

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIAS DE LOS
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ESTADO DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN TRES
LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE CACATACHI - TARAPOTO**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES**

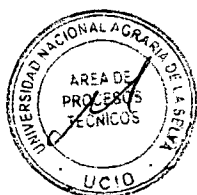
PRESENTADO POR:

DAVID RUIZ SÁNCHEZ

PROMOCIÓN: 2009

Tingo María - Perú

2010



P10

R94

Ruiz Sanchez, David

Estado de la Depuración de las Aguas Residuales en tres Lagunas de Oxidación de Cacatachi-Tarapoto. Tingo María, 2010

59 h.; 18 cuadros; 11 fgrs.; 24 ref.; 30 cm.

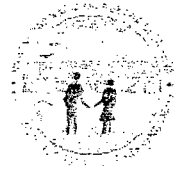
Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad Recursos Naturales Renovables.

AGUAS RESIDUALES / LAGUNAS – OXIDACION / BIOINDICADORES /
DEPURACION / METODOLOGIA / CACATACHI – TARAPOTO / TINGO
MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERU.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 29 de Noviembre de 2010, a horas 06:30 p.m. en la Sala de Conferencias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

“ESTADO DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN TRES LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE CACATACHI - TARAPOTO”

Presentado por el Bachiller: **RUIZ SÁNCHEZ, DAVID**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **"MUYBUENO"**.

En consecuencia la sustentante queda apta para optar el Título de **INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 14 de Marzo de 2011

.....
Bigo. MSc. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE
Presidente

.....
Ing. WARREN RIOS GARCÍA
Vocal

.....
Ing. NELINO FLORIDA ROFNER
Vocal



.....
Mcbigo. MSc. CÉSAR S. LÓPEZ LÓPEZ
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por iluminar mi camino
y permitir que culmine mi carrera

A mí adorado padre que Dios tenga
en su gloria Wilfredo Ruiz García y a
mi madre Nely Sánchez Ramírez
por su amor y comprensión y por
sus continuos consejos que guían
mi vida

A mi esposa Pilar e hija Margareth
por su amor y cariño quienes son
el motor de mi superación

A mis hermanos: Truman Ruiz Dávila,
Javier Ruiz Sánchez, Washintong Ruiz
Sánchez; por sus cariño y apoyo
incondicional en los momentos más
difíciles

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación académica que me brindó durante cinco años.
- Al Dr.Sc. Mblgo. César Samuel López López por su valioso asesoramiento para la culminación de este trabajo de investigación y por su incondicional amistad.
- Al Ing. Warren Ríos García, por su amistad, apoyo y cariño en el proceso de mi formación como profesional y como persona, A los jurados de tesis: Blgo. M.Sc. Edilberto Chuquilin Bustamante, Ing. Nelino Florida Rofner, por sus oportunas sugerencias.
- Al Ing. Richard Sías Rodríguez, por su amistad y colaboración para poder realizar el presente trabajo.
- A todos mis colegas y compañeros de la facultad de Recursos Naturales Renovables que con su amistad y cariño hicieron llevaderos los años de mis estudios universitarios.
- A mi colega e inigualable gran amiga Maribel Roca Capcha cuya amistad durará inquebrantable durante toda nuestra vida.
- A Jean Francis Torres Upiachihua, por su amistad, apoyo, cariño y colaboración para poder hacer realidad el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
	2.1. Lagunas de oxidación.....	4
	2.2. Tratamiento de aguas residuales	6
	2.2.1. Pasos del tratamiento	6
	2.2.2. Sistemas de tratamientos biológicos	7
	2.3. Concepto de indicador biológico.....	7
	2.3.1. Ventajas de los indicadores biológicos	8
	2.3.2. Utilidad de los bioindicadores	10
	2.4. Principios de la bioindicación	11
	2.4. Bacterias como organismos indicadores.....	11
	2.6. Agentes patógenos de las aguas.....	13
	2.7. Propiedades químicas del agua	14
	2.7.1. Dureza del agua.....	14
	2.7.2. Oxígeno disuelto	15
	2.7.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	17
	2.7.4. Potencial hidrógeno (pH).....	17
	2.7.5. Sólidos suspendidos totales (SST).....	18
	2.8. Influencia del caudal	20

2.8.1. Aforo con flotadores.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Lugar de ejecución.....	21
3.1.1. Ubicación política.....	21
3.1.2. Ubicación geográfica.....	21
3.1.3.Limites.....	22
3.1.4.Clima.....	22
3.2. Componentes en estudio.....	22
3.3. Parámetros evaluados.....	23
3.4. Metodología	23
3.4.1. Muestreo	23
3.4.2. Bioindicadores microbiológicos de calidad del agua.....	24
3.4.3.Indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua	27
3.5. Diseño experimental	28
3.6. Análisis estadístico	28
3.6.1. Tratamientos en estudio.....	29
3.6.2. Modelo lineal.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
V. CONCLUSIONES.....	50
VI. RECOMENDACIONES.....	51
VII. ABSTRACT.....	52
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
IX. ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Parámetros físico-químico y microbiológicos aislados de las tres lagunas de oxidación de Cacatachi	23
2. Tratamientos en estudio	29
3. Análisis de varianza de los parámetros evaluados.....	30
4. Promedios de los bioindicadores e indicadores físico-químicos en las tres lagunas de oxidación.	32
5. Determinación de presencia o ausencia de estreptococos, vibrio, salmonela y pseudomonas en tres lagunas de oxidación	41
6. Datos de los promedios mensuales y promedio general de los parámetros físicos-químicos determinados en las tres lagunas de oxidación.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Datos promedios de los muestreos y promedio general de la enumeración de microorganismos aerobios viables (NMAV) de las tres lagunas de oxidación	35
2. Datos promedios de los muestreos y promedio general del Número Más Probable (NMP) de las bacterias coliformes totales en las tres lagunas de oxidación	37
3. Datos promedios de los muestreos y promedio general de la numeración de <i>Staphylococcus sp.</i> en las tres lagunas de oxidación	38
4. Datos promedios de los muestreos y promedio general de la numeración mohos y levaduras (NML) en las tres lagunas de oxidación.....	39
5. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio . general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de <i>Streptococcus</i> en las tres lagunas de oxidación	42
6. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de <i>Vibrio cholerae</i> en las tres lagunas de oxidación	43
7. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general	

	de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de Salmonella en las tres lagunas de oxidación	44
8.	Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de Pseudomonas en las tres lagunas de oxidación	46
9.	Laguna de oxidación N° 2	64
10.	Medios de cultivo de las muestras de aguas de la laguna de oxidación en la incubadora	64
11.	Mapa de ubicación del trabajo de investigación	65

RESUMEN

En un sistema de tratamiento de aguas residuales la presencia y concentración de grupos bacterianos están relacionadas con las condiciones de funcionamiento o en caso contrario es necesario realizar una revisión del diseño o estructuras del mismo. Por ello se determinó el estado de la depuración de las aguas de las tres lagunas de oxidación de aguas residuales municipales del distrito de Cacatachi, San Martín, aplicando la metodología de cuantificación de bioindicadores bacterianos y fúngicos, así como detección de la presencia de microorganismos patógenos (*Salmonella*, *Vibrio*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*).

Se encontraron que indicadores coliformes totales ($0.1 \times 10^3/\text{mL}$) en la tercera laguna disminuyeron considerablemente con respecto a las dos primeras, lo mismo con los microorganismos mesófilas viables ($90.5 \times 10^3/\text{mL}$) y con estafilococos ($2.3 \times 10^3/\text{mL}$). Los fungi tuvieron igual cuantificación disminuyendo en la tercera laguna ($0.3 \times 10^3/\text{mL}$). Con respecto a la presencia de patógenos, en las dos anteriores lagunas hay un 100 % de *Streptococcus* y *Vibrio*, y un 16.7 % en la tercera. Asimismo *Salmonella* y *Pseudomonas* con 100 % de presencia en la primera laguna, 50 % en la segunda y 0% en la tercera.

Los indicadores físico químicos mostraron variación concordante con la contaminación en las dos primeras lagunas y en la tercera se verificó una notable disminución generalmente de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Las condiciones de depuración en la tercera laguna aún no son las óptimas para la utilización del agua en forma directa.

I. INTRODUCCIÓN

Los contaminantes de las aguas residuales municipales, o aguas residuales domésticas, son generalmente sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de importancia en la salud pública. Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, presentarán peligrosos efectos y pueden contaminar el suelo y las aguas.

Las lagunas de oxidación son una alternativa para la depuración de aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario, el sistema de lagunaje es eficiente, barato y fácil de mantener pero presenta algunos inconvenientes como el de necesitar gran cantidad de espacio, de ser poco capaz para depurar las aguas de grandes núcleos y una supervisión periódica del funcionamiento del sistema.

En las lagunas de oxidación se desarrollan poblaciones microbianas de bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades.

Entre los grupos bacterianos resaltantes se encuentran los heterótrofos, sulfato-reproductores y nitrato-reductores microorganismos claves en la transformación y reciclaje de nutrientes en los ambientes acuáticos, y también se instalan los coliformes y los enterococos que están asociados a la contaminación por aguas servidas. Estos últimos grupos son considerados bioindicadores de la calidad del agua en cuanto se refiere a contenidos de materia orgánica y nutrientes minerales.

En un sistema de tratamiento de aguas residuales se debe evaluar la presencia y concentración de estos grupos bacterianos en cada una de las lagunas en orden consecutivo, lo que nos permitirá determinar si el sistema se encuentra en condiciones apropiadas de funcionamiento o en caso contrario es necesario realizar una revisión del diseño o estructuras del mismo.

Es de suma importancia evaluar la calidad de las aguas tratadas para asegurar su reutilización en posteriores trabajos de riego ya sea en sistemas de plantaciones agrícolas o forestales, que permitan a los agricultores suplir parcialmente las necesidades de agua en sus labores cotidianas. Ante

ello surgió la interrogante ¿La presencia y concentración de microorganismos bioindicadores de contaminación de agua en tres lagunas de oxidación de Cacatachi, revelan el estado de depuración de las aguas residuales de la ciudad?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el estado de la depuración de aguas residuales en las tres lagunas de oxidación de Cacatachi

1.2.2. Objetivos específicos

– Determinar los factores físico-químicos de las tres lagunas de oxidación que permiten el desarrollo de bacterias como bioindicadores del estado de depuración de las aguas residuales.

– Determinar los bioindicadores bacterianos y fungi que permitan establecer la calidad del agua en las tres lagunas de oxidación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Lagunas de Oxidación

Las lagunas de oxidación son excavaciones de poca profundidad en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades tales como el cólera, parasitismo, hepatitis y otras enfermedades gastrointestinales. Es un método fácil y eficiente para tratar aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario. Este sistema es efectivo en costos cuando se dispone de suficiente terreno para construir las; es decir, el costo de la tierra no es de un valor limitante (VÁZQUEZ *et al.*, 2006).

