo receptor. No obstante, no contemplan los compuestos de  $N_T$  y  $P_T$ .

En la PTAR, la laguna anaerobia cuenta con un área de 1 800 m<sup>2</sup>, una profundidad de 3.05 m, y un tiempo de retención de 19 días; por otro lado, la laguna facultativa posee un área de 2 200 m<sup>2</sup>, una profundidad de 2.66 m y un tiempo de retención de 14 días (Deloya, 1994).

## **2.4 Información sobre las mejoras en la PTAR**

Como se observa en la PTAR, las unidades de tratamiento son amigables con el ambiente, es decir, no hay demanda de alto consumo de energía eléctrica o de combustibles fósiles para llevar a cabo los procesos; por lo tanto, el separador de sólidos y el tratamiento complementario para el N y P, tendrán que seguir con esta línea de trabajo.

Las posibles mejoras que se pueden presentar son en el pre-tratamiento y tratamiento de N y P, ya que estos contribuyen con el buen o mal funcionamiento de las lagunas de oxidación. Por lo que se diseña el tratamiento complementario para los compuestos con N y P.

Los compuestos nitrogenados y fosfatados presentes en las aguas de desecho se deben principalmente a las excretas de los cerdos, (Mariscal, 2007) y a los productos químicos

utilizados en la elaboración del queso y limpieza de los equipos (especialmente contribuyen con el P) (Organización Mundial de la Salud, 2011).

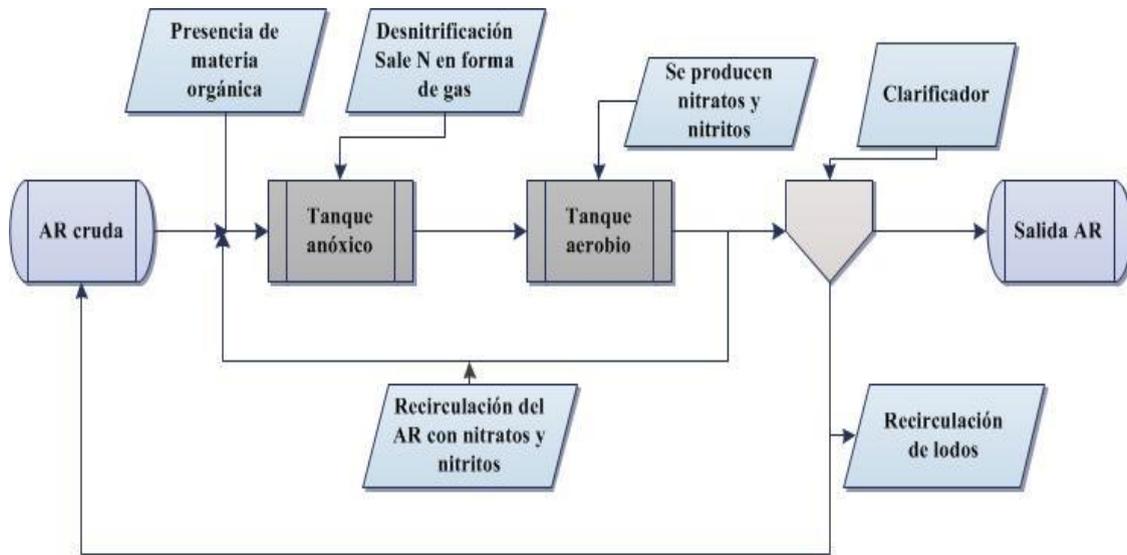
Los compuestos de N y P se remueven por tratamientos como el reactor secuencial de lodos activados, por humedales y tratamientos químicos como se explica en el siguiente apartado 2.4.1. La mejor opción, por ahorro en el consumo energético, mantenimiento y operación, y la poca generación de lodos, es la modificación de la segunda laguna y construcción de un humedal superficial.

El humedal superficial contiene plantas acuáticas que consumen el N y P, presentes en el agua, para su crecimiento; además no necesita de oxigenación artificial, como los reactores aerobios o de sustancias químicas, las cuales hay que comprar y dosificar cada cierto tiempo.

#### **2.4.1 Tratamientos para compuestos con N y P**

Entre mayor sea la presencia de estos compuestos en el efluente, mayor será la demanda de oxígeno en el ambiente acuático; también se presentará un crecimiento acelerado de algas y una progresiva eutrofización (Quintal & Martínez). Por lo tanto, se estudia la posibilidad de implementar un tratamiento para la remoción de N y P de las aguas residuales. Entre los métodos biológicos que remueven N se encuentran:

- a. Reactor aerobio-anóxico: presenta microorganismos (*Nitrobacter* y *Nitrosomas*) que utilizan oxígeno para transformar el amoníaco en nitritos y nitratos (nitrificación); para luego pasar a otro reactor, donde otros microorganismos (heterótrofos) lo utilizarán como una fuente optativa de oxígeno (disimilación), como consecuencia el N sale del agua en forma gaseosa (desnitrificación) (Winkler, 1999). Sin embargo, por la presencia de materia orgánica, no se puede establecer esta secuencia en los reactores (la materia orgánica afecta a las bacterias nitrificantes y en el reactor aerobio se necesita materia orgánica), por lo cual, se establece un orden de anóxico-aerobio, y posteriormente un clarificador del agua tratada (Figura 2.4.1.1) (Rodríguez, y otros, 2006).



Microsoft Visio

Figura 2.4.1.1. ESQUEMA DEL REACTOR ANÓXICO-AEROBIO.

- b. Biosíntesis: producción de biomasa a partir de compuestos nitrogenados (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).

Con respecto a los métodos químicos de remoción de N están:

- a. Cal: eleva el pH a 11, se desplazan los iones del amonio y se elimina el amoniaco por arrastre con aire, en torres de contacto (air stripping) (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).
- b. Intercambio iónico: la clinoptilolita (zeolita natural), elimina selectivamente el ión amonio (remoción 90-100%) (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).
- c. Cloración: la reacción del ión amonio y el hipoclorito tienen por resultado la desnitrificación (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).
- d. Coagulación: utilizando sales de aluminio o de hierro. Remoción al 90% (Programa de Medio Ambiente, 2010).
- e. Electrodialísis: remueve nitritos, nitratos y amonio. Remoción es del 90-100% (Programa de Medio Ambiente, 2010).

- f. Ósmosis inversa: remueve nitritos, nitratos y amonio. Remoción al 100% (Programa de Medio Ambiente, 2010).

Por otro lado, la remoción del P se puede realizar por:

- a. Utilización de microorganismos: *Acinetobacter* es la bacteria utilizada en estos casos; se trata de que estas bacterias que consumen ácido acético se sometan a un ambiente aerobio (inyección de O<sub>2</sub>), donde utilizarán el P para sus procesos metabólicos (Rodríguez, y otros, 2006).
- b. Biosíntesis: producción de biomasa a partir de compuestos fosfatados (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).
- c. Lodos activados: se someten los lodos a procesos anaerobio-aerobio, en diferentes reactores. De forma que en el anaerobio se libera P, y este se concentra como polifosfato y en el aerobio, los microorganismos acumuladores de polifosfatos, los almacenan, removiéndolos del agua residual (Perez, Dautant, Contreras, & González, 2002). La remoción es del 20% (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).
- d. Ósmosis inversa: remoción al 100% (Programa de Medio Ambiente, 2010).

Los métodos químicos más tradicionales en la remoción de P, debido a su velocidad de acción, son:

- a. Precipitación: con Ca<sup>2+</sup> (funciona como un formador de sales) (Rodríguez, y otros, 2006), y sales metálicas (cloruro ferroso (dosis: 9-15 mg/L, relación: 3-4), cloruro férrico (dosis: 10-15 mg/L, relación: 4-5), sulfato ferroso (dosis: 8-15 mg/L, relación: 2-5), sulfato férrico (dosis: 5-15 mg/L, relación: 2-5) y sulfato de aluminio (dosis: 10-20 mg/L, relación: 2-4) (Erijman, 2010)). Reaccionan con el P y forman sales (remoción 90-95 %) (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).
- b. Elevación de reaeración: con agua residual relativamente dura, se puede lograr un ambiente donde el CO<sub>2</sub> es desplazado y el pH es elevado, por lo que se presentan reacciones, las cuales provocan que los fosfatos se incorporen a los lodos (remoción 60-90 %) (Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, 2007).

Algunos sistemas se han diseñado para eliminación conjunta de materias orgánicas y nutrientes (N y P). El sistema Banderpho Modificado se constituye por reactores en la secuencia anaerobio-anóxico-aerobio-anóxico-aerobio, y al final un clarificador, con recirculación de lodos (Rodríguez, y otros, 2006). Mientras el Reactor Discontinuo Secuencial (SBR) es un solo reactor, donde ocurren las etapas de anaerobio-anóxico-aerobio, por medio del manejo cuidadoso de llenado, tratamiento y vaciado; y de alternar la inyección de oxígeno para los últimos procesos (Perez, Dautant, Contreras, & González, 2002).

#### 2.4.2 Ventajas y desventajas de los tratamientos para compuestos de N y P.

Las ventajas y desventajas de estos métodos se pueden observar en el cuadro 2.4.2.1.

Cuadro 2.4.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS PARA TRATAR LOS COMPUESTOS DE P Y N DE LAS AR.

MÉTODO	VENTAJA	DESVENTAJA
<b>Reactor aerobio-anóxico</b>	Retira el N.	Generación rápida de lodos y se les debe dar tratamiento, lo cual aumenta los costos de operación del sistema.
<b>Cal</b>	Retira amoníaco.	Sistema de vigilancia operacional más complejo. Necesidad de regular pH, temperatura, alcalinidad, nutrientes, para mantener el sistema en funcionamiento.
		Formación de incrustaciones y contaminación atmosférica.
<b>Ósmosis Inversa</b>	Remoción del 100% de amonio, nitratos, nitritos y P.	Alta inversión y mantenimiento.
<b>Electrodialisis</b>	Remoción del 90-100%, amonio, nitratos y nitritos.	Alta inversión y Mantenimiento.
<b>Intercambio Iónico</b>	Remoción del 90-100% de amonio.	Calidad del producto variable. Costo operacional a largo plazo.
<b>Cloración</b>	Realiza la desnitrificación.	Frecuencia de cambio y costo operacional elevados.
		No realiza la nitrificación. Y puede formar subproductos contaminantes.
<b>Coagulación</b>	Remoción del 90% de N.	Calidad del producto variable. Costo operacional a largo plazo.
		Generación rápida de lodos y se les debe dar tratamiento, lo cual aumenta los costos de operación del sistema.
<b>Utilización de microorganismos</b>	Remoción de P.	Difícil obtención de la bacteria.
		Sistema de operación y mantenimiento más complejo.
<b>Lodos activados</b>	Remueven 20% de P.	Generación rápida de lodos y se les debe dar tratamiento, lo cual aumenta los costos de operación del sistema.

		Sistema de vigilancia operacional más complejo. Necesidad de regular pH, temperatura, alcalinidad, nutrientes, para mantener el sistema en funcionamiento.
		Consumo de energía por necesidad de inyección de oxígeno.
<b>Precipitación</b>	Remoción de P.	Remoción del P dependiendo de la sal.
		Calidad del producto variable. Costo operacional a largo plazo.
<b>Elevación de la reaeración</b>	Remoción del 60-90% del P.	Consumo de energía eléctrica.
		Sistema de operación y mantenimiento más complejo.
<b>Banderpho Modificado</b>	Remoción de N y P	Generación rápida de lodos y se les debe dar tratamiento, lo cual aumenta los costos de operación del sistema.
		Sistema de operación y mantenimiento más complejo.
Consumo de energía por necesidad de inyección de oxígeno.		
<b>SBR</b>		Sistema de operación y mantenimiento más complejo.
	Consumo de energía por necesidad de inyección de oxígeno.	
<b>Biosíntesis</b>	No consumo energía eléctrica.	Generación de mosquitos y larvas.
	Remoción de N y P.	
	Menor costo operacional.	
	No genera lodos significativos en cortos periodos de tiempo.	

### 2.4.3 Tratamiento escogido para remover los compuestos de N y P en Productores de Monteverde S.A., Puntarenas

Debido a la ventaja de tratar tanto al N, como al P, por medios naturales, es decir, no demanda consumo de energía eléctrica, y al mismo tiempo, no produce lodos, además de que su costo de mantenimiento es menor al de los otros métodos, se elige a la biosíntesis como tratamiento complementario; por medio de un humedal superficial, usando lirio acuático como planta emergente.

Instalando un humedal superficial y modificando la segunda laguna facultativa al final como tratamiento de pulido para remover el N y P. Los humedales artificiales pueden remover de un 25 a un 85 % del N (Lara, 1999), y del 40 al 60% del P, del agua residual (Luna & Ramírez, 2004).

Las plantas de lirios acuáticos utilizan especialmente los compuestos de N y P para su crecimiento (Francia, González, Flores, Espinosa, & Sánchez). Además, los lirios son adaptables al clima tropical húmedo. Al finalizar su función en el humedal, los lirios pueden ser cosechados y utilizados como alimento para los toros del establo (Contreras, 1982).

## **2.5 Legislación vigente para AR**

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (Decreto 33601, 2007) controla por medio de reportes operacionales la operación del sistema. El referente establece para la actividad de ganadería de vacas, caballos y ganadería lechera, un CIU 1210, con el cual establece los parámetros especiales, aparte de los obligatorios, que se deben controlar para el desecho producido por la fábrica de productos lácteos. Igualmente, para la actividad de producción de animales domésticos como el cerdo, se tiene un CIU 1221. En ambas actividades, los parámetros extra son: fosfatos (25 mg/L límite máximo permitido) y nitrógeno total (50 mg/L límite máximo permitido). Los límites de vertido de los parámetros de análisis obligatorio están en el capítulo III, artículo 20 del Decreto 33601. Al mismo tiempo para estas actividades, en el artículo 23, se establecen límites de vertido distintos para tres parámetros del artículo 20, (debido a las actividades que se realizan, existen parámetros del artículo 23 que no se pueden cumplir). Estos son DQO (límite: 500 mg/L), DBO<sub>5</sub> (límite: 200 mg/L) y S<sub>suspT</sub> (200 mg/L) (Anexo 2). Y con ellos, es que se realizan los reportes operacionales.

Según el Artículo 33, los muestreos periódicos, los cuales son para realizar los reportes operacionales, los debe realizar un laboratorio acreditado, y en este caso los realiza el laboratorio LAMBDA.

La frecuencia mínima de muestreo periódico y análisis del AR, se determina por el caudal de salida, en el artículo 35 del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales; en este caso, el caudal generado por Productores de Monteverde S.A. menor de 100 m<sup>3</sup>/día, reportado cada 6 meses. Sin embargo, el Artículo 46, establece que la frecuencia mínima para plantas de tratamiento que reciben aguas combinadas de distintas actividades, los reportes operacionales deben presentarse mensualmente al Ministerio de Salud.

El Canon Ambiental por Vertidos establece el cobro por el servicio del uso del recurso hídrico para verter sustancias contaminantes. Este costo a pagar, por uso de los ríos para transportar los desechos líquidos vertidos, se calcula utilizando los parámetros del artículo 8 (DQO y S<sub>suspT</sub>) y el monto de \$0.22 y \$0.19, respectivamente, según el artículo 9. Las fórmulas serían:

Para el periodo de seis años:

$$\text{Costo DQO (\$)} = \frac{\text{kgDQO}}{\text{día}} \times \frac{0.22\$}{\text{kgDQO}} \times \frac{310 \text{ días hábiles}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo S}_{\text{suspT}} (\$) = \frac{\text{kgS}_{\text{suspT}}}{\text{día}} \times \frac{0.19\$}{\text{kgS}_{\text{suspT}}} \times \frac{310 \text{ días hábiles}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo Total (\$)} = \text{Costo DQO(\$)} + \text{Costo S}_{\text{suspT}} (\$)$$

A partir de este último costo, y durante el periodo de seis años, se van a pagar:

- a. Primer año: 10% del costo total.
- b. Segundo año: 20% del costo total.
- c. Tercer año: 40% del costo total.
- d. Cuarto año: 55% del costo total.
- e. Quinto año: 75% del costo total.
- f. Sexto año: 100% del costo total.

## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGÍA**

La metodología se inició con la recolección de información, por medio de entrevistas a los operadores y encargado de la PTAR, y la revisión de los reportes operacionales del sistema de lagunas de oxidación de los últimos seis años. Consecuentemente, se realizó una capacitación a los entrevistados. Al mismo tiempo, se ejecutaron muestreos en diferentes partes del sistema de aguas residuales y se les practicaron análisis de laboratorio. Además, se realizaron observaciones sobre el estado de las unidades del sistema de aguas residuales. A partir de la información recolectada y de los resultados de los análisis se diseñó un humedal superficial, y se presupuestó un separador de sólidos. A continuación se encuentran los puntos de la metodología para realizar el proyecto.

### **3.1 Recolección de información sobre la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales.**

#### **3.1.1 Se realizaron entrevistas a los operadores del Sistema de Aguas Residuales.**

El objetivo fue documentar sobre la operación y mantenimiento dado a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y si existía alguna mejora que se deseaba realizar y cuáles eran los motivos.

El grupo meta estaba conformado por 5 personas, las cuales laboran de lunes a viernes de 7:00 a.m. a 4:00 p.m., y sábados de 7:00-12:00 m.d.

El eje de la entrevista estaba dictado por las preguntas en el anexo 3, cada pregunta está acompañada por su objetivo.

#### **3.1.2 Se revisó la documentación existente de la PTAR**

La documentación de la PTAR está dividida en tres partes, las cuales son:

- a) Memorias de cálculo del diseño de las lagunas de oxidación.
- b) Manual de operación de las lagunas de oxidación.
- c) Reportes operacionales.

Con el fin de observar el comportamiento y funcionamiento de las lagunas de oxidación se tomaron los datos de seis años (2006-2011) y se compararon con la información de la memoria de cálculo del diseño. Además, se confrontó el conocimiento del operador de las lagunas de oxidación con la información del manual de operación; y al mismo tiempo, se usó como base la información del manual de operación para la realización de la capacitación.

### 3.1.3 Capacitación

La fecha para la capacitación fue el 21 de enero, 2013, en la sala de descanso de los operadores y encargado del sistema de aguas residuales. En la cual se les dio permiso a los operadores del sistema y personas involucradas, asistir a la capacitación, con la participación de:

Nombre	Firma
González Fuentes Silvia	
Fuentes Morales Donald	Donald Fuentes m
Jiménez Gómez Roy	Roy Jiménez G
Jiménez Varela Omar	Omar Jiménez Varela
Monge Juan José	
Muñoz Jiménez German	german munoz jimenez
Varela Méndez Giovanni	

Figura 3.1.3.1. LISTA DE ASISTENCIA A LA CAPACITACIÓN.

A los operadores se les entregó el material físico y digital sobre la operación y mantenimiento de las lagunas de oxidación; y se realizó un repaso de este material, explicando cada detalle y recalando los puntos más importantes de mantenimiento.

Además, se les explicó que el conocimiento debe ser de todos, aunque sólo dos de ellos operen diariamente el sistema.

Se realizó una sesión de 40 min, un descanso de 10 min y una práctica de 40 min. Ésta última, fue para repasar los conocimientos sobre la operación y mantenimiento de las lagunas de oxidación; se llevó a cabo visitando las lagunas y la señalización de los defectos de estas, como la presencia de materiales no degradables (bolsas plásticas, jeringas para ganado), o material extraído de la laguna, pero no enterrado.

