



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUÍZ GALLO”**

**ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS**



**“EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL DISTRITO EL
PARCO, BAGUA, AMAZONAS, ABRIL – OCTUBRE 2013”**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS, CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

AUTOR:

BACH. JULIO CÉSAR MONTENEGRO JUÁREZ

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016

**“EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DEL DISTRITO EL PARCO, BAGUA, AMAZONAS, ABRIL – OCTUBRE
2013”**

Julio César Montenegro Juárez

AUTOR

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán

ASESORA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

APROBADO POR:

Dra. Graciela Albino Cornejo
PRESIDENTA

Dr. Manuel Millones Chuman
SECRETARIO

M.Sc. María Victoria Lora Vargas
VOCAL

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016

CONTENIDO

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Antecedentes bibliográficos.....	3
1.2 Base teórica.....	6
1.2.1 Tipos de lagunas.....	8
1.2.2 Normatividad vigente.....	9
1.3 Definiciones conceptuales.....	13
CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	
2.1 Diseño metodológico.....	15
2.2 Población y muestra.....	15
2.3 Técnica de recolección de datos.....	15
2.3.1 Localización del área de estudio.....	15
2.3.2 Muestreo y análisis de laboratorio.....	17
2.3.2.1 Determinación del pH y temperatura.....	17
2.3.2.2 Demanda química de oxígeno, DQO.....	17
2.3.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	18
2.3.2.4 Sólidos totales en suspensión.....	20
2.3.2.5 Aceites y grasas.....	21
2.3.2.6 Coliformes totales y fecales.....	22
2.3.2.7 Cálculo de la eficiencia.....	22
2.3.2.8 Comparación de valores de los parámetros investigados con los máximos Permisibles establecidos.....	24
2.4 Análisis de datos.....	24
CAPÍTULO III. RESULTADOS	
3.1 Condiciones de la operación y mantenimiento de la PTAR de El Parco.....	25
3.2 Valores de los parámetros investigados.....	30
3.3 Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito El Parco.....	39
3.4 Comparación de valores de parámetros investigados con los máximos permisibles establecidos.....	39
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN.....	41
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	43
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.....	44
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.....	12
Tabla 2. Coordenadas de puntos de muestreo de PTAR del distrito El Parco, en Amazonas, 2013.....	17
Tabla 3. Características consideradas para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Parco en 1995.....	25
Tabla 4. Características de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales el distrito El Parco.....	26
Tabla 5. Valores del pH del afluente y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	31
Tabla 6. Valores de la temperatura del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	32
Tabla 7. Valores de la DQO del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	33
Tabla 8. Valores de la DBO ₅ del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	34
Tabla 9. Valores de los sólidos totales en suspensión del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	36
Tabla 10. Valores de aceites y grasas del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	37
Tabla 11. Valores de coliformes totales del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	38
Tabla 12. Valores de coliformes fecales del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	38
Tabla 13. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	40
Tabla 14. Parámetros evaluados en la PTAR del distrito El Parco comparados con los límites máximos permisibles.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de lagunas en serie.....	7
Figura 2. Sistema de lagunas en paralelo.....	8
Figura 3. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales y localización de puntos de muestreo.....	16
Figura 4. Incubación de tubos con caldo bilis verde brillante a 37°C.....	23
Figura 5. Incubación de tubos con caldo EC a 44,5 °C.....	23
Figura 6. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito el parco en total abandono.....	26
Figura 7. Compuerta de la laguna de oxidación del distrito El Parco en mal estado	26
Figura 8. Línea de conducción domiciliaria deteriorada.	27
Figura 9. Filtración de aguas residuales hacia el canal de regadío.....	27
Figura 10. Cámara de rejillas en mal estado.....	28
Figura 11. Cultivo de <i>Oryza sativa</i> L. donde es vertido el efluente de la laguna de oxidación.....	28
Figura 12. Variación del pH del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	31
Figura 13. Variación de la temperatura del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito El Parco, 2013.....	32
Figura 14. Variación de la DQO del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	33
Figura 15. Variación de la DBO ₅ del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	34
Figura 16. Variación de los sólidos totales en suspensión del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.....	36
Figura 17. Variación de aceites y grasas del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco 2013....	37

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, PTAR del distrito El Parco, Bagua, Amazonas durante abril – octubre, 2013. Se colectaron muestras semanales durante 3 meses en dos puntos de muestreo: afluente y efluente, determinándose el pH, temperatura, demanda química de oxígeno, DQO, demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, coliformes totales y fecales y se calculó la eficiencia de la PTAR según el DS N° 003-2010-MINAM. Los valores promedios de los parámetros investigados en el afluente y efluente respectivamente fueron de 7,617 – 7,487 (pH); 27,5 – 26,4 °C (temperatura); 2750 – 210 mg/L (DQO); 1501,67 – 117,50 mg/L (DBO₅); 44,5 – 22,5 mg/L (sólidos totales en suspensión); 13,8 – 3,8 mg/L (aceites y grasas); $24,5 \times 10^{10}$ – 22×10^6 (coliformes totales) y 16×10^{10} – $14,5 \times 10^6$ (coliformes fecales). La eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales fue de 99,99% (coliformes fecales); 92,36% (DQO); 92,14% (DBO₅); 72,46% (aceites y grasas) y 49,44% (sólidos totales en suspensión). El valor de coliformes fecales ($14,5 \times 10^6$ CF/100mL) en el afluente de la PTAR El Parco superó el límite máximo permisible (10×10^3 CF/100mL), de igual manera en el efluente la DQO (210 mg/L) y la DBO₅ (117,50 mg/L) superó los límites máximos permisibles, indicando que no se cumple con la normatividad vigente.