El sistema está compuesto por un tratamiento primario que consiste en un grupo de trampas que atrapan y separan los elementos sólidos no inherentes al diseño del sistema. En etapas siguientes el agua y sus residuos pasan a un sistema de lagunas (una o más) donde permanecen en contacto con el entorno, principalmente el aire, experimentando un proceso de oxidación y sedimentación, transformándose así la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una

comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático (VÁZQUEZ *et al.*, 2006).

Luego de este proceso, el agua superficial de las lagunas queda libre entre un 70 y un 85% de demanda química o biológica de oxígeno, los cuales son estándares apropiados para la liberación de estas aguas superficiales hacia la naturaleza de forma que esta última pueda absorber los residuos sin peligro para el medio ambiente y sus especies.

VÁZQUEZ *et al.* (2006) menciona que existen otras formas de lagunas para el tratamiento de aguas residuales, según su forma de operación pueden ser clasificadas en:

- **Lagunas de oxidación aerobias (aireadas).** Cuando existe oxígeno en todos los niveles de profundidad. Los procesos aeróbicos tienen la ventaja de que aceleran el proceso de descomposición de los residuos orgánicos (en condiciones de suficiente oxígeno) y no producen gases malolientes como resultado de la acción bacteriana. La desventaja de este proceso es que normalmente se requiere energía externa para producir la aireación necesaria.

- **Lagunas de oxidación anaerobias (sin aireación).** Cuando la carga orgánica es tan grande que predomina la fermentación sin oxígeno.

Cuando actúan bacterias anaerobias, se producen gases mal olientes y por esta razón, las plantas de tratamiento anaeróbicas se construyen como estructuras cerradas con control de emisión de gases para evitar molestias al entorno.

- **Lagunas de oxidación facultativas.** Es el caso que opere como una mezcla de las dos anteriores, la parte superior aerobia y el fondo anaerobio. Esta situación es la más común en una laguna de oxidación expuesta al ambiente.

- **Lagunas de acabado.** Son aquellas que se utilizan para mejorar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento. En algunas ocasiones se necesita mejorar la calidad del efluente producido, especialmente cuando existen proyectos de reciclado del agua.

2.2. Tratamiento de aguas residuales

2.2.1. Pasos de tratamiento

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

- Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.

- Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.

- Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

- Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

2.2.2. Sistemas de tratamiento biológico

Los objetivos del tratamiento biológico son tres: (1) reducir el contenido en materia orgánica de las aguas, (2) reducir su contenido en nutrientes, y (3) eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

2.3. Concepto de indicador biológico

En general, todo organismo es indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un

espacio y momentos determinados responden a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. Sin embargo, en términos más estrictos, un indicador biológico acuático se ha considerado como aquella cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita. Los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad del agua más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica. Es pertinente aclarar que más que a un organismo, el indicador biológico se refiere a la población de individuos de la especie indicadora, y en el mejor de los casos al conjunto de especies que conforman una comunidad indicadora.

El concepto de organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros. Usualmente los biólogos emplean bioindicadores de contaminación debido a su especificidad y fácil monitoreo (WASHINGTON, 1984). VÁZQUEZ *et al.* (2006) mencionan que, los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones en el medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones.

2.3.1. Ventajas de los indicadores biológicos

HERBAS *et al.* (2006) mencionan que, el uso de especies para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas:

-Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan, es decir, las especies y comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes que en determinado momento un muestreo de variables químicas o físicas pasan por alto.

-La vigilancia biológica evita la determinación regular de un número excesivo de parámetros químicos y físicos, ya que en los organismos se sintetizan o confluyen muchas de estas variables.

-Los indicadores biológicos permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos o insospechados.

-Puesto que muchas sustancias se acumulan en el cuerpo de ciertos organismos, su concentración en esos indicadores puede reflejar el nivel de contaminación ambiental.

-Como no es posible tomar muestras de toda la biota acuática, la selección de algunas pocas especies indicadoras simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema, a la vez que se obtiene solo la información pertinente, desechando un cúmulo de datos difícil de manejar e interpretar

2.3.2. Utilidad de los bioindicadores

El principal uso que se le ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización), o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases con miras a establecer la calidad del agua.

PINILLA (1998) manifiesta que existen otras series de fenómenos que no son de origen cultural y que se pueden determinar mediante bioindicadores como son por ejemplo:

- Saturación de oxígeno
- Condiciones de anoxia
- Condiciones de pH
- Estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua
- Turbulencia del agua
- Torrencialidad
- Proceso de mezcla entre el hipolimnio y el epilimnio en cuerpos lenticos
- Eutrofización natural
- Grado de mineralización del agua
- Presencia de hierro, sílice y calcio
- Fenómenos de sedimentación

2.4. Principios de la bioindicación

Un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iniciales de un sistema acuático provocaran una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación). Los efectos sobre la fauna acuática cuando es sometida a la descarga de una sustancia tóxica; a medida que transcurre el tiempo se pasa de respuestas individuales (bioquímicas y fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y ecosistémicas.

Entonces un indicador biológico será aquel que logre soportar los efectos ocasionados por el elemento perturbante, es decir, que muestre algún tipo de respuesta compensatoria o tolerante. Estas respuestas significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico (HERBAS *et al.*, 2006).

2.4. Bacterias como organismos indicadores

En las aguas destinadas al consumo doméstico, uno de los factores más importantes a tener en cuenta es su estado sanitario, reflejado en los organismos que contiene. En este caso es necesario utilizar índices bacteriológicos que consideran la proporción de organismos indicadores de

contaminación fecal presentes en las aguas a través de conteos directo de las poblaciones de coliformes (especialmente *Escherichia coli*) y de estreptococos, y a veces también de otras especies de virus, sulfabacterias, ferrobacterias. Debido a la gran importancia de estos índices bacteriológicos en cuanto a la sanidad pública y a la dispersión de enfermedades provocadas por aguas, las técnicas de aislamiento e investigación de bacterias fecales están muy desarrolladas y existen métodos automáticos de conteo celular (HERBAS *et al.*, 2006).

En los coliformes totales en los géneros abarca *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*, estas bacterias no necesariamente están asociados con la contaminación fecal y no plantean ni representan un riesgo necesariamente para la salud biológica (ALLEN, 1996).

Utilizan la materia orgánica como fuente de carbono. En los tratamientos aerobios encontramos bacterias aerobias y facultativas, mientras que en los tratamientos anaerobios encontramos bacterias anaerobias y facultativas. Una característica importante de algunas bacterias es su capacidad de flocular. Los flóculos que se forman están constituidos por bacterias unidas unas a otras y también por partículas orgánicas e inorgánicas (VILASECA, 2001).

Los indicadores no habituales: *Staphylococcus sp* y *Pseudomonas sp.*, como indicadores de riesgo a la salud, ya que su origen es fundamentalmente humano (SALAZAR y BLANCO, 2005).

2.6. Agentes patógenos de las aguas

RHEINHEIMER (1987) señala que las aguas residuales, son portadoras de bacterias y hongos patógenos para la especie humana, aunque estos microorganismos no pueden crecer allí definitivamente, sino que terminan sucumbiendo tanto en las aguas continentales como la del mar. No obstante algunos agentes patógenos son capaces de sobrevivir durante más o menos tiempo, según la clase de agua y las condiciones intemperantes en el medio. Como estos microorganismos conservan su virulencia en parte, los lagos, ríos y mares contaminados por aguas residuales implican a menudo un riesgo grave de infección. Esta agua son portadoras con bastante frecuencia de bacterias intestinales patógenas, como *Salmonella typhi* y *S. paratyphi*, que producen enfermedades tíficas, en los países tropicales es frecuente el cólera (*Vibrio cholerae*) con carácter epidémico.

Los límites permisibles establecidos por la OMS, para presencia de coliformes totales y termo tolerantes son de "AUSENCIA" total para todas estas especies bacterianas y para patógenos intestinales.

La presencia de bacterias patógenas intestinales y parásitos de animales en aguas residuales, lodos y materias fecales han sido determinadas por numerosos investigadores y establecieron una relación directa entre las densidades de coliformes y salmonellas en el agua de riego; mas del 50% de las muestras de agua de río contaminada contenía salmonella, pero sola una vez hallaron Salmonella en plantas regadas con esta agua. Se ha pensado que la alta incidencia de la fiebre tifoidea y de las diarreas en Colorado, se debía al consumo de verduras regadas con aguas contaminadas, sin embargo, la causa también podría ser la ingestión directa del agua contaminada (SEOANEZ, 1999).

Los análisis bacteriológicos ponen de manifiesto la presencia de bacterias que alteran y modifican la aptitud de un agua para un determinado uso. El número de bacterias patógenas para el hombre y los animales presentes en el agua es muy reducido y difícil de determinar, por ello y dado que la mayoría de dichos gérmenes patógenos viven en el intestino del hombre y animales de sangre caliente, la detección de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma.

2.7. Propiedades químicas del agua

2.7.1. Dureza del agua

CUSTODIO (1976) menciona que el contenido mineral del agua subterránea es muy variable, pues depende de las condiciones geológicas, hay que distinguir por ejemplo el agua dura, que es rica en CO_3Ca y blanda, que

contiene poca cal. Normalmente el agua subterránea es pobre en sustancias nutritivas a causa de la filtración que experimenta a través de las distintas capas del terreno. Por la misma razón es escaso también su contenido bacteriano. Por eso esta agua desempeña un papel importante en el abastecimiento de agua potable.

Según CASTANY (1975), la dureza del agua es la propiedad de requerir una cantidad de jabón superior a la exigida por el agua destilada para dar origen a una espuma persistente, puede ser llamada dureza total. La dureza temporal es la diferencia entre la dureza total y la dureza permanente, la dureza es debido a la presencia del calcio y de magnesio. En efecto, el jabón es una combinación de una sal de sodio con un ácido, que se descompone en presencia de Ca y Mg, el ácido liberado forma con el calcio un precipitado gaseoso insoluble. La dureza era determinada, en otro tiempo, por la cantidad de jabón necesario para la formación de una espuma persistente.

2.7.2. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua y de los organismos que pueda soportar desarrollen en ella. Generalmente un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles

de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (ROMERO, 1998).

Gran parte del OD en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del OD en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD, por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua (ROMERO, 1998).

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende de la temperatura también. El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua caliente. Una diferencia en los niveles de OD puede detectarse en el sitio de la prueba si se hace la prueba temprano en la mañana cuando el agua está fría y luego se repite en la tarde en un día soleado cuando la temperatura del agua haya subido. Una diferencia en los niveles de OD puede verse entre las temperaturas del agua en el invierno y la temperatura del agua en verano. Asimismo, una diferencia en los niveles de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua (ROMERO, 1998).