### **3.2 Metodologías de muestreo en la recolección del agua residual en los diferentes puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales.**

Las muestras fueron de tipo compuesto, por un tiempo de 3 horas cada uno. Se tomaron en total 41 muestras, en los puntos siguientes: en la casa de cerdos de maternidad, en el separador de sólidos, en la entrada de la primera laguna, en la salida de la primera laguna (entrada de la segunda laguna) y la salida de la segunda laguna. Se distribuyeron de la siguiente manera en el cuadro 3.2.1:

Cuadro 3.2.1. PUNTOS DE MUESTREO Y NÚMEROS DE MUESTRAS EN LOS MESES DE SETIEMBRE, OCTUBRE Y NOVIEMBRE (2012).

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Simbología</b>	<b>Cantidad de muestreos</b>
Casa de cerdos de maternidad	ChMat	6
Separador de sólidos	Est	5
Entrada de la primera laguna	ELA	11
Salida de la primera laguna (entrada de la segunda laguna)	Int	8
Salida de la segunda laguna	SLF	11

Por otro lado, para cada muestra se midió el caudal promedio. En el caso de la casa de cerdos de maternidad, el separador de sólidos, la entrada de la primera laguna, se utilizó el método volumétrico; no así, para la salida de la primera laguna (entrada de la segunda laguna) ni en la salida de la segunda laguna.

En la salida de la primera laguna (entrada de la segunda laguna) fue por la ausencia de una caída de AR o por no haber un vertedero, por lo cual, sólo se le tomaron las muestras simples de 500 ml cada 30 min. En la salida de la laguna facultativa, fue porque existe un vertedero triangular, por el cual se calcula con fórmulas matemáticas el caudal aproximado de vertido, de igual forma se tomaron muestras simples de 500 ml cada 30 min.

El método volumétrico se aplicó con un envase plástico de 12 litros, y se usó un cronómetro para medir el tiempo que tardó en llenarse el envase con el AR que se encontraba cayendo en él.

En cambio, la medición del caudal con el vertedero triangular se realizó midiendo, con una regla, la longitud (h en cm) de la carga en la sección de medición (Figura 3.2.1). Posteriormente, se obtuvo el caudal en litros por segundo (L/s), leyendo en una tabla (Anexo 5), para vertedero triangular de 90°.

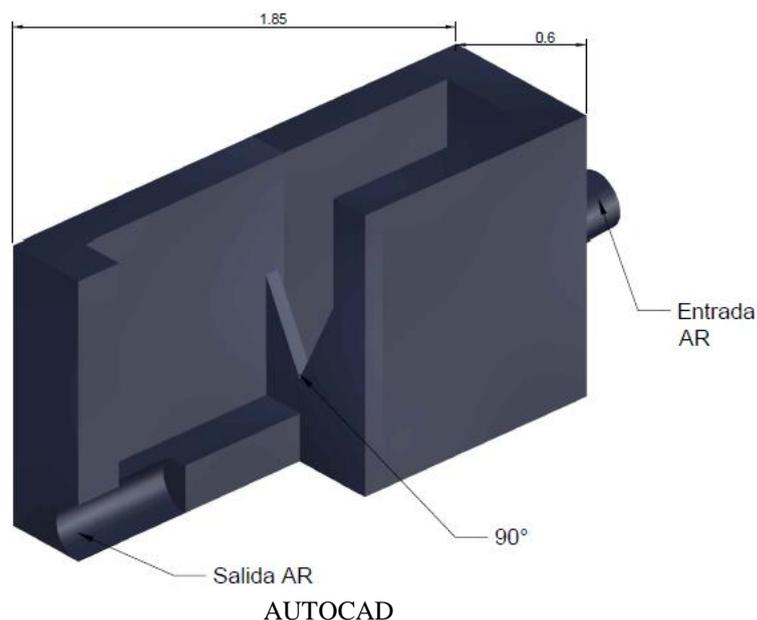


Figura 3.2.1. VERTEDERO TRIANGULAR DE 90° EN LA SALIDA DE LA PTAR.

El caudal diario por el método volumétrico se obtuvo de la siguiente manera:

$$Q \left( \frac{m^3}{día} \right) = Q \left( \frac{L}{s} \right) \times \frac{1 m^3}{1\ 000 L} \times \frac{3600}{1 hora} \times \frac{10 horas de trabajo}{1 día}$$

Donde:

Q= caudal

### **3.3 Análisis de las aguas residuales en los laboratorios del Tecnológico de Costa Rica.**

Los análisis (Ssed, SST, P, DBO<sub>5</sub>) se realizan de acuerdo a los métodos establecidos por el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Mientras que la medición de DQO, se utilizó un espectrofotómetro y no una valoración, el pH y la temperatura, se midieron por medio de un pHmetro, la turbiedad y el color, en un turbidímetro, y el OD, con un medidor de OD; el análisis de N<sub>T</sub> se realizó por el método de Kendall.

Además, se cumplió con las condiciones para el transporte de las muestras, desde el punto de toma hasta el laboratorio, se guardaron en una hielera a temperatura < 4 °C, y por un tiempo máximo de 48 horas, antes de realizar el análisis de DBO<sub>5</sub>; y para los otros análisis, varió el tiempo de espera de la muestra en un refrigerador.

Asimismo, varió el tipo de envase en el cual iba almacenada cada muestra y la necesidad de reactivos para su preservación, según el análisis a realizarle.

Las fórmulas para el procesamiento de resultados de análisis de laboratorio se encuentran en el anexo 6.

## **CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Comportamiento del Sistema de Lagunas en los últimos 6 años.**

La investigación se llevó a cabo en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Productores de Monteverde, ubicado en la Granja Porcina. Se tomaron los datos reportados de enero-2006 a diciembre-2011. Entre los resultados se presentan los aportes siguientes:

Comportamiento del caudal de vertido de la PTAR, durante seis años.

Comportamiento de la DQO y DBO<sub>5</sub> en la entrada de la laguna anaerobia, según los reportes operacionales.

Comportamiento de la eficiencia de remoción en la laguna anaerobia, según los reportes operacionales de estos seis años.

Comportamiento de la DQO y DBO<sub>5</sub> en la entrada de la laguna facultativa, durante seis años, según los reportes operacionales.

Comportamiento de la eficiencia de remoción en la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento de los S<sub>suspT</sub> de la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento de los S<sub>sed</sub> de la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento del pH de la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento de la temperatura en la entrada y salida de la laguna anaerobia y salida de la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento de las GyA en la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento del SAAM en la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, durante seis años.

Comportamiento del  $N_T$  en la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, según los reportes operacionales del 2010-2011.

Comportamiento del P en la entrada de la laguna anaerobia, la salida de la laguna anaerobia y la salida de la laguna facultativa, según los reportes operacionales del 2010-2011.

Los reportes operacionales durante este periodo se realizaron cada 6 meses, por lo que se obtuvieron 2 reportes operacionales registrados por año (basándose en el artículo 35, decreto 33601).

El mismo decreto, establece en el artículo 46, que para las empresas, las cuales tengan mezcla de aguas residuales de diferentes fuentes (quesera y chanchera), los reportes operacionales deben ser entregados cada mes. Esto se puso en práctica a partir de enero, 2013.

Los reportes operacionales desde el 2006 hasta el 2011, mostraron el comportamiento del caudal promedio diario de vertido de la PTAR (figura 4.1.1).

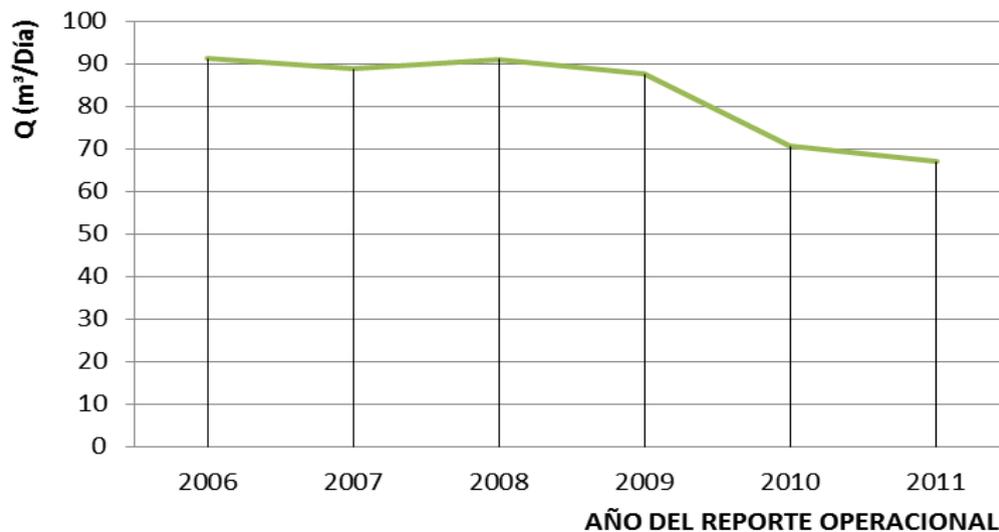


Figura 4.1.1. COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL DE VERTIDO DE LA PTAR EN PRODUCTORES DE MONTEVERDE, DURANTE 6 AÑOS.

Como se observa el caudal de vertido se mantuvo menor a los 100 m<sup>3</sup>/día. Y en los primeros cuatro años cerca de los 90 m<sup>3</sup>/día, fue a partir del 2009 que el caudal disminuye cerca de los 70 m<sup>3</sup>/día; de esto se deduce que hubo un cambio en la concentración del AR que entraba a la PTAR. El Tr que se manejó en promedio fue de: 66 días en la laguna anaerobia y 52 días en la laguna facultativa.

En las figuras 4.1.2, 4.1.3, se observa el comportamiento de la DQO (mg/L) y DBO<sub>5</sub> (mg/L), para estos 6 años en la entrada de la laguna anaerobia.

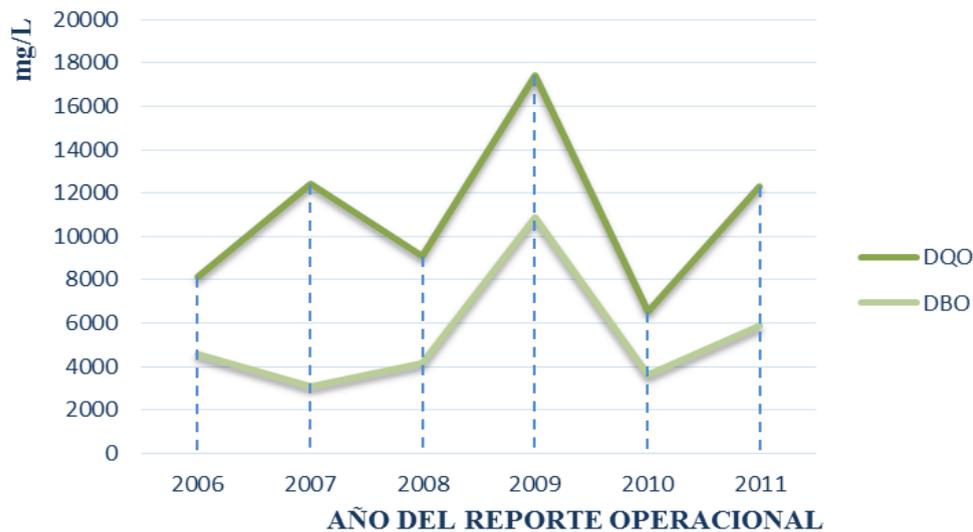


Figura 4.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA DQO Y DBO<sub>5</sub> EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, SEGÚN LOS REPORTE OPERACIONALES.

De esta manera, el comportamiento de la DQO y la DBO<sub>5</sub>, para cada año en la entrada de la laguna anaerobia, demostraron que son correspondientes a lo esperado, es decir, la mitad de la materia orgánica degradable por medio oxidativo, presente en el agua residual, corresponde a la cantidad de materia biodegradable, medida por DBO<sub>5</sub>. Exceptuando en el 2007, lo cual se pudo deber a la presencia de mayor cantidad de sustancias orgánicas no biodegradables en el AR. Es decir, con un cambio en las sustancias de limpieza de los equipos en la fabricación de queso, los cuales no hayan resultado biodegradables, se da un aumento en la DQO y una disminución en la DBO<sub>5</sub>. Sin embargo, para el 2008, regresó la congruencia entre los análisis.

Además se puede observar un pico máximo de DQO y DBO<sub>5</sub>, en el 2009, lo cual pudo haber sido provocado por un aumento en la materia orgánica en las aguas residuales (entrada de una mayor cantidad de excretas de cerdos o un incremento en la producción de suero).

También se observa que la DQO permaneció superior a los 6000 mg/L, por lo tanto, para comprobar si la entrada de materia orgánica es inferior o superior a lo que necesitaba la laguna para ser laguna anaerobia, se compara la COS<sub>diseño</sub> y COS<sub>promedio reportes operacionales</sub>, utilizando la CO promedio de los últimos seis años, 445 kg DBO<sub>5</sub>/día.

$$COS_{promedio\ reportada} = \frac{445 \frac{kg DBO_5}{día}}{1800m^2} \times \frac{10\ 000m^2}{1\ Ha} = 2\ 472 \frac{kg DBO_5}{Ha.\ día}$$

$$COS_{diseño} = 2\ 055\ kg\ DBO_5/Ha.día < COS_{promedio\ reportada} = 2\ 472\ kg\ DBO_5/Ha.día$$

Se obtuvo entonces que la COS<sub>promedio reportes operacionales</sub> fue mayor a COS<sub>diseño</sub>, por lo tanto, la entrada de materia orgánica si abastecía a la laguna para ser un sistema anaerobio.

Para estos seis años, el pico máximo de COS, fue en el 2009, con 5300 kg DBO<sub>5</sub>/Ha.día. Ya que es un pre-tratamiento, lo importante es que disminuya la cantidad de materia orgánica en el agua residual. Y su eficiencia de remoción en promedio, de los seis años, según la CO<sub>reportada</sub>, se mantuvo en 90%. Obsérvese la figura 4.1.3., para ver la eficiencia de remoción anual.

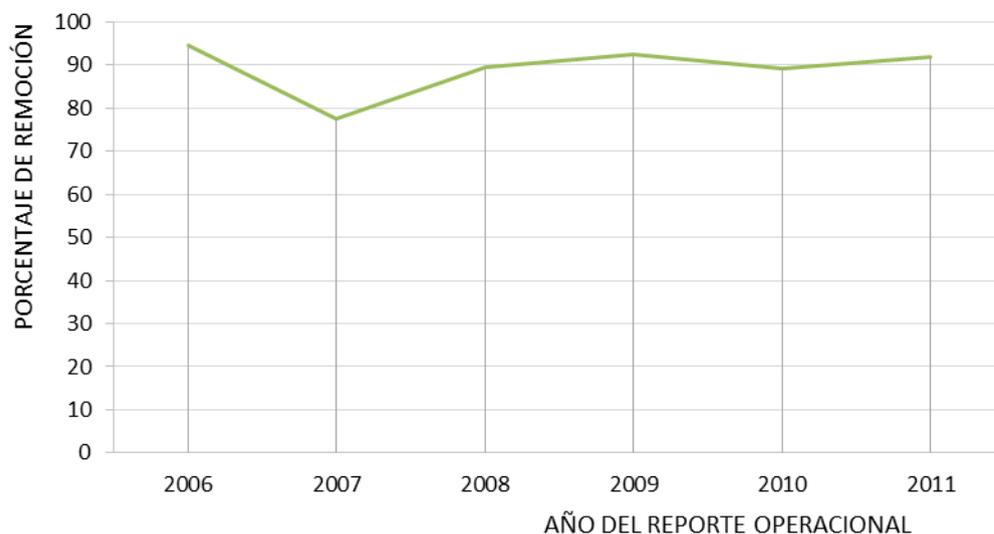


Figura 4.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN LA LAGUNA ANAEROBIA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES DE SEIS AÑOS.

Mientras que en el comportamiento de la DQO y DBO<sub>5</sub> en la entrada a la LF se observa en la figura 4.1.4.

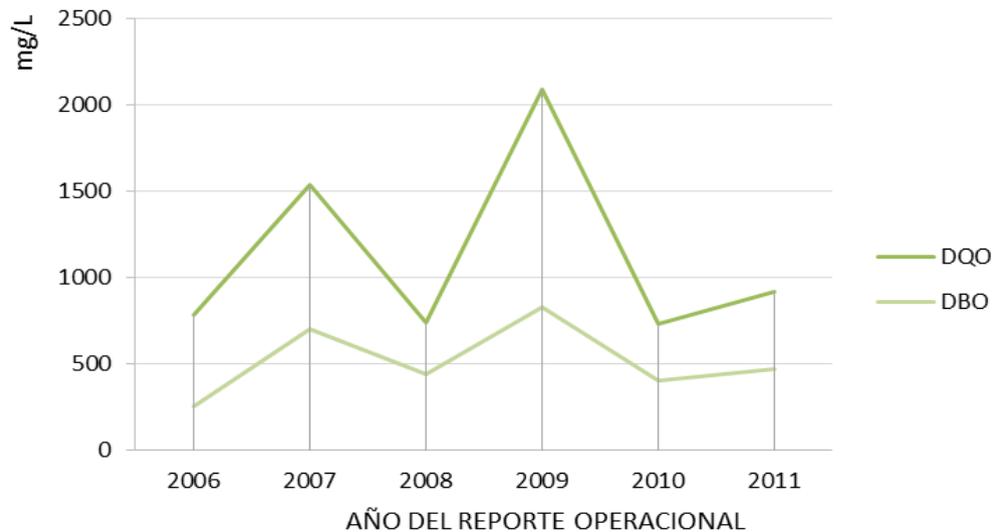


Figura 4.1.4. COMPORTAMIENTO DE LA DQO Y DBO<sub>5</sub> EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES.

El pico máximo para la DQO y DBO<sub>5</sub> fue el año 2009; hubo mayor presencia de materiales no oxidables.

El resultado de la comparación entre la COS de diseño y la reportada en promedio, para conocer si la materia orgánica ingresante era para un sistema facultativo, fue:

$$COS_{promedio\ reportada} = \frac{43 \frac{kg DBO_5}{día}}{2200m^2} \times \frac{10\ 000m^2}{1\ Ha} = 195 \frac{kg DBO_5}{Ha.día}$$

$$COS_{diseño} = 471\ kg\ DBO_5/Ha.día > COS_{reportada\ promedio} = 195\ kg\ DBO_5/Ha.día$$

Es decir, la COS reportada estaba fuera de los límites (220-550 kg DBO<sub>5</sub>/Ha.día), para funcionar como una laguna facultativa. Sin embargo, la COS también se puede disminuir a 100 kg DBO<sub>5</sub>/Ha.día, dependiendo de la cantidad de horas luz y temperatura a la que fue expuesta la laguna.

La eficiencia de remoción promedio para la laguna facultativa fue del 64%, para los seis años analizados.

La eficiencia de remoción varió desde el 2006 hasta el 2011. En la figura 4.1.5. se observa el porcentaje de eliminación de la materia orgánica del agua residual en esta laguna, por año.

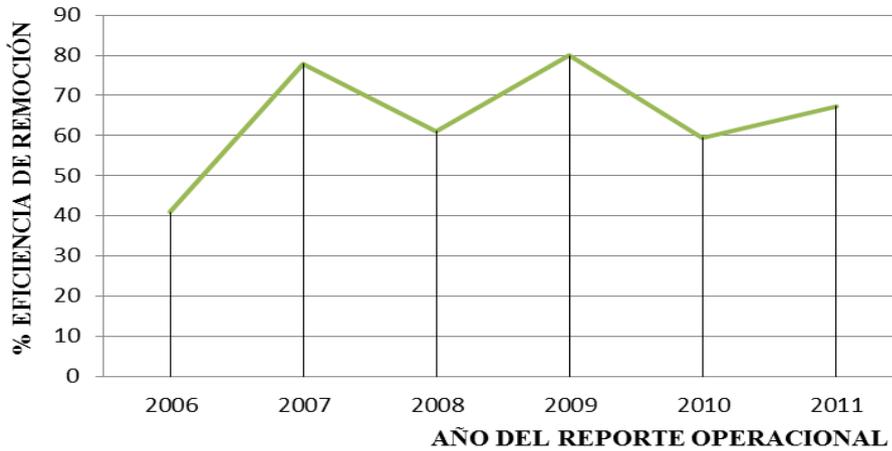


Figura 4.1.5. COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

A continuación, la figura 4.1.6. muestra el comportamiento de los sólidos suspendidos totales, para los 6 años, en la entrada de la laguna anaerobia, salida de la laguna anaerobia (entrada de la laguna facultativa), salida de la laguna facultativa.