Los niveles de OD pueden variar de 0 – 18 mg/L aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 – 6 mg/L para soportar una diversidad de vida acuática. A 20 °C y presión atmosférica estándar (a nivel del mar), la cantidad máxima de oxígeno que puede disolverse en agua dulce es 9 mg/L. Si la temperatura del agua está por debajo de 20 °C, puede haber más oxígeno disuelto en la muestra. En general, un nivel de oxígeno disuelto de 9 – 10 mg/L se considera muy bueno (ROMERO, 1998).

2.7.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana y se le denomina demanda biológica de oxígeno. La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

2.7.4. Potencial de hidrógeno (pH)

Nos indica el comportamiento ácido básico del agua. Es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida

acuática. Es un buen parámetro de carácter general para determinar la calidad de un agua. Habitualmente las aguas naturales tiene un cierto carácter básico con unos valores de pH correspondidos entre 6.5 a 8.5 (ROMERO, 1998).

Es un indicador de las concentraciones de iones de hidrógeno en el agua y a través del cual podemos determinar si el agua es ácida o básica donde el límite más probable (LMP), para el consumo humano es de 6.5 a 8.5 (OMS). Para ello se hace el uso de pequeños instrumentos llamados pHmetro o potenciómetro. En si un pHmetro mide cantidades de iones de hidrógenos en mol por litro en una muestra líquida, por definición el $\text{pH} = -\log [\text{H}]$.

Existiendo una escala, si un pH es mayor que 7 el agua es alcalina, si el pH es menor a 7 el agua es ácida y si el agua es igual a 7 el agua es neutra (ROMERO, 1998).

2.7.5. Sólidos suspendidos totales (SST)

El contenido de sólidos suspendidos totales del agua depende principalmente de los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Se recomienda límites de 500 – 1,000 mg/L pero en regiones con aguas altamente mineralizadas se acepta 1,500 mg/L. El estándar está basado en condiciones de sabor y adaptabilidad al consumo de agua para obviar los efectos fisiológicos observados en

consumidores no acostumbrados a aguas de alto contenido de mineral. Aguas con concentraciones muy alto tienen efectos laxantes y no mitigan la sed. Su valor está asociado generalmente con el sabor, corrosividad, la dureza e incrustaciones en las tuberías de conducciones de agua. Las concentraciones aceptables en aguas para peces, de aguas dulces, pueden oscilar entre 2,000 a 10,000 mg/L según la especie (ROMERO, 1998).

Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas, y pueden ser removidos por medios físicos y mecánicos a través de procesos de filtración o sedimentación, se incluyen en estas clasificaciones las grandes partículas que flotan tales como arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera u otra materia orgánica en descomposición, basura los que son en un 70 % orgánico. Las sustancias filtrables, son sustancias retenidas por un filtro estándar con poro de 0.45 μm donde sus unidades, son unidades por litro (RHEINHEIMER, 1999).

Fórmula:

$$\text{STSg/L} = (A - B) \times 1,000 / \text{volumen de la muestra en litros}$$

Donde:

A = peso del filtro + residuo seco en gramos

B = peso del filtro en gramos.

Para determinar los sólidos totales suspendidos de una muestra obtenida, se puede determina por el método más simple de las diferencias de pesos (SEOANEZ, 1999; RHEINHEIMER, 1987).

2.8. Influencia del caudal

Los contaminantes pueden encontrarse en el agua en diferentes estados. Pueden estar disueltos o en suspensión, lo que significa que se encuentran en forma de gotas o de partículas. Los contaminantes también pueden estar disueltos en gotas o absorbidos por partículas. Todos los estados de los contaminantes pueden desplazarse grandes distancias en el agua de muchas maneras diferentes (LENNTECH, 2008).

2.8.1. Aforo con flotadores

CHAVEZ (1994), Indica que el aforo es la operación de medición del caudal en una sección de un curso de agua. En los ríos se mide en forma indirecta, teniendo en cuenta que:

$$Q \text{ [m}^3\text{/s]} = V \text{ [m/s.]} \times A \text{ [m}^2\text{]}$$

Donde:

Q= caudal V=Velocidad A=área

El método consiste entonces en medir la sección del curso y la velocidad en la misma. Ello se hace a través de verticales referidas a las márgenes en las que se mide profundidad y velocidad. Se determinan así áreas parciales y velocidades medias en las áreas parciales con las cuales se determinan caudales parciales, cuya sumatoria arroja el caudal total.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La zona de estudio se encuentra ubicado en la parte Norte y a la margen derecha de la carretera Fernando Belaúnde Terry y a 12 Km de la ciudad de Tarapoto (Figura 11 del Anexo).

Las muestras del presente trabajo de investigación se analizaron en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.1.1. Ubicación política

Sector	: Rosanaycu
Distrito	: Cacatachi
Provincia	: San Martín
Departamento	: San Martín

3.1.2. Ubicación geográfica

Latitud sur:	6° 29'00"
Longitud Oeste:	76° 20'00"
Altitud:	295 m.s.n.m.

3.1.3. Limites

Norte	: Distrito de Rumizapa.
Este	: Distrito de Morales.
Oeste	: Provincia de Lamas.
Sur	: Distrito de Cuñumbuqui

3.1.4. Clima

El clima de la localidad es cálido y húmedo con precipitación de mayor intensidad entre Noviembre a Abril, aunque esto ha cambiado en estos últimos años por el cambio climático que ha experimentado nuestro planeta, su temperatura media es de 25 °C y que coexiste con una humedad leve (MDC, 2007).

3.2. Componentes en estudio

Se estudiaron las tres lagunas de oxidación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la municipalidad de Cacatachi, Tarapoto.

Las lagunas en estudio tienen como dimensiones de 25 x 50 metros cuadrados, y de profundidad 1,50 metros, presentan vegetación arbórea de especies de *Guazuma crinita* (Bolaina) y vegetación herbácea *Piper sp*, (Matico) alrededor de las lagunas.

3.2. Parámetros evaluados

Cuadro 1. Parámetros físico-químico y microbiológicos aislados de las tres lagunas de oxidación de Cacatachi.

Ítem	Prueba diagnóstica	Abreviaturas
1	Numero de microorganismos aeróbicos viables	NMAV
2	Numero más probable de coliformes totales	NMP
3	Numeración de estafilococos	NStaph
4	Número de fungí (mohos y levaduras)	NML
5	Determinación de estreptococos	Strep
6	Investigación de Vibrio	Vi
7	Investigación de Salmonella	Sal
8	Investigación de Pseudomonas	Ps
9	Determinación del potencial de hidrógeno	pH
10	Concentración de oxígeno disuelto	OD
11	Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno	DBO
12	Determinación de temperatura	T°

3.4. Metodología

3.4.1. Muestreo

Las muestras se colectaron en tres lagunas de oxidación de las zonas de entrada del flujo a dos metros de distancia del afluente, en el centro y cercana a la salida a dos metros de distancia del efluente cada 30 días.

Se realizaron tres muestreos por duplicado en cada laguna de oxidación, en la zona de entrada por la mañana (6:30 a.m.), en la zona del centro, al mediodía (12:30 p.m.) y en la zona de salida en horas de la tarde (6:30 p.m.), se tomaron 400 mL de agua por muestra en envases estériles y las seis (6) muestras (2 de cada zona/hora muestreo) se conservó refrigeradas con solución de Timol al 0.5 % por un tiempo no mayor de dos días en los frascos herméticamente cerrados en cajas de tecknoport hasta que se las procesó en el laboratorio (APHA *et al.*, 1999).

3.4.2. Bioindicadores microbiológicos de calidad del agua

–Número más probable de coliformes fecales (NMP)

Se trabajó con caldo BRILA realizándose la técnica del Número Más Probable con serie de tres tubos.

Se distribuyó el medio en 45 tubos de ensayo de 20 x 160 mm, conteniendo en su interior un tubito de Durham, y se llevó a incubación por 24 horas, al término de las cuáles se realizó la lectura respectiva (APHA *et al.*, 1999).

- Enumeración de microorganismos aerobios viables totales (NMAV)

Se llevó a cabo sobre medio Plate Count previas diluciones decimales de las muestras, las cuáles se sembraron por profundidad y se llevaron a incubación por 24 a 48 horas, para la enumeración de los microorganismos mesófilos viables totales a temperatura de 35 °C (APHA *et al.*,1999).

-Investigación de la presencia de salmonelas

Se prepararon matraces para pre-enriquecimiento conteniendo 225 mL de Caldo Peptona al 2 %, sobre los cuáles se sembraron con 25 mL de la muestra de agua y se incubaron a 37 °C por 48 horas.

Los matraces de pre-enriquecimiento que resultaron positivos en desarrollo se llevaron a enriquecimiento, para lo cual se prepararon matraces con 50 mL de Caldo Tetrionato y matraces con 50 mL de Caldo Cistina-Selenito. Se les agregó a cada uno de los caldos anteriores 10 mL del caldo de pre-enriquecimiento y se los llevó a incubación por 24 a 48 horas a una temperatura de 44.5 °C.

Al término de la etapa de enriquecimiento se procedió a sembrar los matraces positivos sobre placas con medio *Salmonella-Shigella* (Agar SS) y

sobre placas con medio Agar Bilis Verde Brillante una alícuota con el anza de siembra de los medios de enriquecimiento, se llevaron a incubación a 37 °C por 24 horas para detectar desarrollo de *Salmonella sp.* (APHA *et al.*, 1999).

– **Investigación de la presencia *Vibrio cholerae***

Se utilizó placas conteniendo medio Agar TCBS, y se llevaron a incubación a 37 °C por 48 horas, al término de las cuales se detectaron las colonias compatibles con las características de la bacteria buscada.

– **Investigación de estafilococos patógenos**

Se sembraron muestras de agua previamente diluidas sobre placas con Agar Baird Parker e incubándoselas a 37 °C por 48 horas. Al término de la incubación se detectó la presencia de colonias de estafilococos.

– **Investigación de *Streptococcus faecalis* (enterococos)**

Se preparó Agar Sangre-Azida de Parker y se distribuyó en placas sobre las cuáles se sembraron la muestra de agua en estudio y se llevaron a incubación por 72 horas a 37 °C (APHA *et al.*, 1999).

- Enumeración de fungí (mohos y levaduras)

Se sembraron las muestras de agua, previa dilución decimal, sobre Medio Sabouraud Glucosa al 4 % llevándolas a incubación por una semana a temperatura ambiente, para la enumeración de fungí (APHA *et al.*, 1999).

3.4.3. Indicadores Fisicoquímicos de la calidad del agua

-Determinación de Ph

Se realizó la medición del pH *in situ* utilizando el potenciómetro pH-metro marca EXTECH.