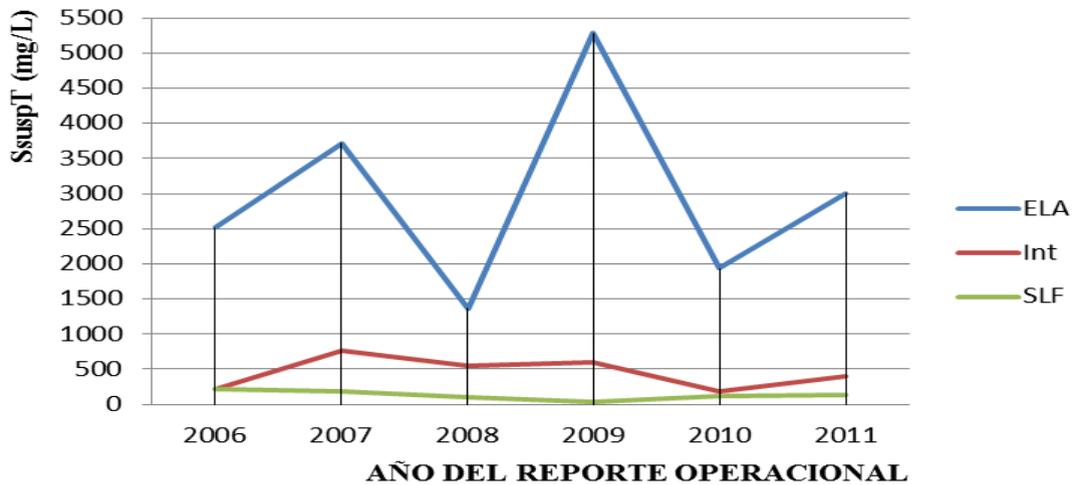


Figura 4.1.6. COMPORTAMIENTO DE LOS SSUSPT EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, ENTRADA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

Como era de esperarse, para cada año, hay una alta entrada de sólidos suspendidos en el AR, y conforme pasaba por las lagunas de oxidación hasta su salida, los sólidos suspendidos iban disminuyendo. El artículo 23, establece como límite máximo permitido de vertido 200 mg/L. Para la salida de la laguna facultativa se reportaron, en promedio, a la salida 133 mg/L para la salida final del sistema, cumpliéndose con Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

El pico máximo de SsusPT se presentó en el 2009 en la ELA, (ver la figura 4.1.6.), pero la laguna anaerobia, se encargó de eliminar este aumento de sólidos suspendidos.

En la figura 4.1.7. muestra el comportamiento de los sólidos sedimentables para la entrada de la laguna anaerobia, salida de la laguna anaerobia (entrada de la laguna facultativa), salida de la laguna facultativa, durante seis años.

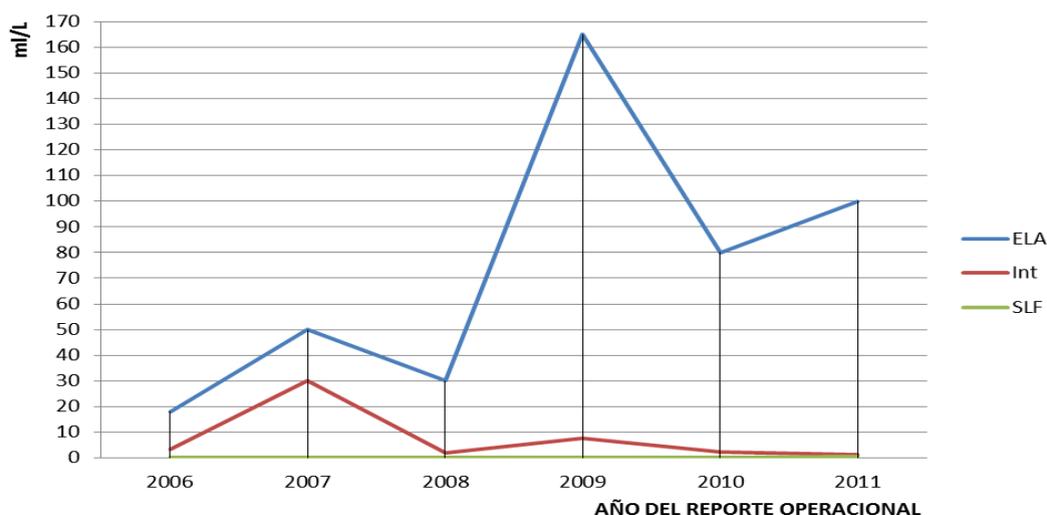


Figura 4.1.7. COMPORTAMIENTO DE LOS Ssed DE LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

La figura 4.1.7. muestra que la entrada de Ssed fue menor a los 200 ml/L, y su salida, prácticamente permaneció en 0 ml/L. El artículo 20 del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, establece el límite de vertido de los Ssed en 1 ml/L.

Para el 2009, se presentó el pico máximo de materia sedimentable en la entrada de la laguna anaerobia, pero después de esta laguna, la mayoría de la materia orgánica sedimentable no llegó a la laguna facultativa. Y a partir de ese año, los Ssed que ingresaron a la laguna anaerobia, superaban los 80 ml/L.

El pH registrado en las lagunas de oxidación, se muestra en la figura 4.1.8. a continuación:

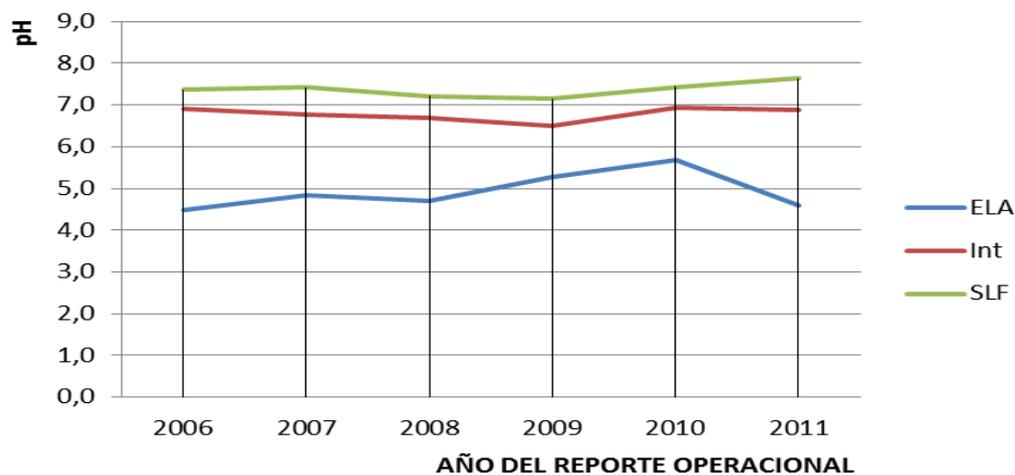


Figura 4.1.8. COMPORTAMIENTO DEL PH DE LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA ENTRADA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

En la entrada de la laguna anaerobia se presentó un pH menor a 6.0, debido a la acidez de las excretas del cerdo (Escalante & Alarcón), y por las etapas de descomposición de la materia orgánica (donde se da la acidogénesis que se presenta en el sistema anaerobio), posteriormente, al salir de la laguna facultativa, el pH tendía a subir por debajo de 7.0, porque la alcalinidad del agua residual en la laguna llegaba a regularlo. Regulándolo dentro de los valores aceptables, para el buen funcionamiento del sistema.

Sin embargo, para el año 2009, no se presentó el aumento observado en los parámetros anteriores (DQO, DBO<sub>5</sub>, S<sub>suspT</sub>, S<sub>sed</sub>), su comportamiento fue uniforme a lo largo de los años, tanto en la entrada como a la salida.

El artículo 20 del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, establece un rango como límite de vertido del pH, 7-9. El promedio de pH reportado para estos seis años fue de 7.4.

En la figura 4.1.9 se muestra la temperatura para estos años, según los reportes operacionales. Para cada año, se observa una temperatura distinta al ingresar a la laguna anaerobia, y pasar a la laguna facultativa, y en el vertido. La temperatura máxima fue de 30°C en el año 2009, en la entrada de la laguna anaerobia, y el vertido fue de 26°C.

La temperatura es un parámetro importante en la operación de las lagunas de oxidación, debido a que los sistemas biológicos tienden a trabajar mejor en el rango óptimo de 25-30 °C (rango de temperatura que se presentó en el 2009). Los procesos de digestión aerobia y nitrificación cesan cuando la temperatura llega a los 50 °C, mientras que, las productoras de metano cesan a los 15 °C, y alrededor de los 5 °C son las autotróficas nitrificantes las que dejan de actuar. Situaciones que no se presentaron durante estos años, pues no hay registros de que la temperatura descendiera por debajo de 20°C.

Otra consecuencia del aumento de la temperatura, es la drástica reducción del oxígeno disuelto (OD), debido a la época de verano. Ya que la reproducción de los microorganismos acelerada se acelera, y por lo tanto, se da un incremento en la velocidad de las reacciones bioquímicas, las cuales necesitan del oxígeno disponible en el AR. Además, al aumentar la temperatura, el oxígeno disuelto tiende a desprenderse del agua, por el aumento de su solubilidad.

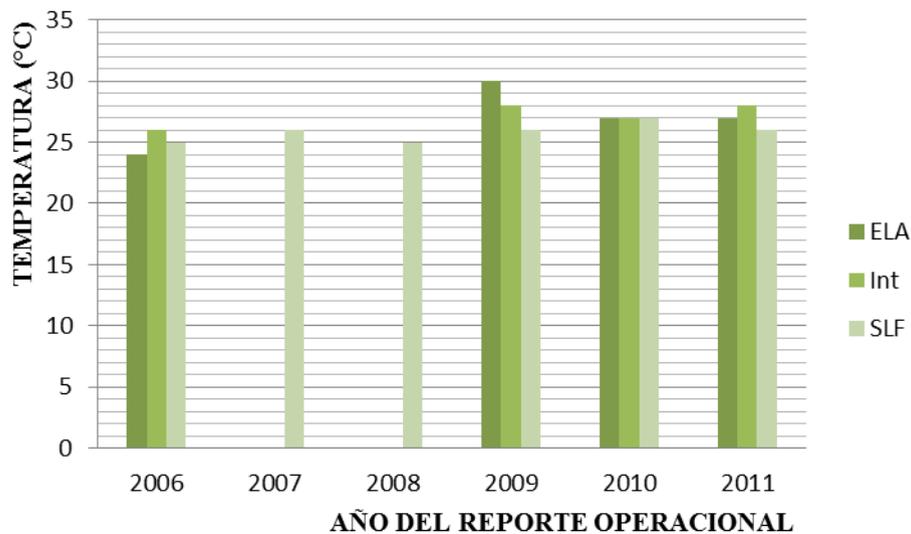


Figura 4.1.9. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

En la figura 4.1.10. se presenta el historial de grasas y aceites desde el 2009 al 2011. Y como se observa, en el año 2009, existía un pico máximo de grasas y aceites, como en los parámetros analizados (DQO, DQO<sub>5</sub>, S<sub>suspT</sub>, S<sub>sed</sub>), por lo cual, se pudo deber a la introducción, en ese año de un nuevo proceso, proveniente de la misma fábrica de quesos; por ejemplo, un nuevo estilo de queso, que generaba aguas residuales con mayor cantidad de grasas y aceites, o por el contrario, se empezó a aplicar la extracción de una proteína específica al suero, y este desecho llegó a la PTAR.

El límite de vertido para grasas y aceites, del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, es de 30 mg/L, y se ha cumplido durante los seis años.

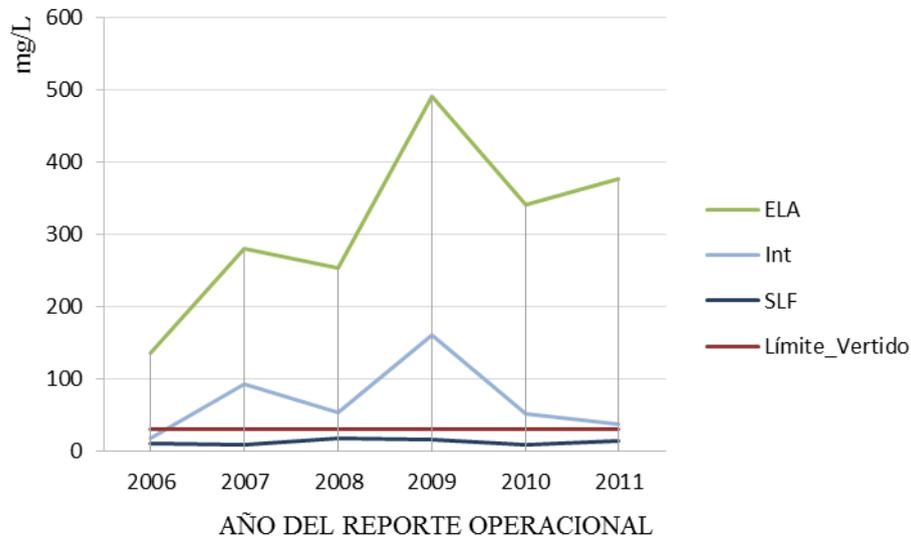


Figura 4.1.10. COMPORTAMIENTO DE LAS GYA EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

El comportamiento de los detergentes (SAAM) en las lagunas de oxidación, se observa en la figura 4.1.11.

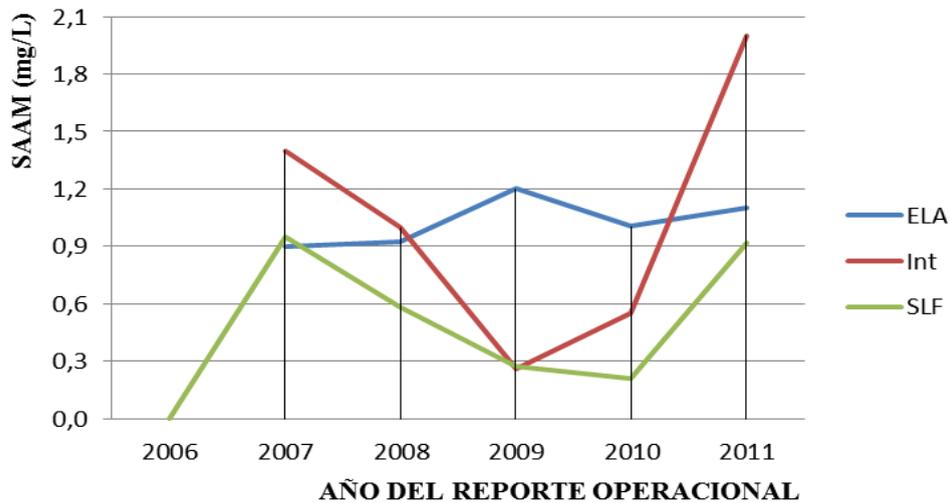


Figura 4.1.11. COMPORTAMIENTO DEL SAAM EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, DURANTE SEIS AÑOS.

Para el año 2006, no se reportaban datos de SAAM en la entrada y salida de la laguna anaerobia. A partir del 2007, en la entrada de la laguna anaerobia, el comportamiento se

encontraba entre los 0,9 y 1,2; y para la salida del vertido hacia el cuerpo receptor se manejaban valores de 0,0 a 0,9. La causa de los cambios en los detergentes, entre la entrada y salida de la laguna anaerobia para el 2009, es desconocida, se podía deber a una acumulación en las grasas flotantes de la laguna anaerobia, y que los detergentes pasaran con el tiempo a la laguna facultativa o también que hubieran cambios en la utilización de productos más eficientes en la limpieza o amigables con el ambiente. Aun así, se cumple con el límite de vertido de 5 mg/L, del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, para estos seis años.

Durante los años 2006 al 2009 no se reportaron N y P. Los reportes operacionales en los que se incluye  $N_T$  y P, son a partir del segundo semestre 2010, por lo que sólo se cuentan con los datos observados en la figura 4.1.12. y figura 4.1.13.

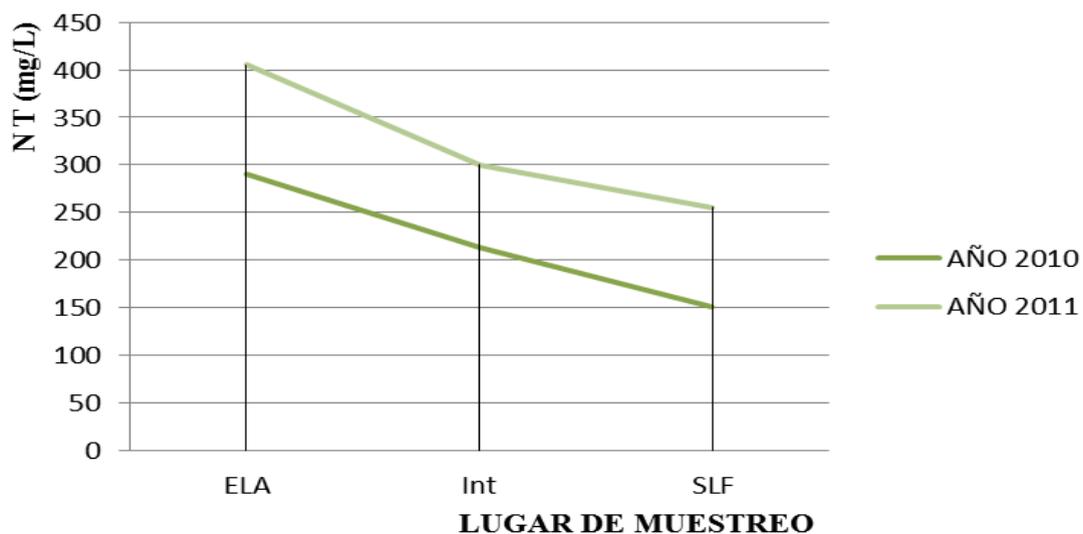


Figura 4.1.12. COMPORTAMIENTO DEL  $N_T$  EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES DEL 2010-2011.

A pesar de mostrar un comportamiento decreciente, el límite máximo para  $N_T$  se encuentra en 50 mg/L, y el dato mínimo obtenido fue en el año 2010, con 150 mg/L. Esto es debido a que las lagunas de oxidación no son buenos sistemas para procesar rápidamente este tipo de compuestos, al contrario, puede que se estén almacenando diferentes compuestos con N (Francia, González, Flores, Espinosa, & Sánchez), y que se estén arrastrando a la salida del sistema.

El comportamiento de los compuestos fosfatados se observa en la figura 4.1.13. E igualmente que en la figura anterior, van decreciendo conforme avanzan en el sistema, sin embargo, el límite máximo permisible de vertido a un cuerpo receptor, según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, es de 25 mg/L, y esta figura muestra que el mínimo dato fue de 140 mg/L, obtenido en el 2010.

Las lagunas de oxidación no son un tratamiento que elimine los fosfatos, porque son compuestos inorganicos y dificiles de oxidar. Ya que las transformaciones que deben sufrir los compuestos para liberar al agua residual, no se dan en este tipo de ambientes (Winkler, 1999).

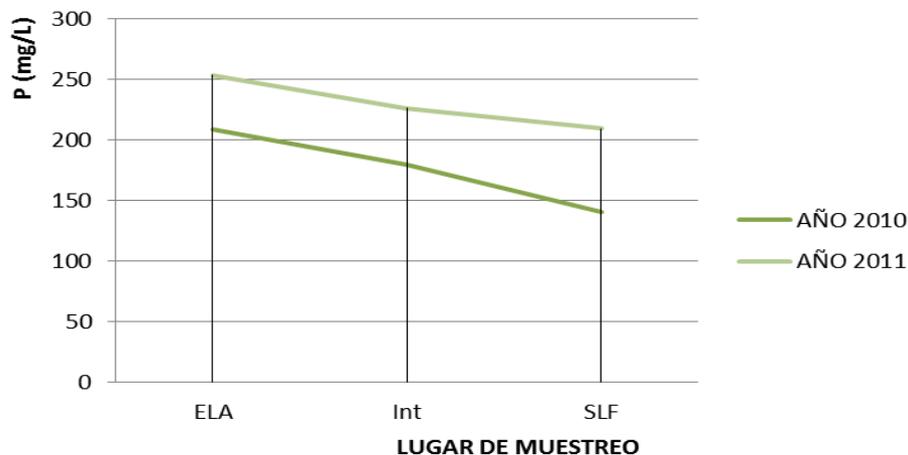


Figura 4.1.13. COMPORTAMIENTO DEL P EN LA ENTRADA DE LA LAGUNA ANAEROBIA, LA SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA Y LA SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIVA, SEGÚN LOS REPORTES OPERACIONALES DEL 2010-2011.

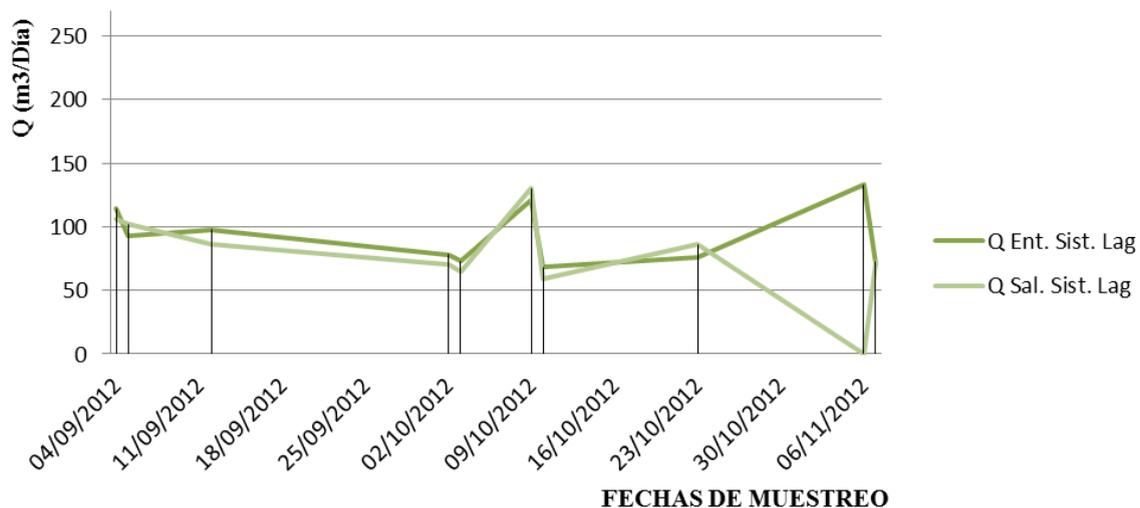
#### **4.2 Comportamiento de las características de las aguas residuales durante el periodo de evaluaciones y estudio del sistema.**

El caudal de las aguas residuales, durante el periodo de setiembre a noviembre (2012), se comportó de la siguiente manera:

El caudal promedio diario mostró una media de: entrada ( $90 \pm 23$ ) m<sup>3</sup>/día y salida ( $80 \pm 35$ ) m<sup>3</sup>/día, es decir, el caudal de entrada de LA y salida de LF, permaneció alrededor de los 100 m<sup>3</sup> en condiciones normales de trabajo de la fabrica y porqueriza. El caudal para la laguna anaerobia fue desde 68 a 133 m<sup>3</sup>/día y para la laguna facultativa de 64 a 130 m<sup>3</sup>/día.

Por lo tanto, el tiempo de retención promedio de diseño (LA: 19 días y LF:14 días), fue diferente al tiempo de retención promedio que se presentó, (LA:61 días y LF:53 días). Sin embargo, esto no afectó el funcionamiento de las lagunas anaerobia y facultativa, al contrario, contribuyó con la eficiencia de remoción, al permanecer más tiempo el AR en contacto con los microorganismos y los diferentes procesos de cada laguna.

La figura 4.2.1, muestra que el comportamiento del caudal de entrada fue aproximadamente igual al comportamiento del caudal de salida, de lo cual se deduce la ausencia de estancamientos de agua. También muestra un pico máximo de: entrada ( $121 \pm 35$ ) m<sup>3</sup>/día y salida ( $130 \pm 47$ ) m<sup>3</sup>/día, el día 9 octubre del 2012. Esto se debió a una lluvia fuerte en la zona, la cual provocó el desbaste del agua residual de la última laguna, y el alza en el caudal de entrada y salida. El tanque estabilizador es destechado, por lo que la lluvia incrementó la entrada de líquido a la laguna anaerobia; e igualmente, las lagunas están sin protección para las precipitaciones, por lo cual, se vieron afectados los volúmenes de agua dentro de ellas. Relacionado a esto, estaba el efecto en el proceso de depuración, porque se aceleraba el paso del agua por la laguna, interrumpiéndose los procesos que se llevaban a cabo en ella.



EXCEL

Figura 4.2.1. COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL INFLUENTE Y EFLUENTE EN LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

En la fecha, 6 noviembre del 2012 (figura 4.2.1.), se reportaron caudales alterados en la entrada y salida de las lagunas de oxidación; porque en la noche anterior a la medición de caudal, se presentó un atascamiento en el paso del agua residual de la laguna anaerobia a la laguna facultativa, lo cual evitó que circulara el agua, por más de diez horas, y con el pasar del tiempo, se provocó el cese de vertido del agua hacia el cuerpo receptor ( $Q_{salida} = 0 \text{ m}^3/\text{día}$ ).

El problema de atascamiento del efluente, se solucionó inmediatamente, una vez reportado, pero la laguna facultativa duró tres horas en volver a tener un caudal de salida. El pico máximo de entrada en esa fecha, fue de  $(132.0 \pm 0.7) \text{ m}^3/\text{día}$  y se debió a un aumento en la producción de aguas residuales provenientes de la fábrica de quesos, porque no se presentaron lluvias en la zona.

El comportamiento de las características de las aguas residuales presentadas durante el periodo de setiembre a noviembre 2012, se muestran en las figuras siguientes:

- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA DQO Y DBO<sub>5</sub> DE LAS AGUAS RESIDUALES EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL N ORGÁNICO DEL AGUA RESIDUAL EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- PRESENCIA DE N<sub>T</sub> Y SU COMPOSICIÓN EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- PRESENCIA DE P<sub>T</sub> EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL P EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS S<sub>sed</sub> EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS S<sub>suspT</sub> EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.
- COMPORTAMIENTO DEL COLOR APARENTE EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.

- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA TURBIEDAD EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.
- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.
- COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL pH EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.

La figura 4.2.2. muestra el comportamiento de la DQO y DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales en la entrada de agua de la casa de maternidad de cerdos (ChMat), la salida del separador de sólidos (Est), entrada y salida de la primera laguna y salida de la segunda laguna.

La DQO se encontró en el rango de (2693 a 9293) mg/L para la entrada de la primera laguna, y en un rango de (1008 a 2313) mg/L para la entrada de la segunda laguna. El artículo 20 establece un límite máximo de 500 mg/L para el vertido. La DQO promedio para el vertido fue de 580 mg/L.

En el caso de la DBO<sub>5</sub>, estuvo en rangos de (578 a 9545) mg/L para la entrada de la laguna anaerobia y de (96 a 406) mg/L para la entrada de la laguna facultativa. El límite de vertido establecido en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, está en 500 mg/L, y durante el proyecto, para el vertido, se obtuvo en promedio 218 mg/L.



Excel

Figura 4.2.2. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA DQO Y DBO<sub>5</sub> DE LAS AGUAS RESIDUALES EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

Además se puede observar que la DBO<sub>5</sub> dio resultados mayores que la DQO (en un 9.6%), en la casa de maternidad (ChMat) y en el separador de sólidos (Est); esto se pudo deber a la presencia de compuestos no oxidables por la DQO, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), que si son degradados con la DBO<sub>5</sub> (Agudo, 2009). Conjuntamente se observa que hay un cambio entre el separador de sólidos y la entrada de la laguna anaerobia, entre estos se ubica el sedimentador, por lo que fue en este pre-tratamiento, donde los hidrocarburos aromáticos se eliminaron del agua residual.

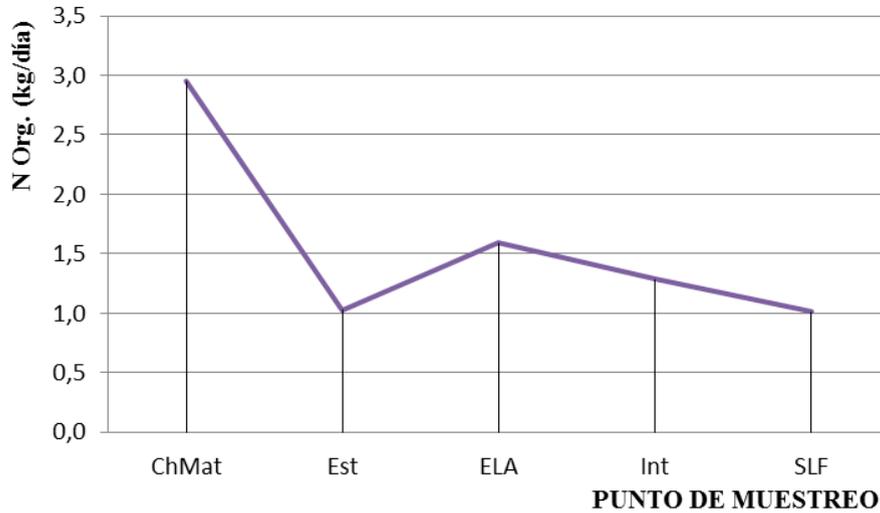
En cuanto a la COS<sub>promedio</sub>, para la entrada en la laguna anaerobia ((2007±161) kg/Ha.día), ésta se encontraba cerca de la COS<sub>diseño</sub> (2055 kg/Ha.día), por lo cual la laguna estaba recibiendo la materia orgánica necesaria para trabajar como un sistema anaerobio; mientras la COS<sub>promedio</sub> en la entrada de la LF ((117±1) kg/Ha.día), no se aproximaba a la COS de diseño. Sin embargo, por condiciones de horas luz y temperatura, la COS para una laguna facultativa puede ser de 100 kg DBO/Ha.día (Quintal & Martínez).

La eficiencia de remoción de materia orgánica, en la laguna anaerobia fue de 93% y para la laguna facultativa fue 23%. Es decir, la LF no estaba procesando la materia orgánica, y esto se debía a la presencia de algas en exceso (Quintal & Martínez), y a una acumulación de lodos en el fondo de la laguna (de hace diez años).

Por otro lado, se tiene el parámetro de N Org. Con el cual se determinaba la capacidad del sistema para procesar los compuestos nitrogenados, esto debido a que es la forma nitrogenada que puede ser procesada por las lagunas de oxidación. Corresponde a los compuestos orgánicos solubles y materia orgánica (en suspensión o partículas). Al contrario, con el N<sub>T</sub> el cual está conformado de N Org. y N Amon, siendo este último conformado por amoníaco, nitratos y nitritos (Winkler, 1999).

En la figura 4.2.3, el N Org. provenía en gran cantidad de las aguas residuales de la fábrica de quesos, pero al pasar del tanque estabilizador al separador de sólidos, se disminuía en un 65% (pasa de 3 kg/día a 1 kg/día en el agua residual), sin embargo, al salir del sedimentador se volvía a aumentar la cantidad de N Org (pasa de 1 kg/día a más de 1.5 kg/día). Ya dentro de

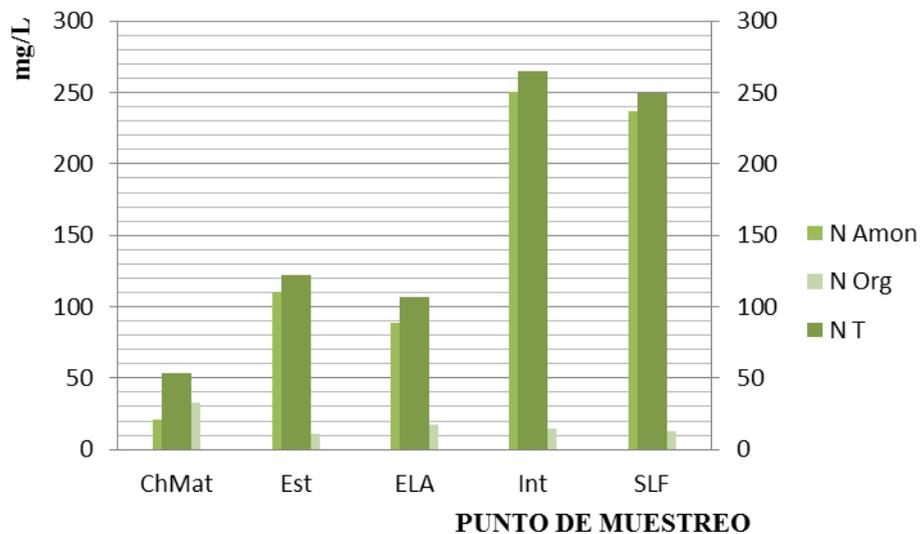
las lagunas, el proceso de eliminación de este compuesto, tenía una eficiencia de remoción del 28%.



Excel

Figura 4.2.3. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL N ORGÁNICO DEL AGUA RESIDUAL EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

La legislación vigente sólo limita el  $N_T$ , el cual se muestra en la figura 4.2.4.



Excel

Figura 4.2.4. PRESENCIA DE  $N_T$  Y SU COMPOSICIÓN EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

Exceptuando en la casa de maternidad (ChMat), donde  $N_T$  estaba compuesto en mayor proporción por el N Org; en el resto de los puntos muestreados, el  $N_T$  presentaba mayor proporción de N Amon (Figura 4.2.4.).

El N Amon aumentaba a partir del tanque estabilizador, donde se mezclaban las aguas de las tres casas de cerdos (urea y excretas). Y no se presentaron cambios ni en el separador de sólidos ni en el sedimentador, sin embargo, a la salida de la laguna anaerobia había un aumento.

En la laguna anaerobia se acumulan los compuestos nitrogenados, por el proceso de transformación del amoníaco, presente en el agua residual por las excretas de los cerdos, en nitratos y nitritos. No hay remoción de N en forma gaseosa, porque los microorganismos encargados de la desnitrificación necesitan condiciones anóxicas (Winkler, 1999). Se arrastra el N a la laguna facultativa. Obteniéndose así a la salida del agua tratada, cantidades de nitrógeno perjudiciales para el cuerpo de agua receptor.

Al llegar grandes cantidades de N al agua, este comienza a ser usado por los microorganismos y demás seres vivos en el agua, para su crecimiento, provocando un desequilibrio ecológico; resultando en la producción de materia orgánica en mayor cantidad de la que los otros microorganismos pueden procesar. Además, de que una de las especies más favorecidas son las algas, las cuales cubren la superficie del agua, eliminando la entrada de luz y por lo tanto, van cortando el suministro de oxígeno en el agua (Quintal & Martínez). Al final, se da la muerte del cuerpo de agua (eutrofización), a parte de la formación de olores y carencia de vida.

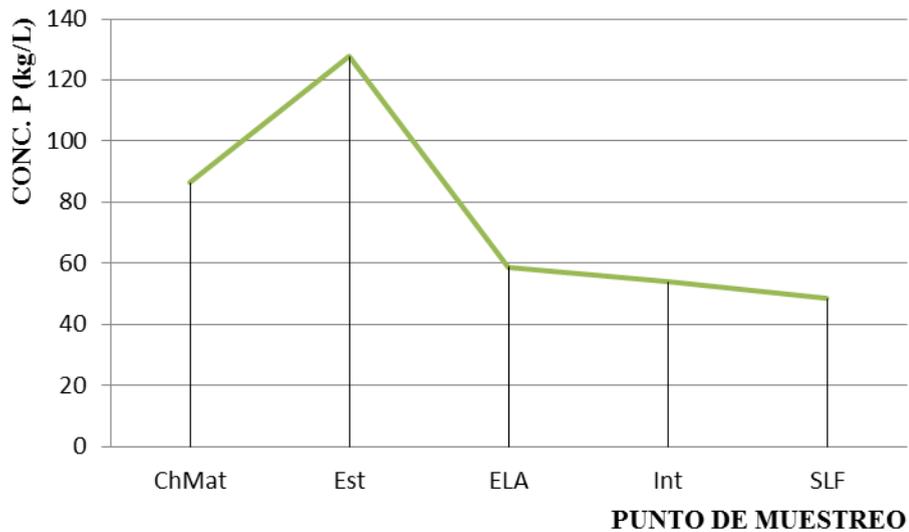
En promedio salieron ( $250 \pm 87$ ) mg  $N_T/L$  y el límite máximo de vertido, establecido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, está en 50 mg  $N_T/L$ .

Para llevar a cabo los procesos de remoción de nitrógeno (nitrificación-desnitrificación), se necesita de un ambiente anaeróbico, donde el amoníaco se transforme en nitratos y nitritos; para luego pasar a un ambiente anóxico; es decir, donde no haya oxígeno disuelto disponible para los microorganismos. Y así tener que disponer del N para llevar a cabo sus funciones metabólicas, liberándolo como gas no contaminante (Winkler, 1999).

Para la laguna anaerobia se presenta la nitrificación del N Amon, pero en la laguna facultativa, es necesaria la entrada de una mayor cantidad de materia orgánica (crea una mayor demanda de oxígeno) como contaminante del agua residual, de forma que los microorganismos facultativos (*Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Pseudomonas* *Micrococcus*) reaccionen a la escases de oxígeno, y empiecen a utilizar a los nitritos y nitratos (Winkler, 1999).

La cantidad de N que ingresaba era mayor a la que se podía utilizar en las lagunas de oxidación, según la materia orgánica que les ingresaba respectivamente. Según el cálculo de nutrientes para el buen funcionamiento de las lagunas, utilizando la carga orgánica de DBO<sub>5</sub> realizado para estos muestreos, se necesitaban (16±7) kg N en LA y (1.1±0.5) kg N en la LF. Sin embargo, ingresaban (carga de nitrógeno), (10±2) kg a la LA y (24±6) kg a la LF, ocasionando deficiencias en la primera y saturando la segunda. Es necesario un equilibrio, entre la cantidad de materia orgánica y el N, pues por cada kg de N se necesitan 22.5 kg de DBO (Winkler, 1999).

Otro parámetro de operación analizado, fue el fosforo (P). Su comportamiento se muestra en la figura 4.2.5. Donde se daba un incremento a partir del tanque estabilizador, es decir, la mayor fuente de P estaba en las aguas provenientes de la fábrica de quesos, y no tanto en las aguas residuales de la Granja Porcina. Pues, el punto de la casa de maternidad (ChMat), sólo tiene agua de la fábrica de quesos y en promedio, corresponde al doble del P reportado por el separador de sólidos (Est) (punto que representa la unión de todas las aguas residuales).