- Oxígeno disuelto

La determinación del oxígeno disuelto, se realizó *in situ* con el método modificado de Winkler (Titulación).

- Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.

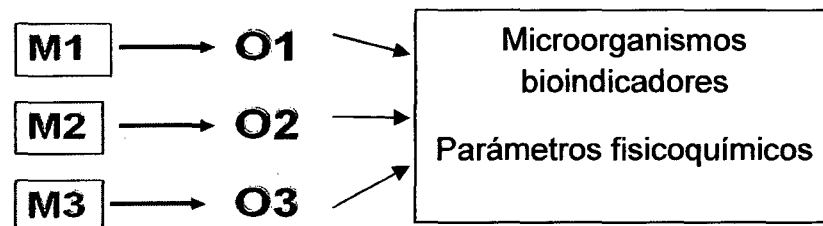
La demanda bioquímica de oxígeno se analizó con soluciones de tampón fosfato, fue determinado después de obtener los resultados del oxígeno disuelto.

- Determinación de la temperatura

La temperatura de las muestras fue registrada por un termómetro en grados centígrados.

3.5. Diseño experimental

Se aplicó un diseño descriptivo de casilla comparativa para verificar la variación de las poblaciones de bacterias indicadoras de la calidad del agua en las tres lagunas de oxidación del sistema de tratamiento de aguas residuales, siguiendo el modelo que se indica a continuación:



3.6. Análisis estadístico

Se usó el diseño completo al azar (DCA) con tres tratamientos y 6 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 18 unidades experimentales, En los valores que exista diferencia estadística se realizará la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

El análisis, consistió en comparar una misma variable en diferentes lugares o situaciones para ver si tienen el mismo o diferente comportamiento respecto a los parámetros a evaluar. Para evaluar la diferencia estadística entre las pozas de oxidación se empleó el análisis de varianza y la prueba de Duncan para los datos paramétricos y para datos no paramétricos se empleo la prueba binomial a un nivel de significancia de $p < 0.05$.

3.6.1. Tratamientos en estudio

Cuadro 2. Tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción	Numero de repeticiones
T1	Laguna oxidación inicial	6
T2	Laguna oxidación intermedia	6
T3	Laguna oxidación final	6

3.6.2. Modelo lineal

$$Y = \mu + \tau + \epsilon$$

$i = 1, 2, \dots, t$ t = número de tratamientos

$j = 1, 2, \dots, r_i$ r_i = número de repeticiones por tratamiento

(si $r_1 = r_2 = \dots = r_t$ entonces $r_i = r$)

3.6.3. Análisis de Varianza

Cuadro 3. Análisis de varianza de los parámetros evaluados

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Signif
Tratamientos	$t - 1$	ST- e	SCtrat/GLtrat	CMtrat/CMe	
Error	$t(r-1)$	SCT-SCtrat	SCerror/GLe		
TOTAL	$t.r-1$				

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios de los resultados de la enumeración de microorganismos bioindicadores, principalmente los aerobios viables (NMAV) y la determinación del número más probable de coliformes totales (NMP) tienden a disminuir en la tercera laguna del sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que nos indicaría que dicho sistema estaría funcionando adecuadamente en la depuración de la contaminación de las aguas (Cuadro 4 y Figura 1).

Existe significancia en el análisis de varianza de los tratamientos, para la numeración de cuatro bioindicadores (NMAV, NMP, NStaph y NML) y en las pruebas de significancia de promedios según Duncan para el primer bioindicador (NMAV), se observa que en el primero y segundo tratamiento tienen significancia de "a" y el tercero de "b" y en el segundo, tercero y cuarto bioindicadores (NMP, NStaph y NML) tienen significancias de "a", "b" y "c" para cada tratamiento (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedios de los bioindicadores e indicadores físico-químicos en las tres lagunas de oxidación.

LO	M	Numeración de Bioindicadores				Ind. Físico-químicos				Q
		NMAV	NMP	NStaph	NML	pH	OD	DBO	T	
1ª.	1	445 ±1.5	2.4 ±0.2	62 ±3.3	8 ±1.0	6.4	5	10	32	4.54
	2	448±5.5	2.4 ±0.1	58 ±5.6	8 ±2.4	6.4	5.5	10	32	4.56
	3	437±4.2	2.4 ±0.3	54 ±4.8	6 ±1.9	6.5	5.5	10	32	4.58
	4	436± 1.4	2.4 ±0.2	62 ±2.5	6 ±2.0	6.5	5.5	10	32	4.55
	5	424± 3.6	2.4 ±0.2	61 ±3.2	14 ±1.9	6.5	5.5	10	32	4.60
	6	382 ±4.4	2.4 ±0.2	63 ±2.8	12 ±1.7	6.5	5.5	10	32	4.59
	\bar{X} S.D.		428.7±3.8 a	2.4 ±0.2 A	60 ±3.7 A	9.0±1.8 a	6.5	5.4	10	32
2ª.	1	240 ±3.1	1.1 ±0.2	12 ±2.5	2 ±3.4	6.5	5.5	3	32	3.71
	2	238 ±2.2	1.1 ±0.2	18 ±2.2	3 ±3.2	6.5	5.5	3	32	3.92
	3	220 ±1.5	1.1 ±0.1	15 ±2.7	3 ±2.4	6.5	5.5	10	32	3.81
	4	222 ±3.2	1.1 ±0.3	14 ±2.3	3 ±2.0	6.5	5.5	10	32	3.63
	5	286 ±4.2	1.1 ±0.4	16 ±3.1	4 ±2.2	6.5	5.5	10	32	3.85
	6	220 ±3.2	1.1 ±0.2	18 ±3.0	4 ±1.9	6.5	5.5	10	32	3.74
	\bar{X} S.D.		237 ± 2.9 a	1.1 ±0.2 B	12 ±2.6 B	3.7±2.6 b	6.5	5.5	10	32
3ª.	1	96 ±3.1	0.2 ±0.1	2 ±2.0	1 ±0.9	6.5	5.5	3	25	3.62
	2	90 ±2.6	0.1 ±0.1	4 ±2.1	0 ±	6.5	5.5	3	25	3.34
	3	98 ±2.1	0.2 ± 0.2	1 ±2.7	1 ±0.7	6.5	5.5	3	25	3.53
	4	92 ±1.8	0.1 ±0.1	2 ±1.8	0 ±	6.5	5.5	3	25	3.28
	5	85 ±3.2	0.1 ±0.3	3 ±1.6	0 ±	6.5	5.5	3	25	3.46
	6	82 ±4.1	0.1 ±0.4	2 ±1.5	0 ±	6.5	5.5	3	25	3.57
	\bar{X} S.D. S.A.		90.5 ±2.8 b **	0.1 ±0.2 c **	2.3 ±1.9 c **	0.3±0.2 c **	6.5	5.5	3	25

LO: Lagunas de oxidación (tratamientos). M: Muestreo mensual. NMAV: Numeración de microorganismos aerobios viables (10^3 /ml). NMP: Numero más probable de coliformes totales (10^3 /ml). NStaph: Numeración de staphylococcus (10^3 /ml). NML: Numeración de mohos y levaduras (10^3 /ml). pH: Potencial de hidrogeno. OD: Oxígeno disuelto (ppm). DBO: Demando Bioquímica de Oxígeno (mg/ml). T: Temperatura (C°). Q: caudal de entrada. S.D : Significancia de pruebas según DUNCAN (p < 0,05). S.A : Significancia del Análisis de Variancia (p < 0,05)

Los microorganismos indicadores en el agua pertenecen a tres grupos microbianos: bacterias heterotróficas o aerobias mesófilas viables (MAV), coliformes totales y coliformes fecales (NMP). Según estos indicadores las bacterias heterotróficas no son parte de una contaminación ambiental al agua, más bien son indicadores de la descontaminación (ALLEN, 1996).

Asimismo, afirmamos que la importancia para que los parámetros de calidad del agua deban ser evaluados en las descargas de aguas residuales es que guardan relación con los contaminantes potenciales que pueden estar presentes en las aguas por lo que los parámetros que se han estudiado deben estar incluidos, como mínimo, en cualquier programa de monitoreo de depuración de aguas residuales, en donde deberá involucrar la DBO y los coliformes totales (NMP).

Debemos considerar que también las aguas dentro de un sistema de tratamiento de depuración han de ser sistemáticamente analizadas y controladas debido a la valoración de su posible incidencia negativa sobre el ecosistema y la necesidad ulterior de su depuración antes de su descarga al ambiente.

Otro aspecto que justifica la necesidad del control sistemático del agua son los procesos de potabilización y/o depuración de agua. La única forma razonable, coherente y lógica de cerciorarse que el explotador de una

ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) o EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) asegure que el rendimiento del proceso aplicado es o no el esperado, es decir que deben o no acometerse modificaciones en las diferentes fases del tratamiento industrial de un agua, es la comprobación vía laboratorio o vía instrumentación de planta en continuo, de algunas características claves de calidad del agua en fase de tratamiento.

El buen funcionamiento de un sistema de aguas puede definirse por la presencia o ausencia de determinados tipos de organismos que intervienen entre ellos las bacterias indicadoras y la presencia de factores abióticos influyentes en el desarrollo de las mismas, al respecto nuestros resultados referentes a la enumeración de bioindicadores bacterianos, nos permiten suponer que el sistema de tratamiento de las aguas residuales conformada por las tres lagunas de oxidación muestran una secuencia de disminución de carga de biomasa consistente con los tratamientos de depuración que se verifican los procesos físicos-químicos, biológicos y químicos, como remoción de sólidos, remoción de arena, precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes, separación y filtración de sólidos (tratamiento primario), reducir el contenido en materia orgánica, reducir su contenido en nutrientes y eliminar los patógenos y parásitos (tratamiento secundario).