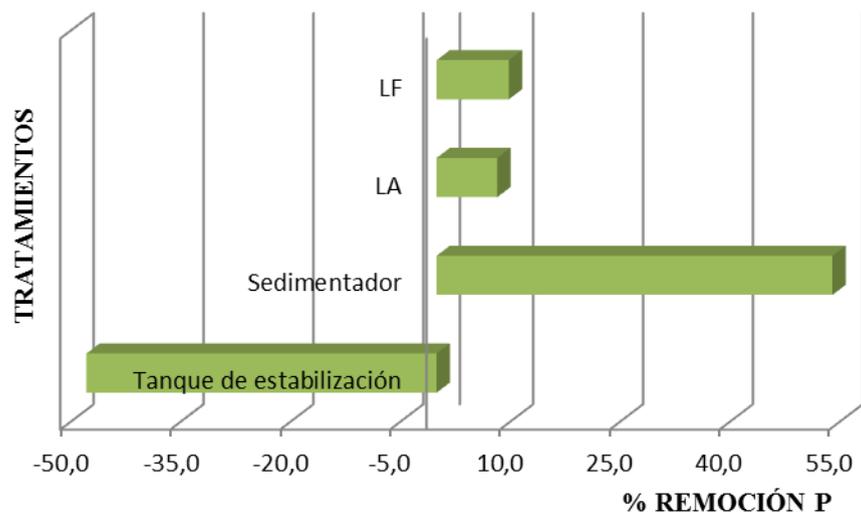


Excel

Figura 4.2.5. CONTENIDO DE  $P_T$  EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

En el tanque de estabilización se daba un aumento de 47.8% de P, porque se mezclaban las excretas de los cerdos con las aguas residuales de la fábrica de quesos.

La disminución entre el separador de sólidos y la entrada de la laguna anaerobia, se debía al separador de sólidos, ya que, una forma de remover P, es por contacto con lodos (partículas sedimentadas y microorganismos). Sin embargo, las lagunas de oxidación no ofrecen este tipo de contacto y la única forma de removerlo es integrándolo a la materia microbiana, pero esta eliminación no es significativa, pues se trata de microorganismos. El porcentaje de remoción para distintos pre-tratamientos y lagunas de oxidación, se observa en la figura 4.2.6.



Excel

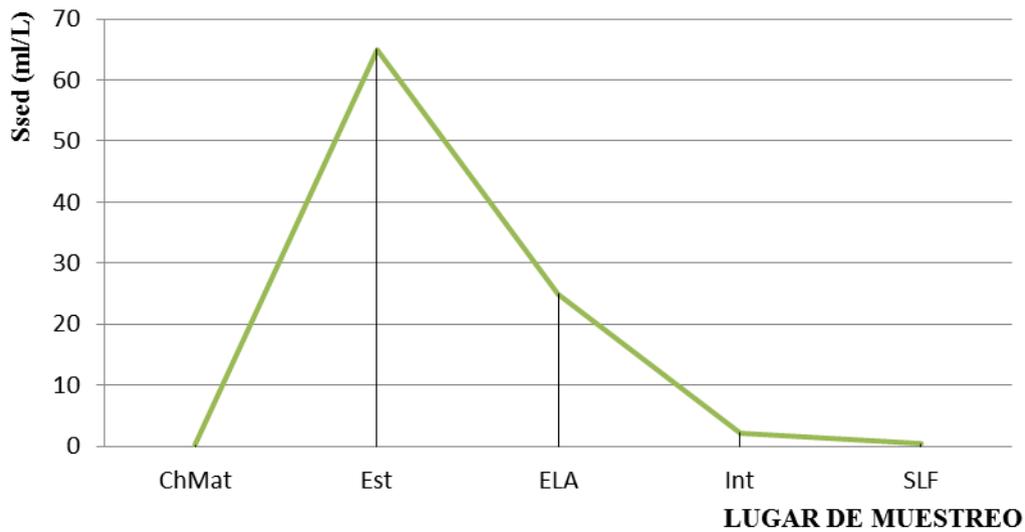
Figura 4.2.6. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL P EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

Con respecto al cálculo de nutrientes, la relación adecuada para el buen funcionamiento de las lagunas, es de 1 kg P por cada 165 kg DBO. Por lo que, el P necesario para las lagunas de oxidación era de 2.19 kg de P para la LA y 0.16 kg de P para la LF (a partir de la CO calculada), y se obtuvieron durante los análisis, una carga de P de  $(59 \pm 20)$  kg entrando a la LA y  $(54 \pm 17)$  kg para la LF.

En el vertido salen  $(539 \pm 110)$  mg P/L y el límite de vertido, establecido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, está en 25 mg P/L.

Prosiguiendo con los resultados de los análisis de  $S_{\text{suspT}}$ ,  $S_{\text{sed}}$ , color aparente y turbiedad, en las muestras. Se determinó la presencia de materia orgánica como partículas suspendidas o coloidales en el agua residual.

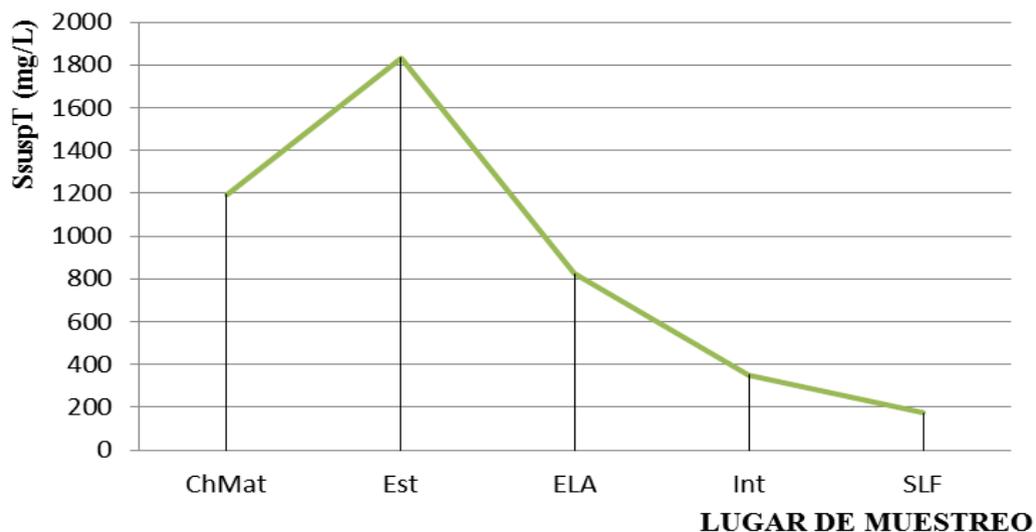
En la figura 4.2.7. los  $S_{\text{sed}}$  mostraron un comportamiento creciente desde la llegada del AR de la fábrica de quesos al tanque estabilizador, y esto fue por las excretas de los cerdos; después del sedimentador, se eliminó un 62%, luego al pasar por la LA, se depositó un 91% de la materia sedimentable, y lo que logró llegar a la LF, se removió en un 82%. Siendo así, que la salida manejó, en promedio,  $(0.4 \pm 0.1)$  ml/L, cumpliéndose el límite máximo de vertido (1 ml/L).



Excel

Figura 4.2.7. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS Ssed EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

Los SsuspT en el AR de la fábrica de quesos, se incrementaron en un 53% al pasar por el tanque estabilizador, y a partir del sedimentador (remueve el 55%), iban removiéndose por efecto de la LA en un 57%, y en la LF en un 50%. Sin embargo, en la salida del sistema (vertido) se presentó en promedio ( $175 \pm 34$ ) mg/L de SsuspT, siendo el límite de vertido 200 mg/L. Observe el comportamiento de los SsuspT en la figura 4.2.8.



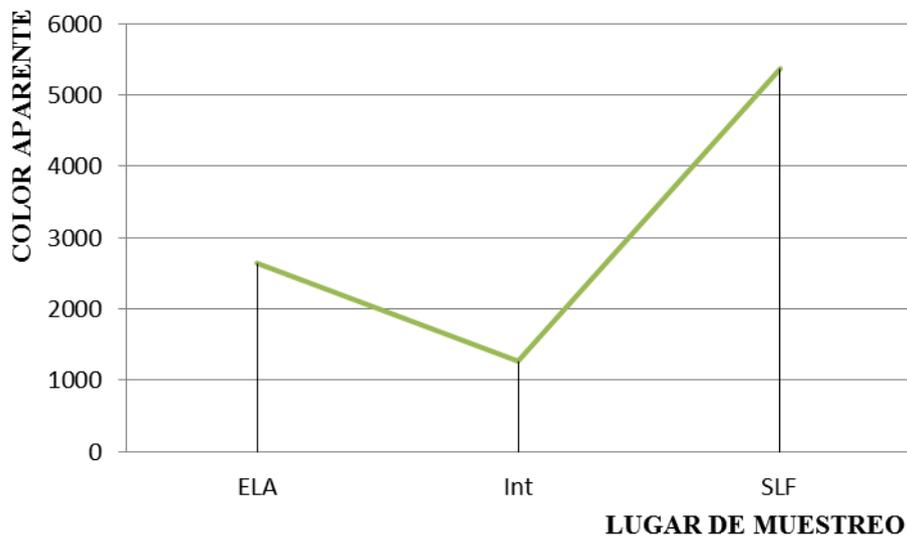
Excel

Figura 4.2.8. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS SsuspT EN DISTINTOS PUNTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MONTEVERDE.

La remoción de S<sub>suspT</sub> no fue tan eficaz en la LF por la presencia de algas. Entre mayor cantidad de N y P se presente en la laguna, mayor será la masa de algas en el agua, hasta llegar a saturarla. Este no fue el caso, donde se iba a saturar la laguna, pero si provocó una disminución en la de entrada de luz y consumo nocturno del oxígeno disuelto, provocando un bajo rendimiento en la depuración del agua residual (Quintal & Martínez).

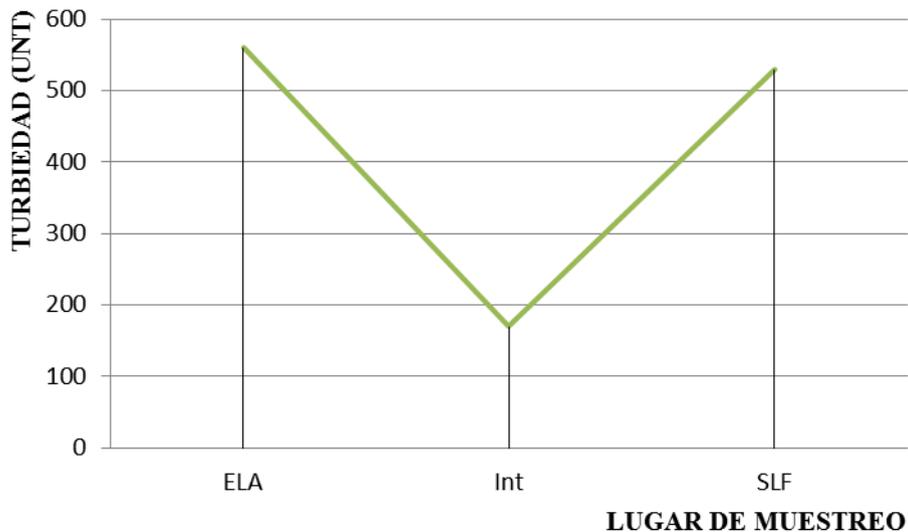
En el caso del color aparente y turbidez, figura 4.2.9. y 4.2.10. respectivamente, presentaron un comportamiento decreciente en la LA y creciente en la LF. Explicado por la presencia de algas, las cuales interfieren en la dispersión de la luz, en la materia orgánica coloidal (afecta la turbidez) e incrementan la cantidad de sólidos suspendidos totales en el efluente (incremento del color aparente).

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (Decreto 33601), no establece límites máximos de vertido para el color aparente y la turbiedad. Sin embargo, sí son parámetros que deben ser medidos por el operador de la PTAR, para conocer el funcionamiento de las lagunas de oxidación.



Excel

Figura 4.2.9. COMPORTAMIENTO DEL COLOR APARENTE EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.



Excel

Figura 4.2.10. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA TURBIEDAD EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.

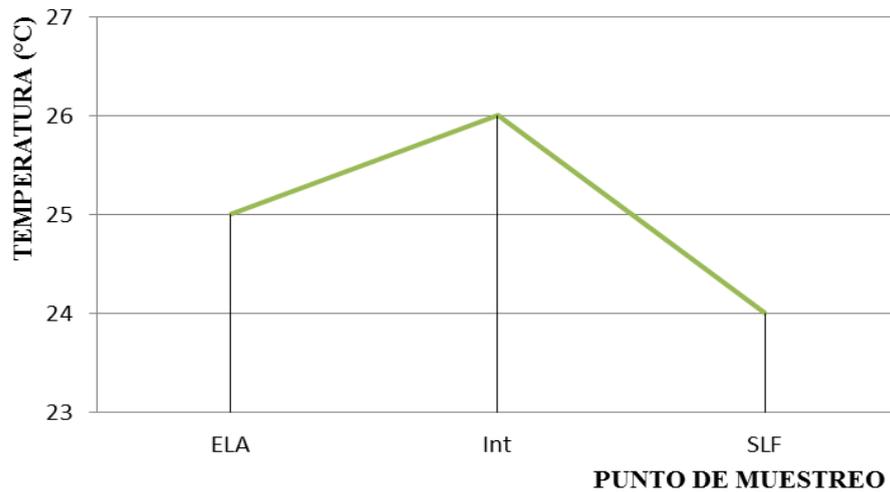
De la temperatura y el pH durante los meses de muestreo, se muestra su comportamiento en las figuras 4.2.11. y 4.2.12., respectivamente.

La temperatura de ingreso a la LA, en promedio, fue menor a la de ingreso a la LF, no obstante, el efluente presenta una temperatura promedio menor a ambas. Mientras que el pH, tuvo un comportamiento creciente, conforme avanzaba por las lagunas de oxidación.

El pH y la temperatura se ven afectados por los procesos biológicos que ocurren dentro de las lagunas de oxidación. Por ejemplo, en la laguna anaerobia, durante las etapas de descomposición (hidrólisis, acido-génesis, aceto-génesis y metano-génesis) de la materia a metano y dióxido de carbono, el pH tiende a bajar; al mismo tiempo, el sistema lo eleva a 7.0, para que la última etapa del proceso anaerobio se lleve a cabo (formación de metano). Debido a que las bacterias metano-génicas no soportan pH menor a 6.2 (Rodríguez, y otros, 2006).

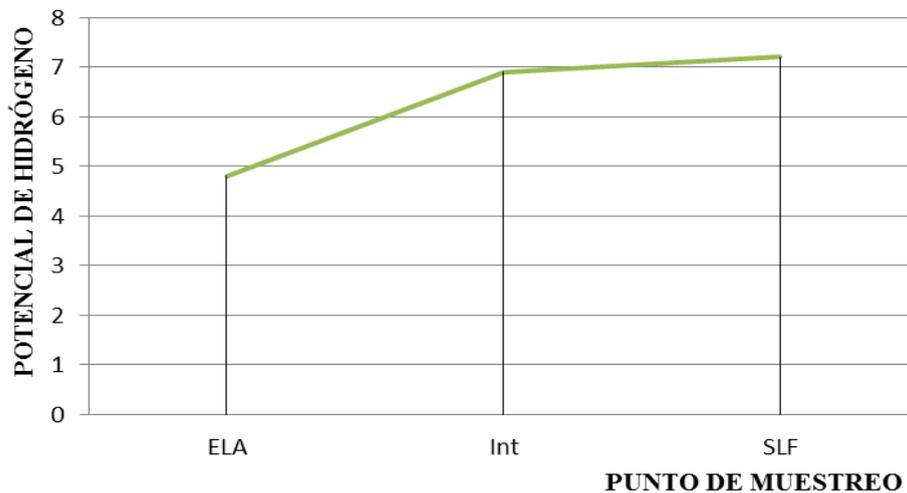
Este proceso, de igual forma se lleva a cabo en la parte más profunda de la LF, en la sección anaerobia de ésta. La actividad microbiológica es la que afecta la temperatura, aumentándola en condiciones anaerobias, ya que la fermentación proporciona la energía

necesaria para mantener el sistema anaerobio a una temperatura correcta (rango óptimo: 25-35 °C) (Rodríguez, y otros, 2006).



Excel

Figura 4.2.11. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.



Excel

Figura 4.2.12. COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL pH EN EL AGUA RESIDUAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PRIMERA LAGUNA Y SALIDA DE LA SEGUNDA LAGUNA.

El cálculo del canon ambiental de vertidos se pudo obtener a partir de los resultados de DQO solubles y los S<sub>suspT</sub> en el efluente de vertido.

Es decir, el costo total, según la DQO soluble promedio y los S<sub>suspT</sub> promedio del muestreo, fue igual a: \$318 por mes o \$953 por trimestre o \$2 040 por semestre o \$3 786 por año. Sin embargo, para el primer año se debe pagar el 10% (\$379 si es anual), para el segundo, el 20% (\$757 si es anual), y así hasta el sexto año, donde se paga la totalidad del monto.

### **4.3 Estado de las estructuras que conforman la PTAR de Productores de Monteverde.**

Se realizó una inspección de las estructuras que conforman el pre-tratamiento y tratamiento secundario por las lagunas de oxidación. Detectándose situaciones que afectan el correcto funcionamiento de la PTAR. A continuación se mencionan las observaciones detectados en cada sección, con una muestra fotográfica del problema a resolver:

La figura 4.3.1 muestra el separador de sólidos y los problemas asociados:

- a. Separador de sólidos insuficiente: el caudal que pasa por este medio no corresponde al total de agua residual que llega al tanque estabilizador y que puede salir por la tubería. Por lo que, debe mantenerse la llave a medio abrir para evitar la sobresaturación del separador de sólidos y al mismo tiempo, evitar la acumulación del agua residual en el tanque estabilizador.
- b. Daño en costados del separador de cerdaza: el agua residual es corrosiva y ha dañado las paredes del separador de cerdaza, así como parte de las divisiones internas de la salida del AR. Dando paso a la cerdaza, hacia la salida del AR que entra a las lagunas de oxidación.

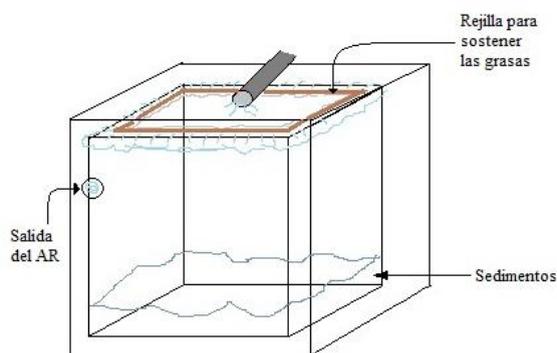


Fotografías por Silvia González F.

Figura 4.3.1. SEPARADOR DE SÓLIDOS EN EL ESTABLO DE TOROS.

La figura 4.3.2 muestra el sedimentador y trampa de grasas del AR, luego de la separación de sólidos, y tiene los siguientes problemas:

- a. Cerca metálica para atrapar grasas: por efecto del agua residual, la cerca metálica se oxida y deja pasar las grasas que se habían separado del AR.
- b. Limpieza del fondo de las camas de concreto: dificultad para limpiar el fondo de las camas de concreto, ya que estas funcionan como sedimentadores y no poseen salidas inferiores para producir la extracción de los sólidos que se van separando de las aguas residuales.



Fotografía e ilustración por Silvia González F.

Figura 4.3.2. SEDIMENTADOR Y DESGRASADOR DE LAS AR.

En la figura 4.3.3. se observa la caja distribuidora de caudales de entrada a la laguna anaerobia, que tiene los daños y problemas, siguientes:

- a. Filtración del agua: fuga en la parte baja de la caja de concreto, por corrosión del AR.
- b. Daño estructura del suelo: la constante filtración del AR en el suelo, que cubría la parte baja de la caja distribuidora, ha provocado lavados y creación de fangos.
- c. Ubicación en terreno inclinado: ha provocado caída de tierra en la caja distribuidora, tapando la tapa y en caso de no estar puesta, cae la tierra al agua residual que ingresa a las lagunas de oxidación.



Fotografía por Silvia González F.