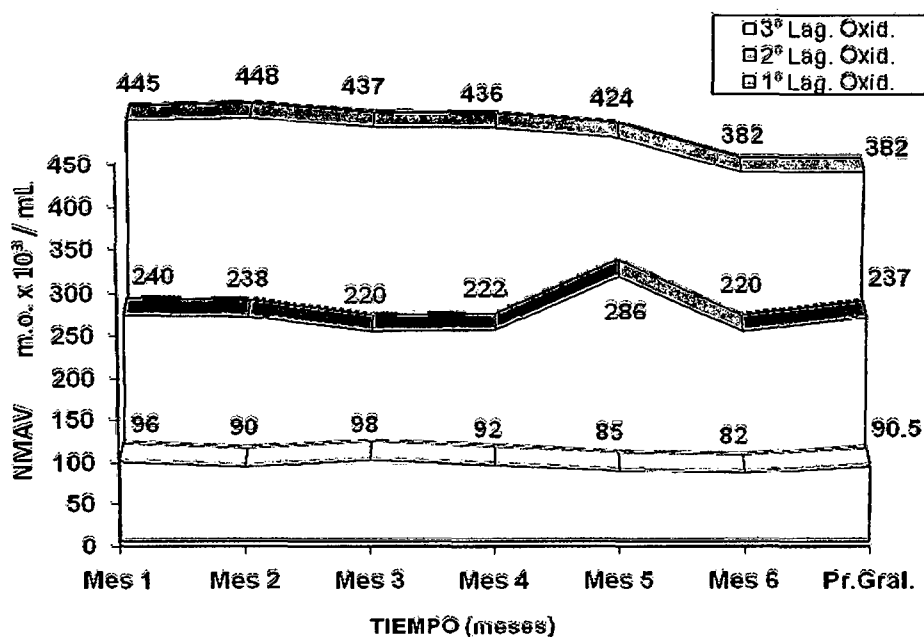


Figura 1. Datos promedios de los muestreos y promedio general de la enumeración de microorganismos aerobios viables (NMAV) de las tres lagunas de oxidación

En la determinación del Numero Más Probables (NMP) de coliformes totales, se observa que en todas las repeticiones de la primera laguna de oxidación no existe una variación significativa ($2.4 \times 10^3/\text{mL}$), al igual que en la segunda laguna de oxidación se observa la misma cifra que en todas las repeticiones ($1.1 \times 10^3/\text{mL}$) y en la tercera laguna de oxidación existe ligera heterogeneidad en la primera y tercera repeticiones con respecto a las demás (Cuadro 4 y Figura 2).

De los promedios del número más probable de coliformes las tres lagunas de oxidación existe disminución de valores empezando desde $2.4 \times 10^3/\text{mL}$, $1.1 \times 10^3/\text{mL}$ y $0.1 \times 10^3/\text{mL}$ respectivamente (Figura 2).

En este sentido, con referencia a la presencia de organismos indicadores de contaminación biológica, coincidimos con ALLEN (1996) que señala que las bacterias fecales indicadoras se usan para evaluar la calidad del agua debido a que normalmente no causan enfermedad pero están correlacionadas con la presencia de varios organismos que transmiten enfermedades a través del agua (patógenos).

De acuerdo ALLEN (1996), los coliformes totales abarca los géneros: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*, estas bacterias no necesariamente están asociados con la contaminación fecal y no plantean ni representan un riesgo necesariamente para la salud biológica pero pueden indicar la presencia de algunos patógenos de riesgo.

Los resultados encontrados que determinan la cuantificación los coliformes totales indican que la cantidad de coliformes disminuyen considerablemente a medida que pasan de la primera a la tercera laguna sugiriéndose que la contaminación de las aguas receptoras es sumamente alta y baja a límites cercanos a los permisibles en la tercera.

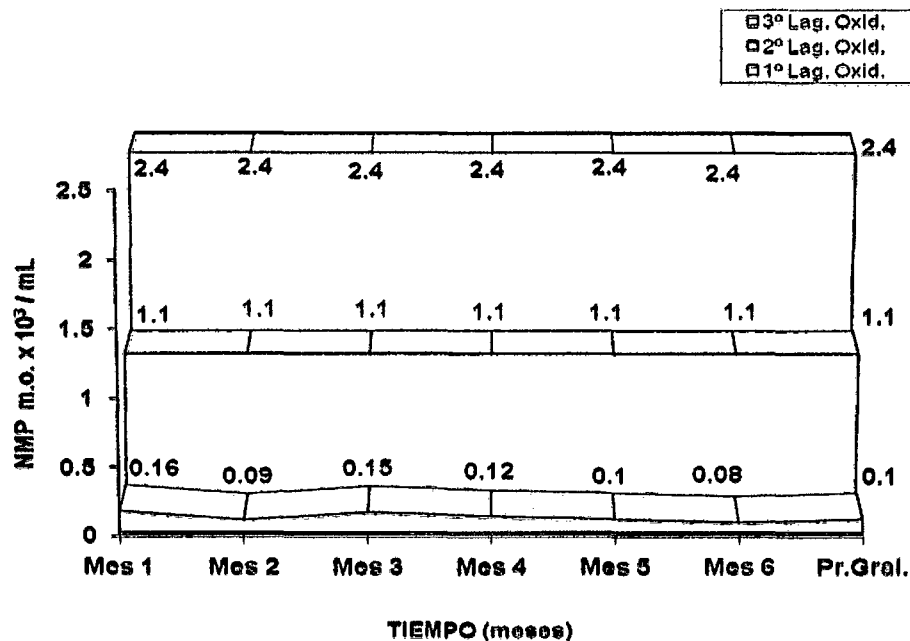


Figura 2. Datos promedios de los muestreos y promedio general del Número Más Probable (NMP) de las bacterias coliformes totales en las tres lagunas de oxidación.

Los resultados de la numeración de estafilococos (NStaph), en ese sentido se observa que en la primera laguna de oxidación se presentó un descenso de la primera hasta la tercera repetición de $62 \times 10^3/\text{ml}$, $58 \times 10^3/\text{ml}$, $54 \times 10^3/\text{ml}$ respectivamente y un incremento en la cuarta y sexta ($63 \times 10^3/\text{ml}$); en la segunda y tercera laguna de oxidación se observa que las repeticiones son heterogéneas puesto que ascienden y descienden en número en cada una de ellas (Figura 3).

Refiriéndonos a los promedios de estafilococos, en las tres lagunas de oxidación, se puede observar fehacientemente que existe una disminución de valores empezando desde la primero de $60 \times 10^3/\text{ml}$, $12 \times 10^3/\text{ml}$ y $2.3 \times 10^3/\text{ml}$ respectivamente, por lo que suponemos que estos indicadores de contaminación, de origen fundamentalmente humano y como riesgo para la salud, disminuyen drásticamente en un tratamiento de depuración de aguas residuales en buen estado de funcionamiento desde el punto de vista biológico.

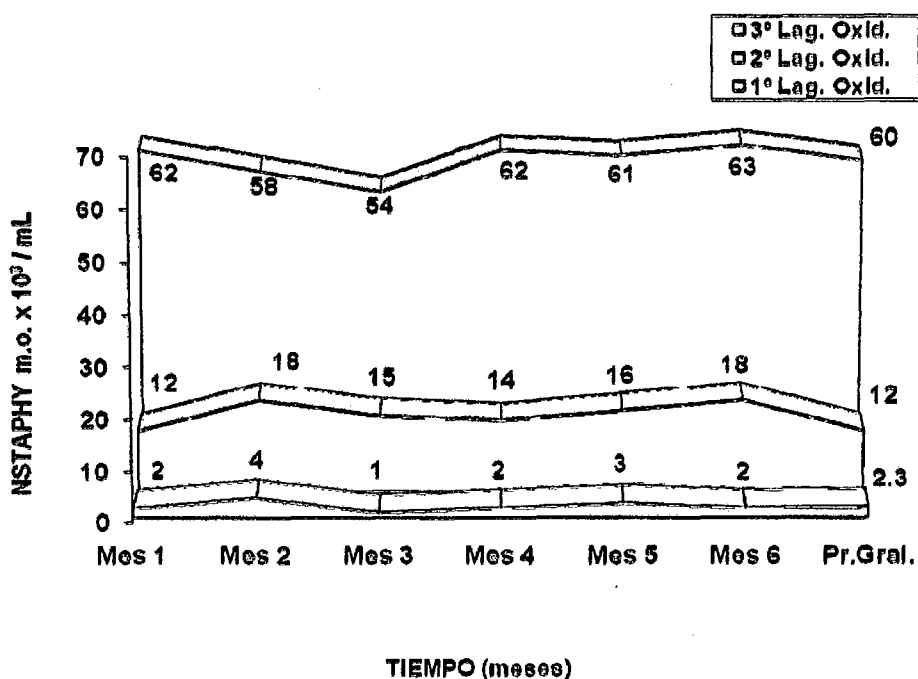


Figura 3. Datos promedios de los muestreos y promedio general de la numeración de *Staphylococcus sp.* en las tres lagunas de oxidación.

En la enumeración de mohos y levaduras (NML), se observa que en las tres lagunas de oxidación existe una variación entre repeticiones. Los promedios de las tres lagunas de oxidación señalan que existe disminución de valores empezando desde el primero de $9.0 \times 10^3/\text{mL}$, $3.7 \times 10^3/\text{mL}$ y $0.3 \times 10^3/\text{mL}$ respectivamente (Figura 4).

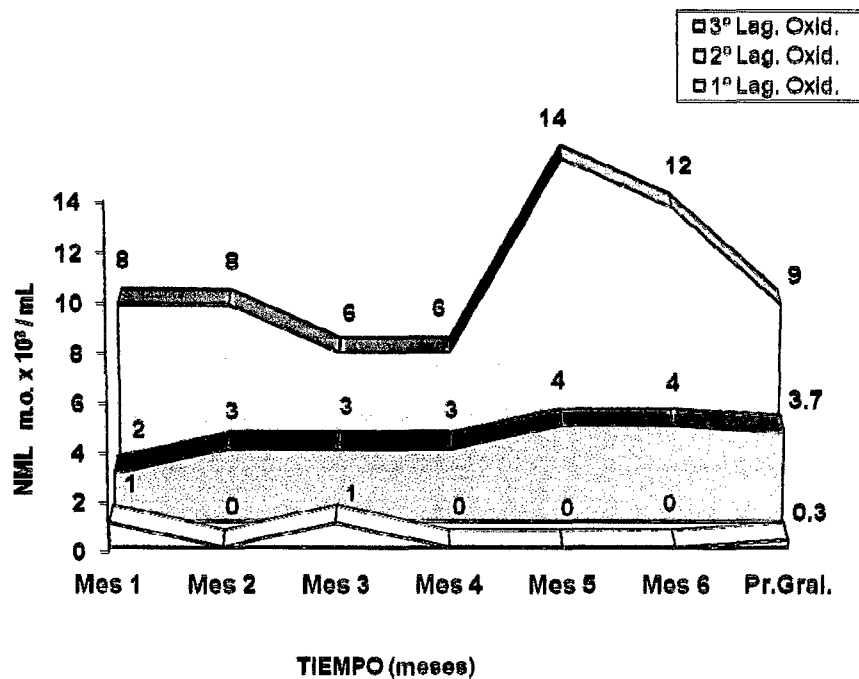


Figura 4. Datos promedios de los muestreos y promedio general de la numeración mohos y levaduras (NML) en las tres lagunas de oxidación

Los resultados de las pruebas de determinación de presencia o ausencia de los indicadores *Streptococcus* e investigación de patógenos *Salmonella*, *Pseudomonas* y *Vibrio*, señalan su desviación estándar para cada promedio, el ANVA y las pruebas de comparación de promedios según Duncan ($p < 0.05$). Se indica que existe significancia similar entre los cuatro grupos microbianos determinados (*Streptococcus*, *Vibrio*, *Salmonella* y *Pseudomonas*) de la primera laguna de oxidación. En la segunda laguna oxidación entre los microorganismo *Streptococcus* y *Vibrión* existe una significancia similar y difiere con los microorganismo *Salmonella*, *Pseudomona*, mientras que en la tercera laguna de oxidación las significancias son heterogéneas para las cuatro microorganismos (Cuadro 5).

Los *Streptococcus* son bacterias esféricas grampositivas, dentro de ellos está el subgrupo Enterococos con especies como *S. faecalis*, *S. faecium* que crecen en medios de pH de 9.6 y T° de un rango de 10 °C – 45 °C. HERBAS *et al.* (2006) manifiestan que estos son indicadores de contaminación fecal. Con respecto a la presencia de *Salmonella* en todas las muestras de agua, nos sugiere la presencia de material fecal provenientes de los residuos domiciliarios.

Cuadro 5. Determinación de presencia o ausencia de estreptococos, *vibrio*, *salmonella* y *pseudomonas* en tres lagunas de oxidación

LO	M	Bioindicadores cualitativos				Ind.Físico-Químicos			
		Streptoc.	Vibr.	Salmo.	Pseudo.	pH	OD	DBO	T
1	1	P	P	P	P	6.4	5	10	32.4
	2	P	P	P	P	6.4	5.5	10	32.4
	3	P	P	P	P	6.5	5.5	10	32.4
	4	P	P	P	P	6.5	5.5	10	32.4
	5	P	P	P	P	6.5	5.5	10	32.4
	6	P	P	P	P	6.5	5.5	10	32.4
	%P	100	100	100	100	Promedios			
	%A	0	0	0	0	6.5	5.4	10	32.4
	S.E.	3.1	3.1	3.1	3.1				
2	1	P	P	A	P	6.5	5.5	3	32.2
	2	P	P	P	P	6.5	5.5	3	32.2
	3	P	P	A	A	6.5	5.5	10	32.2
	4	P	P	A	P	6.5	5.5	10	32.2
	5	P	P	P	A	6.5	5.5	10	32.2
	6	P	P	P	A	6.5	5.5	10	32.2
	%P	100	100	50	50	Promedios			
	%A	0	0	50	50	6.5	5.5	7.7	32.2
	S.E.	3.1	3.1	100	100				
3	1	A	P	A	A	6.5	5.5	3	25
	2	A	A	A	A	6.5	5.5	3	25
	3	A	A	A	A	6.5	5.5	3	25
	4	P	A	A	A	6.5	5.5	3	25
	5	A	A	A	A	6.5	5.5	3	25
	6	A	A	A	A	6.5	5.5	3	25
	%P	16,7	16,7	0	0	Promedios			
	%A	83.3	83.3	100	100	6.5	5.5	3	25
	S.E.	21.9	21.9	3.1	3.1				

Streptoc: Streptococcus. **Vibr:** Vibrión Choleroicol. **Salmo:** Salmonella. **Pseudo:** Pseudomona. **LO:** Lagunas oxidación (tratamientos). **R:** Repeticiones. **pH:** Potencial de hidrogeno. **OD:** Oxígeno disuelto (ppm). **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/ml). **T:** Temperatura (C°). **P:** Presente. **A:** Ausente. **%P:** Porcentaje de presencia. **%A:** Porcentaje de ausencia. **S.E:** Significancia exacta (bilateral).

En la primera y segunda laguna de oxidación, existe un dominio de 100 % de presencia de estreptococos, en cada uno de las repeticiones; y en la tercera laguna de oxidación sólo hay presencia en la cuarta repetición. En porcentajes totales de los estreptococos de cada laguna, en la primera y segunda hay un 100 % de presencia y en la tercera de 16.7 % (Figura 5). HERBAS *et al.* (2006) manifiestan que los estreptococos son indicadores de contaminación fecal, existe un subgrupo de Enterococos de especies como *S. faecalis*, *S. faecium* que crecen en medios de pH de 9.6 y T° de un rango de 10 – 45 °C. OMS (1985) manifiesta que los estreptococos fecales rara vez se multiplican en agua contaminada y son más persistentes que la *E. coli* y las bacterias coliformes.

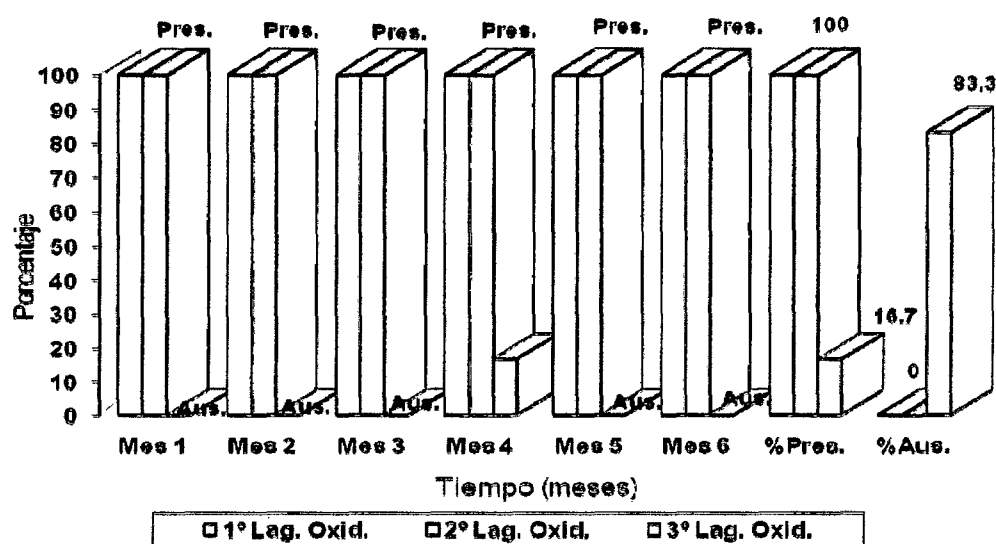


Figura 5. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de *Streptococcus faecalis* en las tres lagunas de oxidación.

En las lagunas de oxidación de la primera y segunda hay un dominio de 100 % de presencia de *Vibrio cholerae* en cada uno de las repeticiones y en la tercera laguna de oxidación solo hay Presencia en la primera repetición. En porcentajes totales de cada laguna, en la primera y segunda hay un 100 % de presencia y en la tercera de 83.3 % de ausencia de *Vibrio cholerae* (Figura 6).

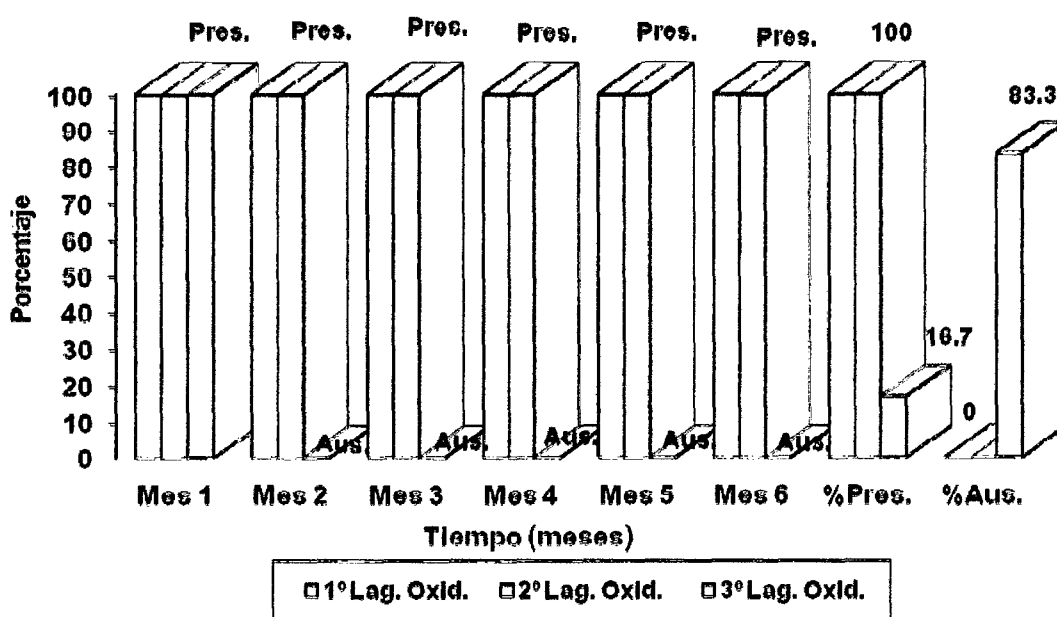


Figura 6. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de *Vibrio cholerae* en las tres lagunas de oxidación.

En la investigación de *Salmonella*, hay presencia en todas las repeticiones de la primera laguna de oxidación, mientras que en la segunda laguna oxidación solo están presentes en la quinta y sexta repetición; en la tercera laguna es *Ausente* en todas las repeticiones. En porcentajes totales de

presencia de cada laguna, en la primera hay presencia de 100 %, en la segunda de 50% y en la tercera ausencia de 100 % (Figura 7).

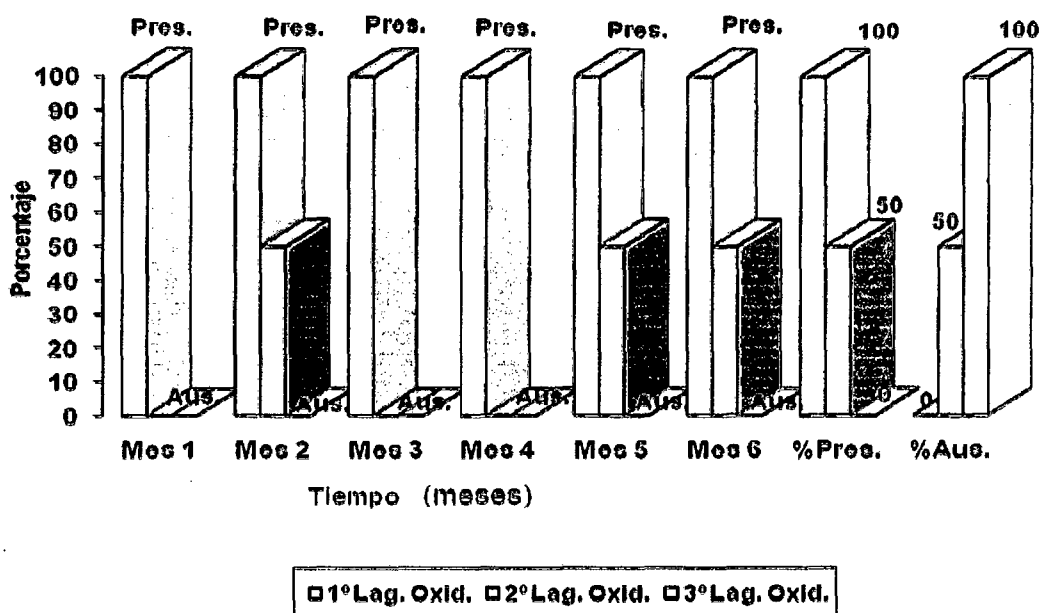


Figura 7. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de *Salmonella* en las tres lagunas de oxidación.