Figura 4.3.3. CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDALES DE ENTRADA A LA LAGUNA ANAEROBIA.

Figura 4.3.4, la caja de paso del AR de la primera laguna a la segunda laguna, esquina sureste, tiene problemas como:

- a. Bloqueo del AR entre lagunas de oxidación: la inclinación del terreno provoca que gran cantidad de material flotante se acumule en la esquina, provocando un atascamiento en la entrada del AR a la caja, e impedimento del flujo de AR hacia la LF.
- b. Presencia de larvas y mosquitos: al acumularse el material flotante y parte del AR, dentro de la caja había presencia de larvas, mosquitos y gusanos.

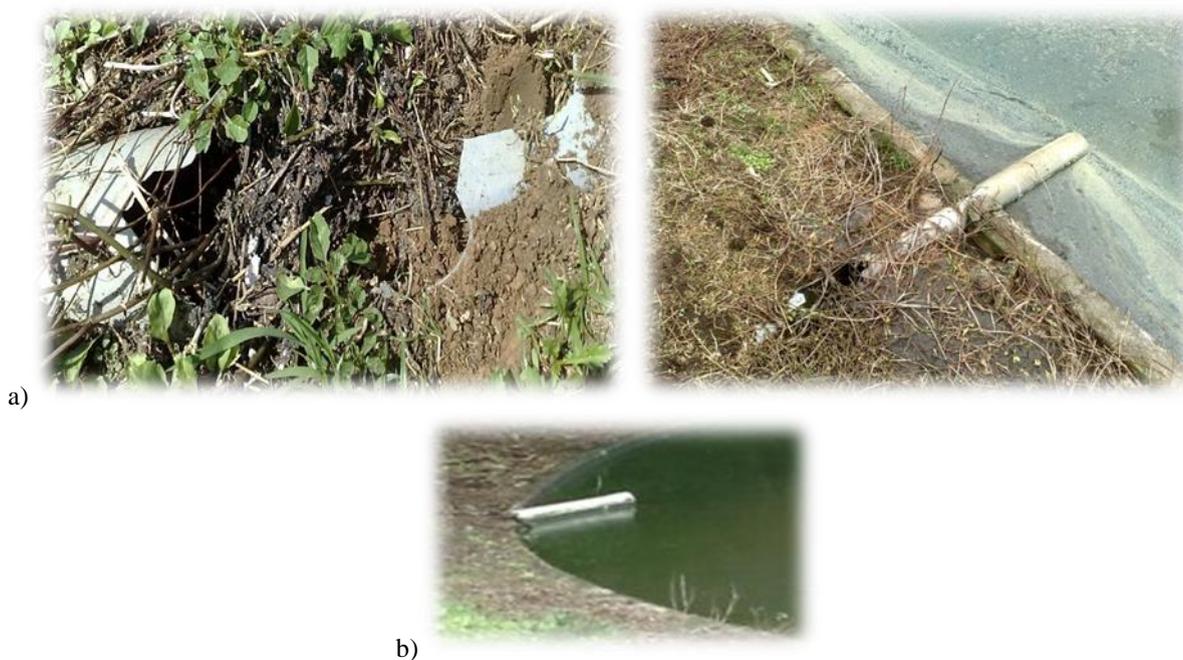


Fotografías por Silvia González F.

Figura 4.3.4. CAJA DE PASO, ESQUINA SURESTE, PARA EL AR DE LA A LF.

La figura 4.3.5. muestra la tubería de rebalse, que está en una de las cajas que comunican a la laguna anaerobia con la laguna facultativa, y ésta presenta:

- a. Avería en tubería: una parte del tubo de rebalse está quebrado y con obstrucción del flujo de la LA hacia la LF, por presencia de pastos y maleza.
- b. Atascamiento en tubería: el tubo de rebalse de la caja, esquina sureste, no funciona al 100%. También se encuentra obstruida por material orgánico y tierra.



a)

b)

Fotografías por Silvia González F.

Figura 4.3.5. TUBERÍA DE REBALSO ENTRE LAGUNAS ANAEROBIA Y FACULTATIVA.

La figura 4.3.6. muestra una parte de la geomembrana de la laguna facultativa flotando, por efecto de los gases generados durante el proceso anaerobio (metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno). Esto provoca estancamientos de agua residual.



Fotografía por Silvia González F.

Figura 4.3.6. GEOMEMBRANA EN LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA FACULTATIVA.

Por último en la figura 4.3.7 se observa el vertedero triangular de salida hacia la quebrada, el cual tiene:

- a. Presencia de lodos en el fondo: lo cual contribuye con la contaminación del agua tratada por las lagunas y que se dirige a la quebrada.
- b. Corrosión de la punta inferior del triángulo: puede suministrar datos erróneos sobre el caudal. Al depender este del tamaño y ángulo de la abertura triangular, para obtener el caudal, es necesario que dicha abertura permanezca en buenas condiciones, o si no estaría pasando más o menos agua de la reportada.



Fotografía por Silvia González F.

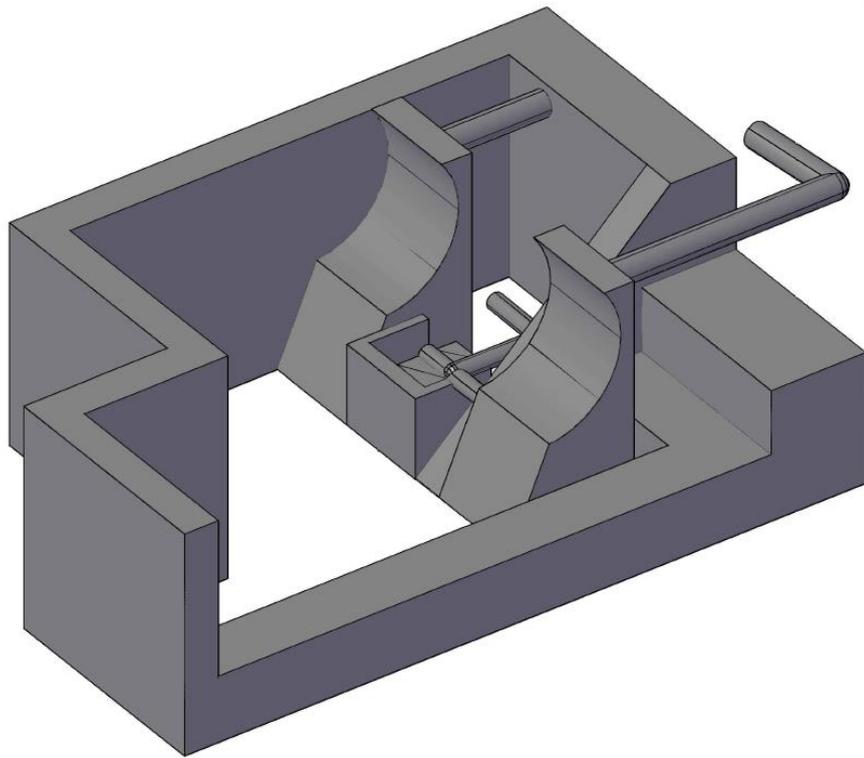
Figura 4.3.7. VERTEDERO TRIANGULAR EN LA SALIDA DE LA PTAR.

#### **4.4 Propuesta de otro separador de sólidos.**

Al aumentar la producción de cerdos y fabricación de quesos, el caudal de AR se incrementa. En consecuencia aumenta el ingreso de desechos líquidos, al tanque estabilizador. Como resultado el separador de sólidos recibe más cantidad de AR de la que puede procesar, causando un paso mayor de materia orgánica al sedimentador o, caso contrario, al regular el caudal para el separador de cerdaza, provoca una disminución del caudal de entrada a la LA y una acumulación de AR en el tanque estabilizador o de homogenización.

Además, con el paso de los años, las AR han corroído las paredes del separador de cerdaza y han provocado separaciones entre el equipo y las paredes, por lo que se dan filtraciones de cerdaza hacia el AR que sale y entra al sedimentador.

Como solución se plantea: repellar las paredes, cambiar las rejillas que sean necesarias (en el piso del separador de cerdaza), e integrar un segundo separador de sólidos que funcione en paralelo con el actual (figura 4.4.1).



AUTOCAD

Figura 4.4.1. ILUSTRACIÓN DE LOS SEPARADORES DE SÓLIDOS EN EL ESTABLO DE TOROS.

Se instalaría a un lado del actual, de tal forma que el caudal sea dividido en partes iguales y así puedan tratar las aguas residuales del tanque estabilizador y que van a la laguna anaerobia.

Los costos asociados a esta modificación se detallan en el cuadro 4.4.1. En el cuadro 4.4.2. se presentan dos opciones de compra de equipo, diferenciándose por el método de separado de sólidos (por malla de orificio o por barras trapecoidales).

Cuadro 4.4.1. COSTOS ASOCIADOS A LA INSTALACIÓN DE UN NUEVO SEPARADOR DE SÓLIDOS.

MATERIALES	PRECIO UNIDAD (₡)	CANTIDAD	COSTO+IV (₡)
TUBO DE 4"	6 946.90	1 unid	7 850.00
CODO DE 90°	2 296.46	3 unid	7 785.00
LLAVE BALIN DE PASO	4 862.83	2 unid	10 989.02
TE	3 535.40	1 unid	3 995.00
PEGAMENTO (470 mL)	4 823.10	1 unid	5 450.00
SACO DE CEMENTO HOLCIM (50 kg)*	5 039.82	1 saco	5 695.00
REPELLO FINO LATICRETE/INTACO*	4 040.55	4 sacos	18 263.28
<b>TOTAL CON REPELLO FINO</b>			<b>60 027.30</b>

Fuente: EPA, Costa Rica.

\*La relación es de ¼ de cemento: 1 saco repello fino.

Cuadro 4.4.2. OPCIONES DE COMPRA DEL SEPARADOR DE SÓLIDOS DE DOS EMPRESAS NACIONALES.

EMPRESA	CARACTERÍSTICAS DEL SEPARADOR DE SÓLIDOS	SEPARADOR DE SÓLIDOS
<b>PROPICA</b> <b>Ubicación:</b> Palmares, <b>Alajuela</b> <b>Contacto:</b> <b>Juan Carlos Soley</b> <b>Gerente de ventas</b> <b>Tel: 2453 5886</b>	Acero inoxidable 304 Malla 1x2 pies Capacidad: 30 gal/min Apertura: 0.75 mm Dimensiones: 0.30x0.75 m Entrada de agua: lateral Salida del agua: lateral Precio: \$1 900 + IV Incluye transporte en el Área Metropolitana. Instalación local.	
<b>AGROTEK OP, S.A.</b> <b>Ubicación:</b> Palmares, <b>Alajuela</b> <b>Contacto:</b> <b>Milagro Valverde</b> <b>Asistente Administrativa</b> <b>Tel: 2453-2505</b>	Acero inoxidable 304 Malla 24"x24"=0.61x0.61 m Capacidad: 40 gal/min Desechos de 1 500 cerdos. Apertura: 0.5 Entrada de agua: trasera Salida de agua: trasera Precio: \$825 + IV No incluye transporte ni instalación.	

El costo de operación es bajo, y se limita a recoger la cerdaza acumulada en el tratamiento. Se elige preferiblemente el separador de sólidos de AGROTEK OP, S.A., ya que este es el mismo modelo que el separador de sólidos actual, ya que es ésta la empresa a la cual, Productores de Monteverde S.A., le compró el separador.

#### **4.5 Propuesta de humedal complementario en la laguna facultativa para nitrógeno y fósforo.**

La propuesta de tratamiento para los compuestos con N y P es modificar parte de la LF, introduciendo lirio acuático, "*Echoronia Crassipes*", en un área de 680 m<sup>2</sup> (Figura 4.5.1.). Estos nutrientes son usados por las plantas de lirio para su crecimiento, removiéndolo del agua residual; cuando las plantas llegan a su etapa adulta son removidas o cosechadas del agua. Los lirios removidos pasarán al establo de toros como alimento para ellos, sin necesidad de ser secados, pues los consumen como alimento con humedad.

El área cubierta con el lirio acuático en la laguna facultativa es de 680 m<sup>2</sup>, pero para poder cosechar los lirios adultos semanalmente, se debe dividir esta área en bloques de 91.0 m<sup>2</sup>, y las cosechas diarias, se obtendrían al subdividir cada bloque en 2.4 m<sup>2</sup>.

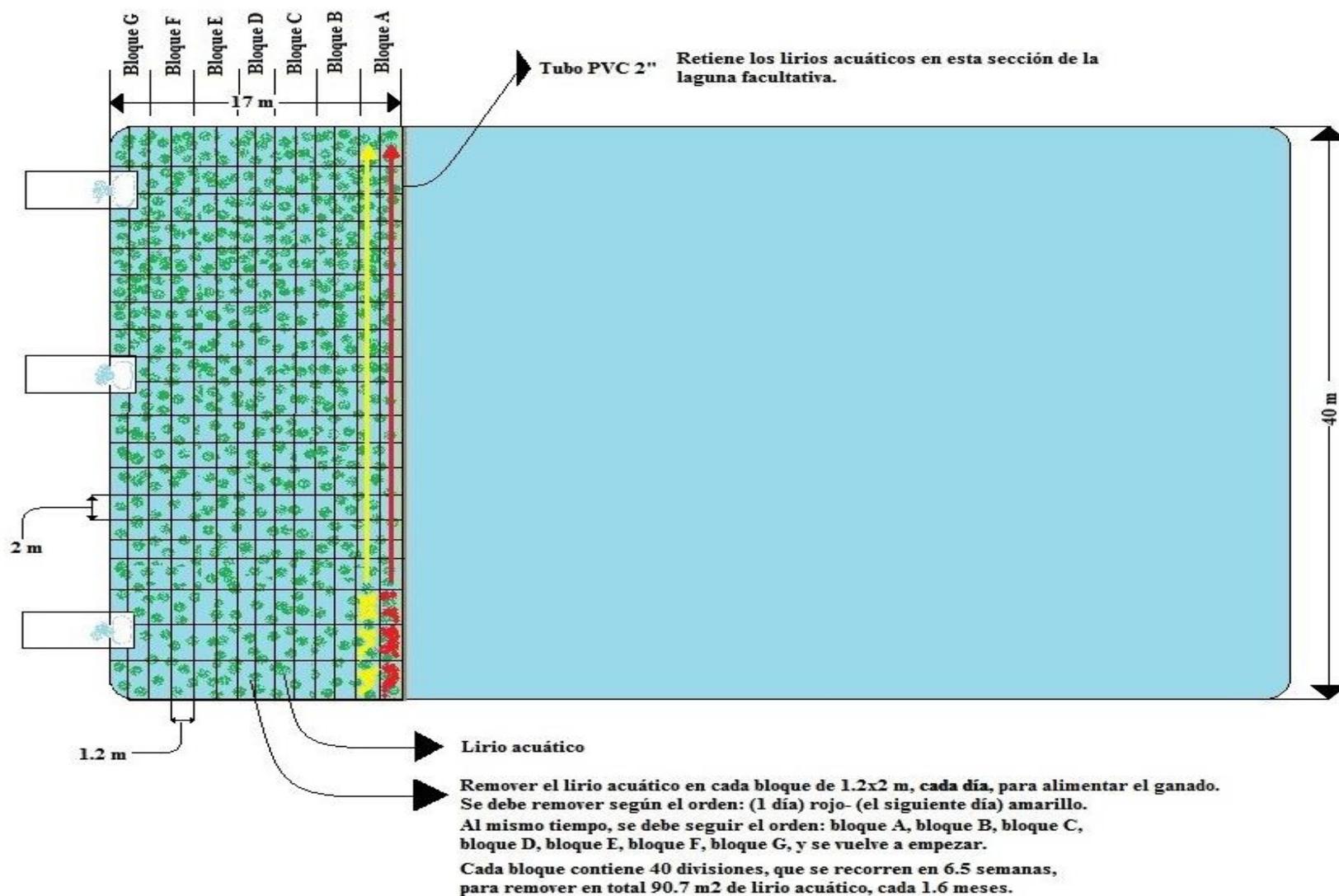
Se debe recolectar el lirio en el orden:

- Del bloque A, hasta el bloque G, y se vuelve a iniciar.
- Dentro de cada bloque, en cada subdivisión se debe remover el lirio, de derecha a izquierda según los colores rojo-amarillo (un día: rojo; el otro día: amarillo) (Figura4.5.1.). Es decir, cada subdivisión es para extraer 2.4 m<sup>2</sup> lirio/día.
- Se inicia la recolección en el lado sureste de la laguna, debido a que en el terreno está inclinado, enviando el agua residual a acumularse en esta parte.

El orden es importante, ya que el lirio más viejo cumple su ciclo, y si no es cosechado, comienza a formar parte de la materia orgánica que se desea remover. La función del lirio es eliminar el N y P del agua residual, por lo que es necesario remover el lirio al finalizar su ciclo.

Para mantener el lirio en una sola sección de la laguna, se debe colocar un tubo de PVC 2", de largo mayor a 40 m, con una varilla o cuerda por dentro para evitar que se hunda en el medio de la LF.

Se aconseja poner banderines o marcadores visibles, para establecer los bloques y sus subdivisiones, así como el orden en que se debe cosechar el lirio. No se debe introducir paredes o cualquier otro material, que pueda afectar el libre paso del agua residual por debajo de los lirios.



MICROSOFT PAINT

Figura 4.5.1. DIVISIONES PARA LA LAGUNA FACULTATIVA Y DATOS NECESARIOS PARA LA REMOCIÓN DEL LIRIO ACUÁTICO DIARIAMENTE.

Al mismo tiempo, se ampliará el sistema de tratamiento de las lagunas de oxidación con un humedal superficial de baja profundidad (0.8 m) más un borde libre (0.2 m), de área igual a 300 m<sup>2</sup>, con el mismo tipo de lirio, y 5 entradas (se modifican las salidas de la laguna facultativa), con 4 salidas. Cada salida con un bafle y a su vez, se unen en un solo conducto para pasar por un vertedero de altura móvil, para evitar la acumulación de mosquitos y larvas dentro de la LF (Figura 4.5.2). Después pasa el agua tratada por el vertedero triangular, para poder medir su caudal.

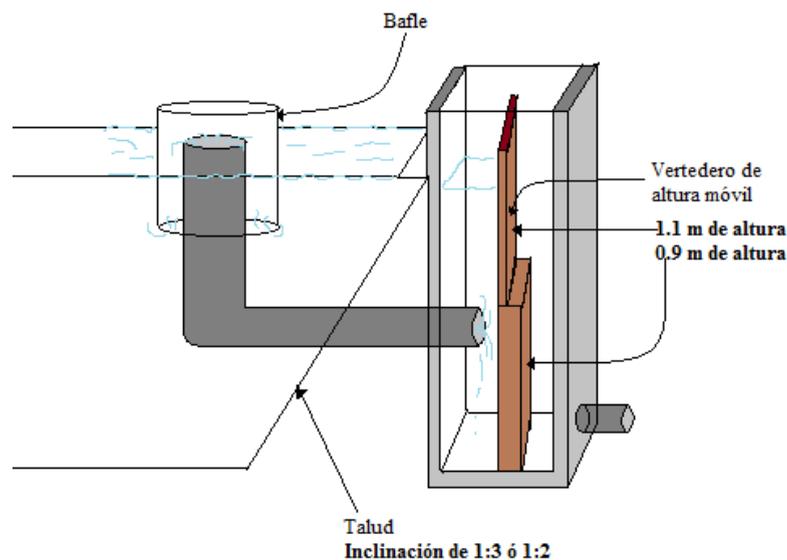
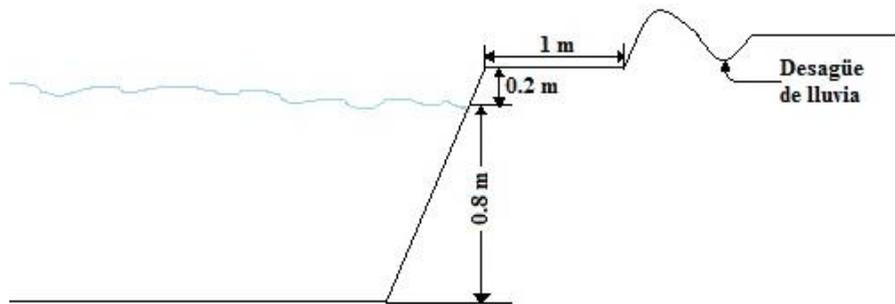


Figura 4.5.2. ESQUEMA DE UN VERTEDERO DE ALTURA MÓVIL CON BAFLE.