En cuanto a la *Salmonella* y el *Vibrio*, RHEINHEIMER (1987) manifiesta que son de bacterias intestinales patógenas, como *Salmonella typhi* y *S. paratyphi*, que producen enfermedades tíficas, y en los países tropicales es frecuente el cólera (*Vibrio cholerae*) con carácter epidémico. SEOANEZ (1999) manifiesta una relación directa entre las densidades de salmonellas y coliformes en agua de riego en más del 50%.

Existe presencia de *Pseudomonas sp.* en todas las muestras procesadas mensualmente de la primera laguna de oxidación, mientras que en la segunda laguna de oxidación hay presencia solo en la primera, segunda y cuarta repetición, de la tercera laguna es ausencia en todos los meses.

Considerando los porcentajes totales de cada laguna, en la primera hay presencia de 100 %, en la segunda de 50% y en la tercera una ausencia de 100 % (Figura 8). SEOANEZ (1999) manifiesta que las *Pseudomonas sp.* son indicadores de mala manipulación o almacenaje, al igual que el grupo de estreptococos fecales y que la *Pseudomonas aeruginosa* es capaz de sobrevivir y multiplicarse en agua tratada que además tienen la capacidad de inhibir el desarrollo de coliformes al producir la piocianina un pigmento bacteriostático.

Las *Pseudomonas sp.* no siempre son indicadores de contaminación del agua, SEOANEZ (1999) manifiesta que estos tienen la capacidad de inhibir coliformes que son indicadores de contaminación del agua más usados en el mundo.

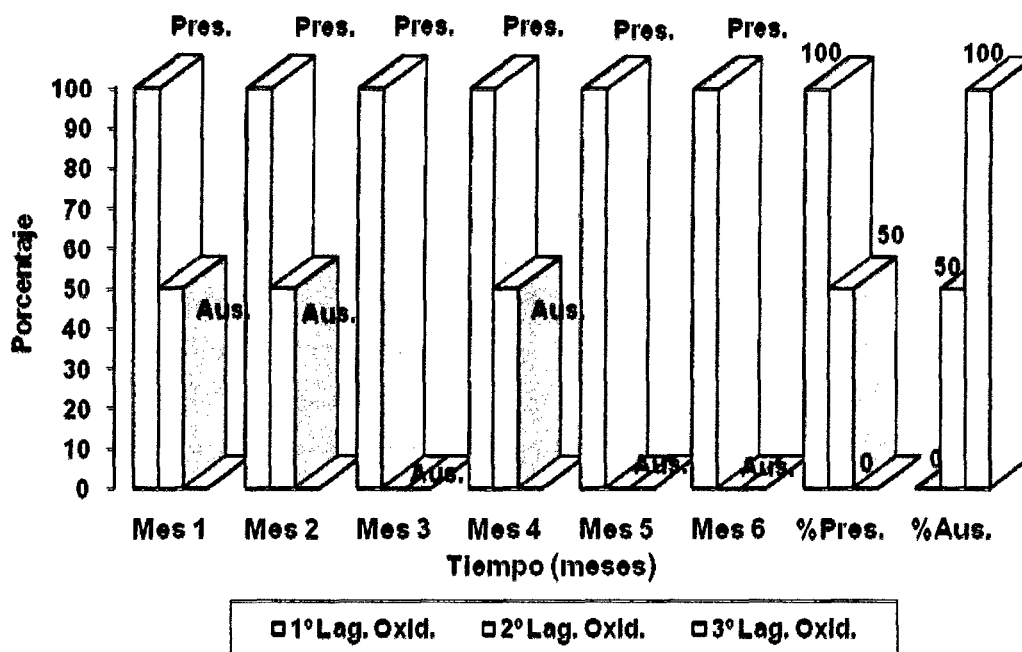


Figura 8. Promedios de los porcentajes mensuales y promedio general de la presencia (Pres) o ausencia (Aus) de *Pseudomonas* en las tres lagunas de oxidación.

Los resultados de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos (Cuadro 6), se observa que la cantidad de oxígeno disuelto en las tres lagunas es prácticamente similar, no obstante la demanda bioquímica de oxígeno descendió en la segunda y tercera, lo que nos indicaría que aún las aguas de la tercera laguna sigue con escasa relación de purificación, puesto que el OD debería ser más alto (> de 10 mg/L). Es bien conocido que el deterioro de la calidad de agua es determinada con tan solo advertir que uno de los indicadores de calidad sin importar su naturaleza (físico – química o biológica) se encuentren fuera de los límites aceptables.

El pH 6.5 indicaría que las aguas residuales en el tratamiento depurativo son neutras debido a la presencia del CO₂ libre resultante de las degradaciones metabólicas iniciales de los microorganismos de aguas residuales y poca producción de metabolitos secundarios.

Asimismo se encontró una ligera variación de 5.0 a 6.5. mg/L, señalando que la oxigenación de las lagunas está dentro de lo aceptable para permitir el desarrollo de organismos y por supuesto de microorganismos bacterianos que promuevan la depuración de las aguas residuales descargadas en la primera laguna.

Relacionando nuestros resultados del DBO, se puede apreciar que a partir del segundo hasta el sexto mes, se incrementó la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por los microorganismos presentes, y considerando que la DBO está en función de las características del material presente, las cifras encontradas en las lagunas (10 mg/L) están dentro de los límites que permiten la actividad depurativa por medios de lagunas de oxidación y la recuperación de las aguas que se consideran podrían estar dentro del tipo A2 a B1 según la Ley de Recursos Hídricos (2010) y los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.

La oxidación metabólica de material orgánico por parte de los microorganismos incrementa normalmente la temperatura por lo que nuestros resultados en las dos primeras lagunas (32 °C) están dentro de los rangos esperados así como la temperatura en la tercera laguna (25 °C) supuestamente con el agua residual ya depurada en su mayor porcentaje baja a temperatura cercanas a la del ambiente que la rodea.

Cuadro 6. Datos de los promedios mensuales y promedio general de los parámetros físicos-químicos determinados en las tres lagunas de oxidación.

	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Promedio General			
	pH	OD	DBO	T	pH	OD	DBO	T	pH	OD	DBO	T	pH	OD	DBO	T	pH	OD	DBO	T	pH	OD	DBO	T	pH	OD	DBO	T
T1	6.4	5	10	32	6.4	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.4	10	32
T2	6.5	5.5	3	32	6.5	5.5	3	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32	6.5	5.5	10	32
T3	6.5	5.5	3	25	6.5	5.5	3	25	6.5	5.5	3	25	6.5	5.5	3	25	6.5	5.5	3	25	6.5	5.5	3	25	6.5	5.5	3	25

pH= determinación de pH

OD=oxígeno disuelto

DBO=demanda bioquímica de oxígeno

T=determinación de la temperatura

V. CONCLUSIONES

1. En la última etapa del tratamiento de aguas los indicadores bacterianos bajaron su concentración, mesófilas aerobios viables $90.5 \times 10^3/\text{mL}$, coliformes totales $0.1 \times 10^3/\text{mL}$ y estafilococos $2.3 \times 10^3/\text{mL}$.

2. Para indicadores fungi (mohos y levaduras) el promedio para la primera laguna fue de $9.0 \times 10^3/\text{mL}$, la segunda de $3.7 \times 10^3/\text{mL}$ y la tercera de $0.3 \times 10^3/\text{mL}$.

3. Los *Streptococcus* y el *Vibrio cholerae*, presentaron un porcentaje de 100 % de presencia para la primera y segunda de laguna, para la tercera laguna el *Streptococcus* y *Vibrio* se presentaron en un 16.7 %.

4. La presencia de *Salmonellas* y *Pseudomonas* en la primera laguna ostentaron un 100 % de presencia, en la segunda laguna 50 % y la tercera laguna de 0% de presencia.

5. El nivel de depuración del agua residual tratada es mayor en la tercera laguna persistiendo bioindicadores que denotan que la depuración del agua aún no es la apropiada para su reutilización.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios comparativos en diferentes tipos de aguas sobre sucesiones microbianas y determinación de bioindicadores para la estimación de la calidad de aguas.

2. Realizar estudios que determinen la evaluación de la depuración de aguas residuales para su utilización con otros fines que no sea el consumo directo.

VII. ABSTRACT

In a system of wastewater treatment the presence and concentration of bacterial groups are related to operation conditions or otherwise need to review the design or structure. Therefore determined the status of water purification of the three oxidation lagoons municipal wastewater Cacatachi district, San Martín, applying the methodology of quantification of bacterial and fungal biomarkers and detection of pathogenic microorganisms (*Salmonella*, *Vibrio*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*).

We found that indicators total coliforms ($0.1 \times 10^3/\text{mL}$) in the third lagoon decreased substantially from the first two, the same with viable mesophilic microorganisms ($90.5 \times 10^3/\text{mL}$) and *Staphylococcus* ($2.3 \times 10^3/\text{mL}$). Fungi were quantified as falling in the third lake ($0.3 \times 10^3/\text{mL}$). With regard to the presence of pathogens in the first and second lagoons there are 100 % *Streptococcus* and *Vibrio*, and 16.7 % in the third. *Salmonella* and *Pseudomonas* also with 100 % of presence in the first lagoon, 50 % in the second and 0 % in the third.

Physical-chemical indicators showed changes consistent with the pollution in the first two lagoons and the third was verified a significant overall reduction in BOD. The conditions of treatment in the third gap are not yet optimal for water use directly.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, M. 1996. La importancia para la salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable. Reunión sobre la calidad del agua potable. CEPIS. OPS. OMS. Lima, Perú.

APHA, WEF, AWWA. 1999. Standard methods for the examination of Water and wastewater. 20th Edition. American Public Health Association. Washington DC.

CASTANY.1975. Prospección y Explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 280 p.

CUSTODIO, E. 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 1066 p.

GONZÁLEZ, M. I., GUTIÉRREZ, J. 2005., Metodo Gráfico Para La Evaluación De La Calidad Microbiológica De Las Aguas Recreativas, Centro Habana, CIP 10300, Cuba.

HERBAS R., RIVERO, F., GONZALES, A. 2006. Indicadores biológicos de calidad del agua. Universidad Mayor de San Simón - Bolivia. [En línea]: Fcyt, (www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/documentos/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf, 15 Dic. 2009).

LEY DE RECURSOS HÍDRICOS 2010. Ley n° 29338 Ley de R. H., aprobado el 1de Enero 2010 y publicado 31/03/2010, Gob. Perú.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CACATACHI (MDC). 2007. Propuesta para la creación de área de conservación municipal "Chorrobamba" distrito de Cacatachi, Provincia y Región San Martín. Expediente técnico justificatorio.

OMS. 1985. Guías OMS para la calidad de agua de bebida. Volumen 1. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Publicación científica N° 481.

PINILLA, G. 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Centro de investigaciones científicas. Fundación Universitaria de Bogota, Jorge Tadeo Lozano 67 p.

- RHEINHEIMER G. 1987. Microbiología de las aguas. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España. 210 p.
- ROMERO, J. A. 1998. Calidad de Aguas. Editorial, NOMOS S.A. Madrid, España. 410p.
- SALAZAR, I; BLANCO, H. 2005. Indicadores bacterianos no habituales de la calidad de agua en piscinas. Forjando el Ambiente que Compartimos. San Juan, AIDIS, Ago. 2004. p.1-7. Caracas, Venezuela.
- SEOANEZ, M. 1999. Aguas residuales. Ediciones Mundi – Prensa. Barcelona 420 p.
- VÁZQUEZ G., CATRO, G., GONZALES, I., PEREZ, R., CASTRO, T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua, Dpto. El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma de México. Rev. Contactos 60: 40-48.
- VILASECA, M. 2001. Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. Trabajo de divulgación, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Boletín Intexter (U.P.C.) N° 119: 67-72.

WASHINGTON, H. G. 1984. Diversity biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*.18 (6), 694.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Datos de bioindicadores en las Lagunas de oxidación

Cuadro 7. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NMAV ($10^3/\text{mL}$) en la primera laguna

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	450	452	448	451	428	385
12:30 p.m	447	449	445	446	425	381
6:30 p.m	438	443	418	411	419	380
Promedio	445	448	437	436	424	382

Cuadro 8. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NMP ($10^3/\text{mL}$) en la primera laguna

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	2.7	3.1	2.9	2.8	2.6	3
12:30 p.m	2.4	2.1	2.3	2.5	2.4	2.3
6:30 p.m	2.1	2	2	1.9	2.2	1.9
Promedio	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

Cuadro 9. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NSTAPHY ($10^3/\text{mL}$) en la primera laguna

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	64	60	57	65	63	67
12:30 p.m	62	59	54	60	61	62
6:30 p.m	60	55	51	61	59	60
Promedio	62	58	54	62	61	63

**Cuadro 10. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NML
(10³/mL) en la primera laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	10	11	8	9	19	14
12:30 p.m	8	9	6	6	12	13
6:30 p.m	6	4	4	3	13	9
Promedio	8	8	6	6	14	12

**Cuadro 11. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NMAV
(10³/mL) en la segunda laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	242	241	223	225	289	223
12:30 p.m	240	239	221	223	287	220
6:30 p.m	238	234	216	218	282	217
Promedio	240	238	220	222	286	220

**Cuadro 12. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NMP
(10³/mL) en la segunda laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	1.3	1.5	1.6	1.2	1.3	1.7
12:30 p.m	1.1	1.3	1	1.1	1.2	1
6:30 p.m	0.9	0.5	0.7	1	0.8	0.6
Promedio	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

**Cuadro 13. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NSTAPHY
(10³/mL) en la segunda laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	14	20	19	18	17	21
12:30 p.m	13	18	14	15	16	19
6:30 p.m	9	16	12	9	15	14
Promedio	12	18	15	14	16	18

**Cuadro 14. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NML
(10³/mL) en la segunda laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	2.2	3.1	3.4	3.5	4.5	4.3
12:30 p.m	2	3	3.1	3.2	3.8	4.1
6:30 p.m	1.8	2.9	2.5	2.3	3.7	3.6
Promedio	2	3	3	3	4	4

**Cuadro 15. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NMAV
(10³/mL) en la tercera laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6 :30 a.m.	98	93	101	94	88	86
12:30 p.m	96	91	97	92	86	83
6:30 p.m	94	86	96	90	81	77
Promedio	96	90	98	92	85	82

**Cuadro 16. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NMP
(10³/mL) en la tercera laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6:30 a.m.	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1
12:30 p.m	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6:30 p.m	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Promedio	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1

**Cuadro 17. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NSTAPHY
(10³/mL) en la tercera laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6:30 a.m.	4	7	2	3	4	4
12:30 p.m	1	3	0.75	2	3	1
6:30 p.m	1	2	0.25	1	2	1
Promedio	2	4	1	2	3	2

**Cuadro 18. Datos mensuales de la enumeración de bioindicadores NML
(10³/mL) en la tercera laguna**

Horario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
6:30 a.m.	1.5	0	2	0	0	0
12:30 p.m	1	0	0.75	0	0	0
6:30 p.m	0.5	0	0.25	0	0	0
Promedio	1	0	1	0	0	0

ANEXO 2. Panel de Imágenes

Figura 9. Laguna de oxidación N° 2

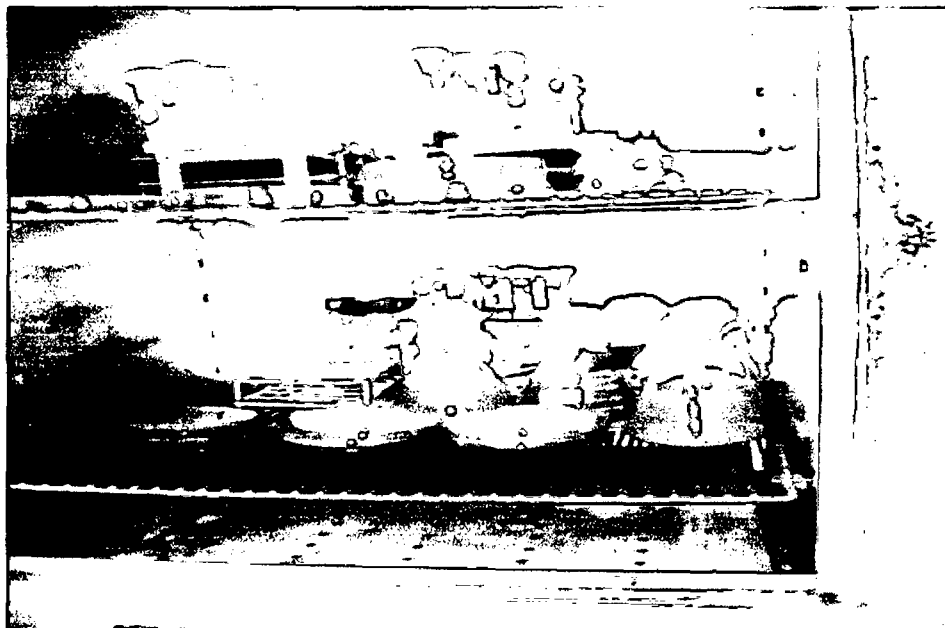


Figura 10. Medios de cultivo de las muestras de aguas de la laguna de oxidación en la incubadora

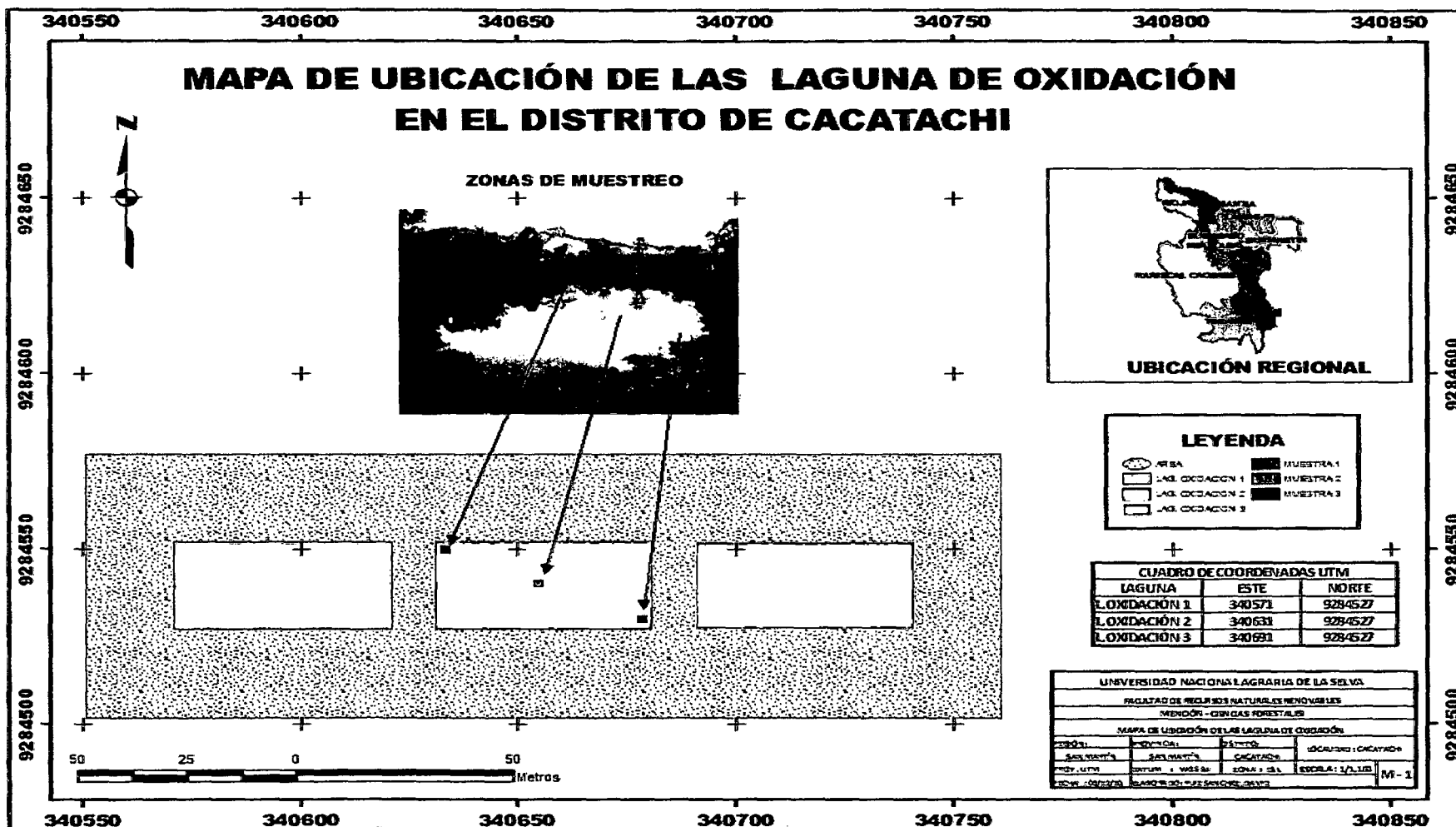


Figura 11. Mapa de ubicación del trabajo de investigación