El humedal dará más tiempo de contacto entre las plantas y el agua, creando un tratamiento de pulido que no sólo eliminará el N y P, sino también la materia orgánica y algas.

Como el humedal superficial tomará parte de la pared de la LF, se recomienda reforzar con geomembrana y poner una pendiente de 1:1; además de utilizar una geomembrana para impermeabilizar el suelo del humedal y hacer paredes con pendientes iguales de 1:1 o de 1:2, para evitar deslizamientos y reducción de costos. El área a cubrir con la geomembrana es de 548 m<sup>2</sup>; ya que se debe impermeabilizar los bordes con ésta, y a la vez dejar un metro de distancia con membrana sepultada en tierra (para los bordes que no estén al lado de las paredes de la LF), y si es posible hacer un canal de desagüe para la lluvia con montículos de tierra (Figura 4.5.3.).

En el caso de la geomembrana que se pone al lado de las paredes de la LF, deben ser selladas con arcilla, antes de ponerles la geomembrana, y en la unión entre la pared de concreto de la laguna facultativa y la geomembrana del humedal se utiliza un sellador (tipo de recaucho para sellar este tipo de material), para evitar filtraciones de agua hacia la base de la pared de concreto y que con el tiempo llegue a dañarla.



MICROSOFT PAINT

Figura 4.5.3. DIMENSIONES DEL BORDE DEL HUMEDAL CON DESAGÜE PARA LLUVIA.

Debido al espacio que tomará el humedal, será necesario hacer remoción de tierra en un extremo del terreno, y un desnivel del 1% para conducir el movimiento del agua residual hacia las salidas.

En la figura 4.5.4. se visualiza el humedal artificial en el terreno de las lagunas de oxidación.

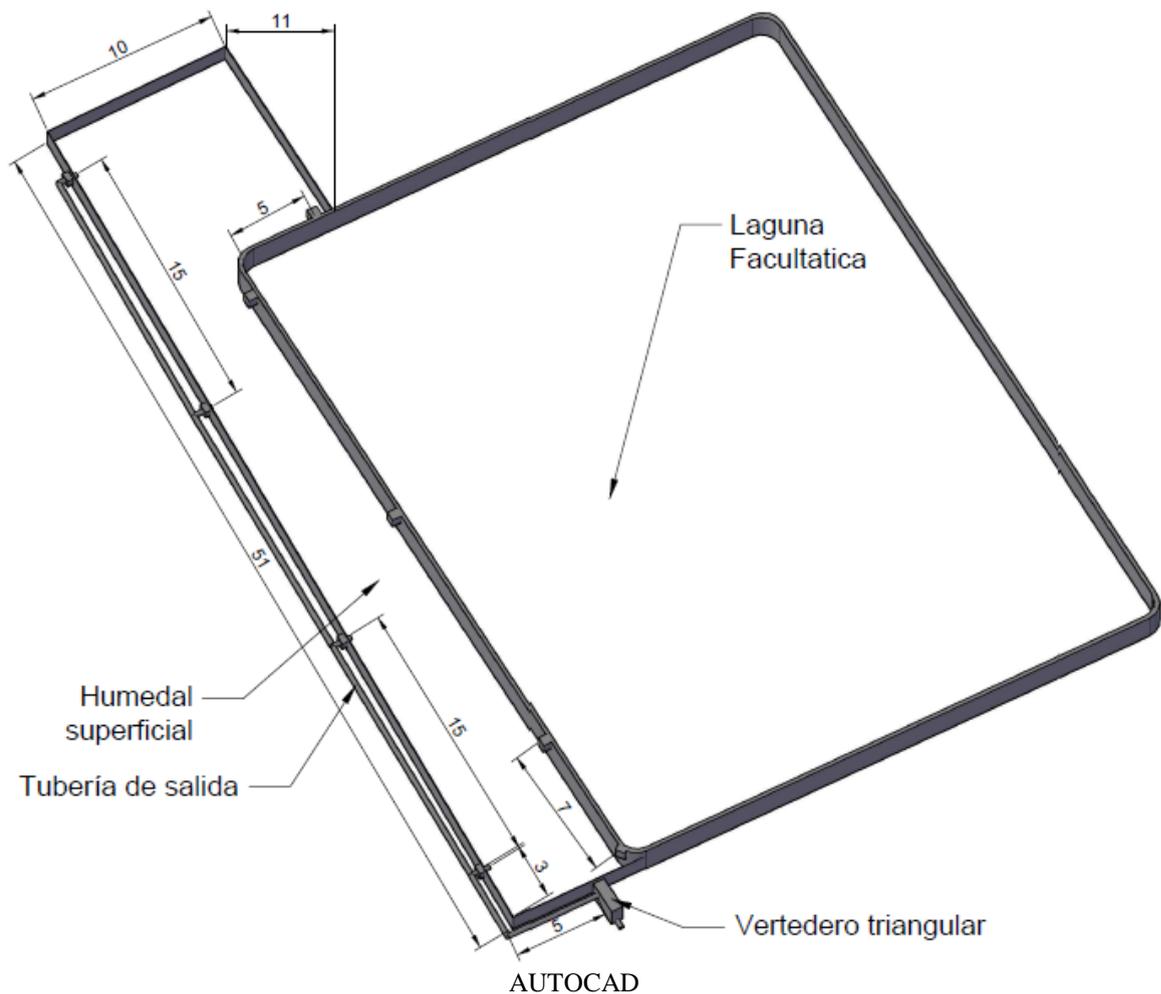


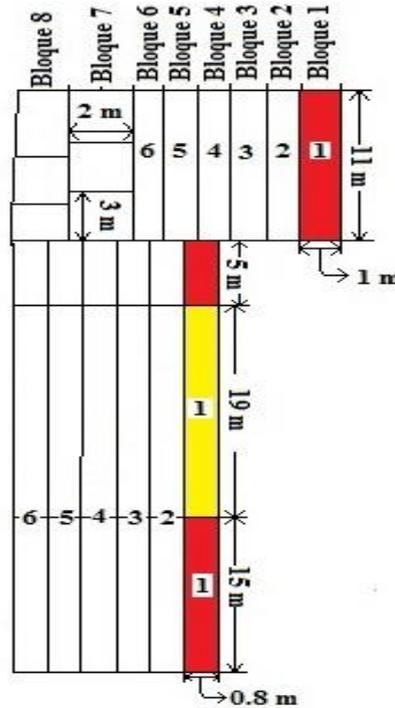
Figura 4.5.4. DIMENSIONES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

Se inicia la cosecha de lirios adultos por el borde norte del humedal, en el orden de bloque 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. El humedal superficial se divide en bloques del 1 al 8, cada bloque (1 al 6) mide  $44 \text{ m}^2$  y los bloques 7 y 8, miden  $18 \text{ m}^2$  cada uno (Figura 4.5.5.). Cada bloque del 1 al 6, está subdividido en áreas de  $15 \text{ m}^2$ , para poder cosechar  $2.4 \text{ m}^2$  de lirio/día ó  $15 \text{ m}^2$  lirio/semana aproximadamente. Cada bloque de 7 y 8, debe dividirse en áreas de  $6 \text{ m}^2$ , para cosechar  $1 \text{ m}^2$  de lirio/día o  $6 \text{ m}^2$  lirio/semana aproximadamente. Y así recolectar, en 3 semanas  $62 \text{ m}^2$  de lirio del humedal superficial.

Se debe recolectar el lirio en el orden:

- Del bloque 1, hasta el bloque 8, y se vuelve a iniciar.

- Dentro de cada bloque, en cada subdivisión se debe remover el lirio, de derecha a izquierda (rojo-amarillo). Es decir, cada subdivisión es para extraer de 2.4 a 1 m<sup>2</sup> lirio/día, según el número de bloque.
- Se inicia la recolección en el lado suroeste de la laguna.



MICROSOFT PAINT

Figura 4.5.5. RECOLECCIÓN DE LIRIO EN EL HUMEDAL SUPERFICIAL

Los costos de inversión del proyecto están en el cuadro 4.5.1. Y el costo de operación se limita a la remoción de lirio y traslado al establo de toros.

Cuadro 4.5.1. COSTOS DE INVERSIÓN PARA IMPLEMENTAR EL HUMEDAL ARTIFICIAL EN EL TERRENO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN.

OPERACIÓN	EQUIPO	COSTO UNITARIO + IV (₡)	CANTIDAD	PRECIO (₡)
MOVIMIENTO DE TIERRA	Bocksoe	18 000	227.7 horas	4 098 600.00
TRASLADO DE TIERRA	Vagoneta	10 000	227.7 horas	2 277 000.00
PUESTA DE GEOMEMBRANA Y REFUERZO DE PARED	Geo membrana (medidas)	885.00	1 m <sup>2</sup>	71 321.00
PUESTA DE TUBERÍAS	Codos 4"	2 595.00	2 unid	5 190.00
	Te 4"	3 995.00	3 unid	11 985.00
	Tubo PVC 4"	7 850.00	10 unid	78 500.00
	Pegamento	5 450.00	1 unid	5 450.00
<b>TOTAL</b>				<b>6 548 046.00</b>

El backsoe tiene que remover aproximadamente 660 m<sup>3</sup> de tierra en total. Y la vagoneta depositará la tierra en el mismo terreno de la planta de tratamiento.

El costo total de la construcción del humedal superficial es de ¢ 6 548 046.00.

#### **4.6 Entrevistas y capacitación a los operadores y encargado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Monteverde.**

Al realizar las entrevistas se localizaron los puntos principales que debían ser abarcados durante la capacitación. Las respuestas se resumen a continuación junto con una breve información del entrevistado (Cuadro 4.6.1).

Cuadro 4.6.1. INFORMACIÓN DE LAS ENTREVISTAS REALIZADAS A LOS OPERADORES DE LA GRANJA PORCINA.

INFORMACIÓN DEL ENTREVISTADO	RESUMEN
<b>Nombre: Giovanni Varela Méndez</b> <b>Edad: 41 años</b> <b>Puesto: encargado de maternidad y destete</b> <b>Tiempo de laborar en la Granja Porcina: 15 años</b>	Su labor en la Granja Porcina está más comprometida con el manejo de cerdos y su alimentación. No se relaciona con el sistema de tratamiento de las aguas residuales a menos de que algún compañero necesite de su ayuda; pero tiene un conocimiento general de lo que realiza cada tratamiento.
<b>Nombre: German Muñoz Jiménez</b> <b>Edad: 47 años</b> <b>Puesto: encargado de inseminación artificial</b> <b>Tiempo de laborar en la Granja Porcina: 20 años</b>	Estuvo presente durante la instalación de la PTAR en la Granja Porcina. Conoce el sistema de tuberías y tratamientos. No se involucra con la operación y mantenimiento de la PTAR, sin embargo, si uno de los compañeros ocupa ayuda con las tuberías, él puede colaborar. Recuerda que hace unos años, unas personas que iban a hacer un proyecto, aconsejaron implementar una tercera laguna.
<b>Nombre: Omar Jiménez Varela</b> <b>Edad: 26 años</b> <b>Puesto: encargado de desarrollo y engorde</b> <b>Tiempo de laborar en la Granja Porcina: 2 años</b>	Conocimiento general de las tuberías y tratamientos. No ha recibido capacitación sobre operación y mantenimiento ni se ha encargado de limpieza o medición de parámetros en las lagunas de oxidación. En caso de surgir emergencias como la quebradura de un tubo, él puede ayudar. La mejora que se podría emplear es la limpieza de lodos de la LF.
<b>Nombre: Donald Fuentes Morales</b> <b>Edad: 34 años</b> <b>Puesto: encargado de mantenimiento de la</b>	Conocimiento sobre tuberías, tratamientos y funcionamiento de la PTAR. Se encarga de limpiar, reparar y mantener las AR circulando. También se encarga de la limpieza de la cerdaza. Cada 15 días recolecta los lodos superficiales y desechos que floten en las lagunas. Se encarga de regular los caudales de entrada a la LA. Además debe asegurarse de que las tuberías estén en buen estado. Colabora con la

<b>Granja Porcina y la PTAR.</b> <b>Tiempo de laborar en la Granja Porcina: 8 años</b>	Granja Porcina en lo que se le pida. No maneja equipo de medición de parámetros ni ha recibido capacitación alguna sobre mantenimiento de lagunas de oxidación. La mejora que se podría emplear es remover los lodos de la LF, ya que se acumulan mucho. Le dedica 30 min de revisión a la Planta.
<b>Nombre: Roy Jiménez Gómez</b> <b>Edad: 31 años</b> <b>Puesto: encargado de la Granja Porcina y PTAR</b> <b>Tiempo de laborar en la Granja Porcina: 10 años</b>	Conocimiento de toda la PTAR, desde la tubería hasta los tratamientos. También maneja el pHmetro, el cono imhoff y la medición del caudal en el vertedero triangular; por lo tanto se encarga de llevar la bitácora de operación. Él no realiza el reporte operacional. No ha recibido capacitación sobre la operación y mantenimiento de la Planta, aprendió por explicaciones del jefe inmediato. Le dedica una revisión visual a las lagunas de oxidación. La mejora que se podría emplear es poner otro separador de sólidos, uno más grande para no regular el caudal y así el tanque de estabilización no se llena.

La capacitación (anexo 3) abarcó los siguientes puntos:

- a. Comprensión del funcionamiento de una laguna de oxidación.
- b. Tipos de lagunas de oxidación.
- c. Operación de las lagunas de oxidación.
  - c.1. Parámetros operacionales y como medirlos.
  - c.2. Reportes operacionales como análisis de control del Ministerio de Salud.
  - c.3. Parámetros operacionales de análisis interno para la empresa.
- d. Mantenimiento de las lagunas de oxidación.
- e. Posibles problemas en el sistema de lagunas si no hay buen mantenimiento.
- f. Verificación del mantenimiento.
- g. Sección práctica de la capacitación.

Se trató de hacer énfasis en el problema que causaba la permanencia de materia orgánica flotante en la laguna anaerobia. Ya que si se presentaba material flotante en la laguna anaerobia, se podría interrumpir las fases del proceso anaerobio. En un agua estancada o punto muerto en la laguna anaerobia, ocurren las dos primeras fases anaerobias, creando ácidos que disminuyen el pH (puede llegar a ser menor de 5), y si no circula el agua, el pH no se regula (no aumenta hacia 7); por lo que los microorganismos metanogénicos no pueden llevar a cabo la tercera fase, porque son sensibles a pH ácidos; es decir queda incompleto el proceso anaerobio. En consecuencia la materia orgánica no se disminuye.

Los ausentes a la capacitación recibieron, de parte de los otros operadores, la información suministrada. Los ausentes fueron el señor Juan José Monge y el señor Giovanni Varela Méndez. Debido a una reunión el señor Juan José Monge, no pudo asistir a la capacitación, y el señor Giovanni Varela Méndez tampoco pudo asistir, porque se encontraba enfermo.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa Productores de Monteverde S.A. con respecto a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales:

- a. Implementar un separador de sólidos en paralelo al actual.
- b. Realizar una limpieza de sedimentos en el sedimentador y reparar las tuberías necesarias.
- c. Cambiar o reconstruir la caja distribuidora de caudales en la entrada de la laguna anaerobia, para evitar infiltraciones a la capa de suelo.
- d. Implementar lo establecido en la capacitación a los operadores y encargado de la planta de tratamiento, con respecto a la operación y mantenimiento de las lagunas de oxidación.
- e. Añadir el humedal superficial y el lirio acuático a la laguna facultativa, para tratar el nitrógeno y fósforo del agua residual. Además de los vertederos de altura móvil, los cuales evitarán la acumulación de mosquitos dentro del agua.
- f. Realizar un perfil de lodos cada año y evaluar la eficiencia de la laguna facultativa. Para asegurar su funcionamiento con los lirios acuáticos.

Al mismo tiempo, se concluye que:

- a. El comportamiento del caudal y parámetros operacionales durante los últimos seis años, mostraron a la laguna anaerobia funcionando mejor que la laguna facultativa. Durante el muestreo se logró establecer una eficiencia de remoción del 92% para la LA y del 24% para la LF, según la  $DBO_5$ .
- b. El comportamiento del N orgánico demostró que sí se da una disminución conforme pasa por los tratamientos; sin embargo, el N total no disminuyó, porque el N Amon va en aumento a través de los tratamientos. Por lo tanto no se cumplió con la legislación vigente.
- c. El comportamiento del P mostró una gran cantidad proveniente de la fábrica de quesos y luego se le sumaba el P de las excreta de los cerdos, sin embargo en el sedimentador, se removía un 55% del agua residual, y en las lagunas de oxidación el cambio era cercano

al 10%. El P, en el agua residual de salida de la PTAR, no estaba cumpliendo con el reglamento de vertido de aguas residuales.

- d. La implementación de un separador de sólidos paralelo al actual, aumentaría la separación de cerdaza, el caudal de entrada a la laguna anaerobia y disminuiría la acumulación de aguas residuales en el tanque de estabilización.
- e. La ampliación del tratamiento de las aguas residuales con un humedal superficial, daría un tratamiento de pulido al agua, a la cual se le removerían el N y P, además de materia orgánica. Ajustando las cantidades de estos parámetros para que cumplan con el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.
- f. La capacitación colaboró con el conocimiento e importancia de realizar una operación y mantenimiento adecuado, a las lagunas de oxidación, para prevenir posibles fallas en el funcionamiento de estas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo, A. (2009). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, acercamiento a su problemática como riesgo laboral. *Secretaría de Salud Laboral y Medio Ambiente*, 24-33.
- Arrey, J. (16 de Abril de 2008). *NURI I ESPADALER S.L.* Recuperado el 25 de Abril de 2012, de ASOCIACIÓN CATALANA DE FABRICANTES DE PINSOS:  
<http://www.seminariospiensos.org/fabricacion/fabricaci%C3%B3n06/Presentaciones/1%20Presentaci%C3%B3n%20J.Rafael%20NE.%20pdf.pdf>
- Arronis, V. (s.f.). *Utilización de Cerdaza en Sistemas Intensivos de Producción de Novillos de Engorde.* Recuperado el 26 de Abril de 2012, de Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería:  
<http://www.infoagro.go.cr/ProgrNacionales/Porcinos/Cerdaza.htm>
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2008). *Fabricación de productos lácteos.* Santiago.
- Contreras, R. (1982). *Aprovechamiento del Lirio Acuático como forraje; estudio preliminar.* México.
- Correa, G. (2008). *EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FÉ DE ANTIOQUIA, COLOMBIA.* Medellín: Universidad de Antioquía.
- Decreto 33601. (19 de Marzo de 2007). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.* San José, San José, Costa Rica: La Gaceta.
- Deloya, A. (1994). *Memoria de Cálculo Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Productores de Monteverde S.A.*
- DINAMA. (2004). *Guía para la medición de Caudales de efluentes industriales.*
- Erijman, L. (2010). Tratamiento de efluentes en la industria láctea. *Problemas y soluciones*, 94-95. CONICET.
- Escalante, V., & Alarcón, D. (s.f.). *Tratamiento de efluentes porcícolas en granjas de traspatio.* México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Escamilla, J. (2007). *Buenas prácticas de Manufactura Procedimientos de Operación Estándar de Sanidad, para la Industria Láctea.* Tulacingo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- FAO. (1985). Manual Correspondiente al Modulo III B. En FAO, *Elaboración de Quesos* (págs. 81-85). Recuperado el 25 de Abril de 2012, de <http://www.biblioteca.ueb.edu.ec/bitstream/15001/133/1/SEGUNDA%20PARTE.pdf>
- Franchi, O. (2010). Suero de Leche, propiedades y usos. En O. Franchi, *Innovación en la industria láctea* (págs. 4-8). Valparaíso: Quesos Maitenes de Ocoa.
- Francia, D., González, R., Flores, Á., Espinosa, M., & Sánchez, L. (s.f.). *Remoción de nitrógeno y fósforo de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales*. Guanajuato: Instituto de Ciencias Agrícolas.
- Gutierrez, E. (2006). *Desarrollo de una bebida de suero dulce derivado de la fabricación de queso fresco, fermentada con cultivos Lactovacillus helveticus y Streptococcus salivarius var thermophilus (TCC-20), adicionada con cultivos probióticos Lactobacillus paracasei subs....* San José: Facultad de Ciencias Agroalimentarias (UCR).
- Lara, J. (1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Cataluña: Instituto Catalán de Tecnología.
- Luna, V., & Ramírez, H. (2004). Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedales artificiales. *Internacional de Contaminación Ambiental*, 31-38.
- Mariscal, G. (2007). TRATAMIENTO EXCRETAS CERDOS. En FAO, *Producción Porcina* (pág. 4). México: CENID Fisiología, INIFA.
- Metcalf, Eddy, & Inc. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. China: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ocampo, O., Netzahuatl, A., Cristiani, E., Juárez, C., Ruiz, N., & Galíndez, J. (s.f.). *Comparación de las eficiencias de reducción de la DQO del suero lácteo, obtenidas en cultivo por lote y continuo con un cultivo mixto ternario de levaduras*. Recuperado el 25 de Abril de 2012, de Escuela Nacional de Ciencias Biológicas: [http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA\\_VI/CVI-21.pdf](http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_VI/CVI-21.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Leche y Productos Lácteos. *CODEX ALIMENTARIUS*, 2-3.
- Paniagua, H. (Enero de 2008). *Manual de la elaboración de los Productos Lácteos en la empresa Chelmar S.A. de C.V. en Saltillo, Coahuila*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Perez, M., Dautant, R., Contreras, A., & González, H. (27 de Octubre de 2002). Reactor Discontinuo Secuencial. *Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 2-3. Cancún, México: FEMISCA.
- Programa de Medio Ambiente. (2010). *Consultoría de Apoyo a los Procesos de Normas Ambientales en Sistemas Hídricos*. Fundación Chile.
- Quintal, C., & Martínez, C. (s.f.). *CONDICIONES DE CARGA ORGANICA, TEMPERATURA, PRECIPITACION, RADIACION SOLAR, SULFUROS Y SULFATOS EN LA ESTRATIFICACION DE LABIOMASA ALGAL EN LAGUNAS DE ESTABILIZACION*. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Ramalho, R. (1983). *Tratamiento de Aguas Residuales*. New York: Academic Press.
- Remoción de compuestos inorgánicos disueltos. (2007). En S. Manahan, *Introducción a la Química Ambiental* (págs. 234-237). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Citme Madrid.
- Winkler, M. (1999). Tratamiento biológico de Aguas de Desecho. En M. Winkler, *Tratamiento biológico de Aguas de Desecho* (págs. 253-301). D.F. México: Limusa S.A.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ubicación de la fábrica de quesos y la Granja Porcina.



Fuente: Googlemaps.

## **Anexo 2. Tabla de parámetros operacionales obligatorios según decreto 33601.**

Características generales de los parámetros de análisis obligatorio para aguas residuales.  
Modificado por el artículo 23, capítulo II.

Parámetro	Límite
<b>DBO<sub>5,20</sub></b>	200 mg/L
<b>DQO</b>	500 mg/L
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	200 mg/L
<b>Grasas/aceites</b>	30 mg/L
<b>Potencial hidrógeno</b>	5 a 9
<b>Temperatura</b>	15°C ≤ T ≤ 40°C
<b>Sólidos sedimentables</b>	1 mL/L
<b>Sustancias activas al azul de metileno</b>	5 mg/L

## **Anexo 3. Preguntas de la entrevista a los operadores y encargado del sistema de aguas residuales.**

Nombre:

Edad:

- 1) ¿Cuál es su puesto? ¿Cuánto tiempo lleva laborando en la granja?

Objetivo de la pregunta: Relacionar la responsabilidad dentro del sistema de tratamiento con respecto al puesto y tiempo de laborar.

- 2) ¿Conoce sobre el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales? ¿Qué conoce?

Objetivo de la pregunta: Documentar el conocimiento que poseen, para determinar si necesitan una capacitación o refrescamiento de las actividades que se deben realizar periódicamente en este tipo de sistemas.

- 3) ¿Alguna vez se ha encargado de la limpieza de alguna sección de la planta o ha hecho alguna actividad relacionada con la revisión de la operación de la planta?

Objetivo de la pregunta: Documentar el conocimiento que poseen, para determinar si necesitan una capacitación o refrescamiento de las actividades que se deben realizar periódicamente en este tipo de sistemas.

4) ¿Cada cuánto realizan la limpieza de los bordes externos de las lagunas? ¿Usted participa?

Objetivo de la pregunta: Documentar y relacionar las actividades de mantenimiento con la cantidad de personal disponible.

5) ¿Cómo cuánto tiempo se le puede dedicar al mantenimiento o revisión del sistema en un día normal de trabajo?

Objetivo de la pregunta: Relacionar las actividades de mantenimiento con la cantidad de personal disponible.

6) ¿Sabe cómo regular los caudales de entrada a las lagunas? ¿Lo ha hecho?

Objetivo de la pregunta: Determinar cuáles son las funciones entre las cinco personas, con respecto a las lagunas de oxidación.

7) En caso de fuga en alguna parte del sistema, ¿cómo se actuaría?

Objetivo de la pregunta: Reconocer medidas de prevención y mitigación.

8) ¿Alguna mejora que considere importante realizar al sistema?

Objetivo de la pregunta: Documentar sugerencias.

Muchas gracias

#### **Anexo 4. Material entregado durante la capacitación de los operadores y encargado del sistema de aguas residuales.**

**Capacitación para la Operación y  
Mantenimiento de las Lagunas de  
Oxidación  
Productores de Monteverde S.A.**

**“Dime y lo olvido, enséñame y lo  
recuerdo, involúcrame y lo  
aprendo”**

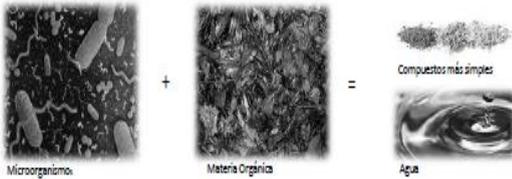


Benjamin Franklin

## PROCESO NATURAL



Microorganismos para degradar la materia orgánica (ramas, hojas, excretas de animales, entre otros) en lagos, ríos, pozas, etc.



## Lagunas de Oxidación

### Definición

Son cuerpos de agua residual, almacenados entre taludes de tierra o cemento; que asemejan el proceso natural de depuración del agua.

### Objetivos:

- Remover la materia orgánica que contamina el agua.
- Eliminar microorganismos patógenos.
- En gran cantidad de lugares se reutilizan las aguas tratadas para la agricultura.



Colegio de la Inmaculada, Hermanos Santos García 108, Lima, Perú.



Matagalpa, Nicaragua

## Microorganismos

### Aerobios

- Utilizan el oxígeno para la descomposición de la materia orgánica.
- La descomposición es más rápida.
- Los productos son más simples.
- Consumen menos energía microbiana.

### Anaerobios

- No utilizan oxígeno para la descomposición de la materia orgánica.
- La descomposición es más lenta.
- Consumen más energía microbiana.
- Producen gases de efecto invernadero (Metano) y olores desagradables (H<sub>2</sub>S).
- Los productos son intermedios, por lo que si llegan a un sistema natural, lo pueden contaminar.

## Laguna Anaerobia



Las condiciones anaeróbicas prevalecen cuando se aplica una carga orgánica que exceda la producción de oxígeno de la fotosíntesis.

Área: 1800 m<sup>2</sup>

Altura: 3,05 m

Tiempo de retención: 19 días

## Laguna Facultativa



Posee una zona superior aeróbica mantenida por fotosíntesis y reaeración superficial, una zona inferior anaeróbica, y una zona intermedia facultativa (durante el día posee oxígeno disuelto y durante la noche es zona anaeróbica).

Área: 2200 m<sup>2</sup>    Altura: 2,65 m    Tiempo de retención: 14 días

## Parámetros Operacionales

Parámetros de operación	Frecuencia mínima
Caudal (influyente, efluente)*	1/día
Temperatura (°C)*	1/semana
pH*	1/semana
Profundidad de operación*	1/semana
Color	1/semana
Sólidos suspendidos totales	2/semana
Oxígeno disuelto (OD)	1/semana
DBO	2/mes
Coliformes	1/mes
Meteorológicos (temperatura ambiente, precipitación, estado del cielo, dirección del viento)*	Diaria

\*Realizados por el operador

## Operación



### Definición

Toda actividad destinada a mantener diariamente un adecuado funcionamiento del sistema, que consiste en una inspección superficial de la planta y en la obtención de parámetros que indiquen la eficiencia del sistema.

Un control periódico de los parámetros permite observar su comportamiento a lo largo del tiempo. Con lo cual se reconocen las épocas donde es necesaria una rápida intervención.

## Control de los Parámetros Operacionales

### Caudal

Debe medirse 2 veces por día y anotar los resultados en las hojas de registro.

Se deben anotar tanto el caudal influyente como el caudal efluente.

Se mide el caudal:

- Influyente: por el método volumétrico.

- Efluente: por medio del vertedero triangular.



## Control de los Parámetros Operacionales

El utensilio de medición según el método:

- Método Volumétrico: envase de volumen conocido y un cronómetro. Se mide el tiempo que tarda el envase en ser llenado por el caudal.



- Método del vertedero triangular: una regla en cm. Se mide la altura del agua que está pasando por el vertedero. Se compara con una lista de mediciones, donde ya se encuentra calculado el caudal en litros por segundo.



h (cm)	L/s
5,5	1
6,0	1,2

## Control de los Parámetros Operacionales

- Temperatura y pH

Variaciones drásticas de temperatura y pH, influyen en la eficiencia de remoción de materia orgánica; ya que se da una alteración en los valores de oxígeno disuelto y en el metabolismo de los microorganismos.

Cuando la temperatura aumenta se mejora la sedimentación de materia flotante suspendida y se acelera el desprendimiento de gases, lo cual provoca que parte de los lodos sedimentados en el fondo, floten en la superficie de la laguna (característico durante el cambio de la época lluviosa y la época seca).

Laguna Anaerobia



## Análisis de Control

- Ministerio de Salud

Los parámetros de control se establecen en el Decreto 33601, y son de análisis y cumplimiento obligatorio. Entre estos análisis se encuentran: DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, fosfatos y nitrógeno total.

Los debe realizar un laboratorio certificado, según el decreto vigente, cada mes. Ya que este sistema de tratamiento recibe las aguas residuales de una quesería y de una chanchera.

## Control de los Parámetros Operacionales

- Profundidad de operación

Debe obtenerse una vez por semana.

Se utiliza una canoa y una vara marcada en cm, para medir la profundidad en la entrada y en la parte media de la laguna.

Para controlar el tiempo de retención del sistema, se observan los promedios obtenidos durante época seca y lluviosa.



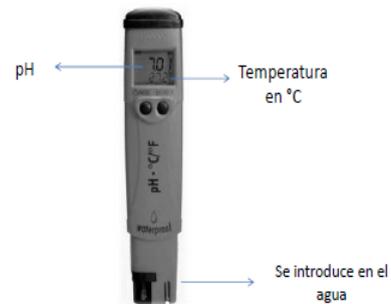
Entrada Laguna



Parte media

## Control de los Parámetros Operacionales

Se utiliza un pHmetro para medir la Temperatura y el pH del agua residual.



pH

Temperatura en °C

Se introduce en el agua

## Análisis de Control

- Análisis internos

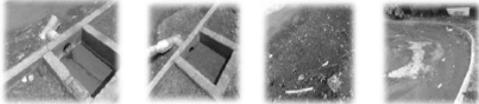
Se deben realizar para controlar que el sistema este funcionando correctamente; abarcan los análisis de un Reporte Operacional más: ácidos grasos volátiles (AGV's)<sup>1</sup>, DQO soluble<sup>2</sup>, sólidos suspendidos volátiles (SSV)<sup>3</sup> y alcalinidad<sup>4</sup>.

Los AGV's, DQO soluble, SSV y alcalinidad, muestran con sus cambios si hay variaciones en el funcionamiento de las lagunas. Por ejemplo, si la alcalinidad se encuentra entre 1000-2000 mg/L, se espera un descenso en la concentración de materia orgánica entre la entrada y salida de las lagunas; pero si la alcalinidad no se encuentra en este rango se corre el riesgo de que el proceso anaerobia no se complete correctamente, dejando un agua acidificada, la cual puede matar microorganismos muy importantes para disminuir la materia orgánica.

1) Producto de una fase intermedia del proceso anaerobio, en grandes cantidades pueden afectar el comportamiento de los microorganismos. 2) Materia orgánica que los microorganismos no están consumiendo. 3) Aproximado de materia orgánica presente en el agua o como sólidos biológicos (microorganismos). 4) Capacidad del agua para controlar cambios de pH.

## Mantenimiento

- Definición: se entiende como la conservación de las unidades construidas, con la finalidad de impedir que factores extraños interfieran en el funcionamiento del proceso.
- Mantenimiento diario: una vez o más al día, como la remoción de materia flotante, limpieza de tubos y mantenimiento de zonas adyacentes.
- Mantenimiento periódico: no se requiere diariamente, como la remoción de lodos del fondo de la laguna, revisión de la profundidad del lodo, reparación de cercas y señales, pintura de elementos afectados por corrosión, entre otros.



## Mantenimiento diario

### Remoción de materia flotante

Se necesita remover diariamente la materia flotante para evitar el crecimiento excesivo de las algas, la obstrucción del paso del agua y por lo tanto la no oxigenación de la zona; también la formación de capas de espuma y mantos de lodos, y la acumulación de grasas y aceites, papel, pedazos de madera y plásticos, de forma que puedan obstruir salidas y

tuberías.

También se puede provocar malos olores por capas de algas muertas.



## Mantenimiento periódico

### Extracción de lodos

La acumulación de lodos se debe revisar una vez por año. Si se acumula más de la mitad de la profundidad puede provocar problemas en el funcionamiento del sistema; ya que interfiere en la distribución del oxígeno disuelto y en el metabolismo de los microorganismos. La eficiencia del sistema disminuye.

Los lodos también pueden acumularse en las salidas.



## Mantenimiento quincenal

### Bordes, diques y zonas adyacentes

Deben mantenerse libres de vegetales perjudiciales, ya que las hierbas y malezas favorecen la proliferación de mosquitos u otro tipo de insectos. La vegetación adyacente debe ser de raíz superficial para no dañar las lagunas.

Debe evitarse la caída excesiva de materia orgánica en la laguna facultativa, como hojas y ramas; además de mantener una distancia de 1 m, entre los árboles y el borde de la laguna.

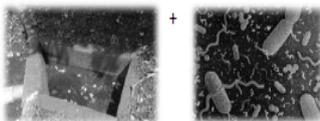


## Problema en el sistema

Si el agua residual no fluye, queda estancada en un solo sitio, el proceso que están llevando a cabo los microorganismos anaerobios se paraliza.

Es decir, el agua que no fluye se va volviendo ácida\* (puede llegar a tener un pH menor a 5,3), provocando la muerte de los microorganismos anaerobios metanogénicos (última fase anaerobia); los cuales están encargados de transformar las sustancias en metano y otros productos. Si no se transforman las sustancias, no se logra disminuir la concentración de materia orgánica en el agua.

\*La acidez es provocada por la 3ª fase del proceso anaerobio (acetogénesis), donde se produce ácido acético, y al no fluir el agua, no puede regular el pH, disminuyéndolo cada vez más.



= Disminuye el pH Agua

## Verificación de mantenimiento

Área Inspección	Condición o problema	Dirección o Acción
Sitios alrededor de la laguna	Crecimiento de arbustos o malezas	Derribar y remover.
Sitios alrededor de la laguna	Inundación por agua de lluvia	Desalojar el agua por medio de pequeños diques.
Borde superior interno de la laguna	Pasto grande o maleza	Extracción del pasto grande o maleza, disponer en un hueco.
Borde superior	Pasto grande o maleza	Segar el pasto, cortar las malezas y remover lo cortado.
Superficie de la laguna	Formación de natas, presencia de insectos, malos olores	Mantener limpia la superficie de malezas, recolección de natas, y disponer ambas adecuadamente.

Borde de las lagunas	Pasto, árboles u arbustos	Mantener con tamaño bajo.
Salida de las lagunas	Acumulación de residuos	Remover los residuos.
Salida de las lagunas	Presencia de algas en el efluente	Método químico: agregar soluciones de sulfato de Cobre. Método físico: extraer el agua del fondo de la superficie usando un buen arreglo de divisiones

Muchas Gracias

**Anexo 5. Tabla para obtener el caudal que sale por el vertedero triangular.**

**FLUJO DE AGUA A TRAVÉS DE UN VERTEDERO TRIANGULAR DE 90°, OBTENIDO A PARTIR DE LA ALTURA DEL AGUA EN EL VERTEDERO.**

Altura ( $h$ ) en cm	Caudal (l/s)	Altura ( $h$ ) en cm	Caudal (l/s)
5	0,8	20,5	26,3
5,5	1,0	21	27,9
6	1,2	21,5	29,6
6,5	1,5	22	31,3
7	1,8	22,5	33,1
7,5	2,1	23	35,0
8	2,5	23,5	36,9
8,5	2,9	24	38,9
9	3,4	24,5	41,0
9,5	3,8	25	43,1
10	4,4	25,5	45,3
10,5	4,9	26	47,6
11	5,5	26,5	49,9
11,5	6,2	27	52,3
12	6,9	27,5	54,7
12,5	7,6	28	57,2
13	8,4	28,5	59,8
13,5	9,2	29	62,5
14	10,1	29,5	65,2
14,5	11,0	30	68,0
15	12,0	30,5	70,9
15,5	13,1	31	73,8
16	14,1	31,5	76,9
16,5	15,3	32	79,9
17	16,4	32,5	83,1

17,5	17,7	33	86,3
18	19,0	33,5	89,6
18,5	20,3	34	93,0
19	21,7	34,5	96,5
19,5	23,2	35	100,0
20	24,7		

## Anexo 6. Fórmulas para el procesamiento de resultados de análisis de laboratorio

Las siguientes fórmulas son para procesar la información obtenida de los análisis de laboratorio.

Cálculo de nutrientes en las lagunas de oxidación:

a. Relación C/N:  $CO \times \frac{1 \text{ kg N}}{22.5 \text{ kg DBO}_5 / \text{día}}$

b. Relación C/P:  $CO \times \frac{1 \text{ kg P}}{165 \text{ kg DBO}_5 / \text{día}}$

CN (kg N/día):  $Q \cdot N \text{ (mg/L)} / 1000$

CO (kg DBO/día):  $\frac{DBO \text{ (mg/L)} \cdot Q \text{ (m}^3/\text{día)}}{1000}$

COS (kg DBO/Ha.día):  $CO / \text{Área superficial}$

CP (kg P/día):  $Q \cdot P \text{ (mg/L)} / 1000$

Tr (días):  $\text{Volumen (m}^3) / Q \text{ (m}^3/\text{día)}$