Palabras clave: Aguas residuales, laguna de oxidación, eficiencia PTAR

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the efficiency of the domestic wastewater treatment plant, District PTAR Parco, Bagua, Amazonas during April-October 2013. Weekly samples were collected for 3 months in two sampling points: tributary and effluent, determined the pH was investigated, temperature, chemical oxygen demand DQO, biochemical oxygen demand DBO₅, total suspended solids, oil and grease, total and fecal coliforms and efficiency of the wastewater treatment plant was calculated according to him DS N° 003-2010-MINAM. The average values of the parameters investigated in the influent and effluent were respectively 7,617 – 7,487 (pH); 27,5 – 26,4 °C (temperature); 2750 – 210 mg/L (DQO); 1501,67 – 117,50 mg/L (DBO₅); 44,5 – 22,5 mg/L (total suspended solids); 13,8 – 3,8 mg/L (oils and fats); $24,5 \times 10^{10}$ – 22×10^6 (total coliforms) and 16×10^{10} – $14,5 \times 10^6$ (fecal coliforms). The treatment efficiency of the wastewater was 99,99% (fecal coliforms); 92,36% (DQO); 92,14% (DBO₅); 72,46% (oils and fats) and 49,44% total suspended solids).

The value of fecal coliforms ($14,5 \times 10^6$ CF/100mL) in the influent PTAR Parco exceeded the maximum allowable limit (10×10^3 CF/100mL), in the effluent COD (210 mg / L) and BOD5 (117.50 mg / L) exceeded the maximum permissible limits, indicating that it complies with current regulations.

Keywords: Water residue, lagoon of oxidize, efficiency PTAR.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son una mezcla compleja de agua y sólidos orgánicos e inorgánicos disueltos y suspendidos, provenientes de la actividad doméstica e industrial (FONAM, 2010). En el Perú, la disposición de las aguas residuales constituye un problema, cuya magnitud se incrementa día a día. En el 2007 los sistemas de alcantarillado recolectaron en promedio 747, 3 millones metros cúbicos de aguas residuales y de este volumen sólo el 29,1% ingresó a un sistema de tratamiento. El resto se descargó directamente a un cuerpo de agua, se infiltró en el suelo o se utilizó directamente para fines agrícolas. En este contexto, al menos 530 millones de metros cúbicos de aguas residuales contaminaron los cuerpos de aguas superficiales utilizadas para la agricultura, pesca, recreación e incluso el sistema de agua potable (MINAM, 2011).

En el tratamiento de aguas residuales se realizan procesos físicos, químicos y microbiológicos, con el objeto de obtener agua reutilizable (Correa *et.al*, 2007). El tratamiento biológico mediante lagunas de estabilización, constituye una alternativa viable por su bajo costo (Botero *et. al*, 2002). Cuando tienen un diseño apropiado y adecuados niveles de operación y mantenimiento, los efluentes cumplen con los límites máximos permisibles, aprobados en el DS N° 003-2010- MINAM, en lo correspondiente a pH (6,5 – 8,5), DQO (200 mg L^{-1}), DBO₅ (100 mg L^{-1}), sólidos totales en suspensión (150 mg L^{-1}), aceites y grasas (20 mg L^{-1}) y coliformes fecales ($10\,000 \text{ NMP x } 100 \text{ mL}^{-1}$).

El distrito El Parco, en la provincia de Bagua, departamento de Amazonas tiene 892 habitantes, con 186 viviendas, de las que el 20% cuenta con una conexión a red, para el sistema de alcantarillado. En este distrito hace 20 años se construyó una planta de tratamiento para un volumen de $1477,84 \text{ m}^3$ de aguas residuales, con tiempo de retención de 10 días; sin embargo, no se realiza algún mantenimiento, ni verificación de las condiciones de operación. No obstante, los efluentes son vertidos a campo abierto, sin previa determinación de la calidad físico – química y microbiológica, que garantice el valor agregado de las aguas residuales, sin afectar negativamente al ambiente y seres vivos en general.

Formulación del problema:

En este contexto, se desarrolló la presente investigación, cuyo problema fue: ¿Cuál es la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El

Parco, provincia de Bagua, departamento de Amazonas durante abril – octubre de 2013?. El objetivo general fue determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, PTAR, del distrito El Parco, provincia de Bagua, departamento de Amazonas. Los objetivos específicos fueron: describir las condiciones de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, determinar los valores de pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, coliformes totales y fecales en el afluente y efluente, determinar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y comparar los valores de los parámetros investigados con los establecidos en los máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas domésticas o municipales referidas en el DS N° 003-2010-MINAM.

Formulación de la Hipótesis

La eficiencia en la disminución de algunos de los parámetros DQO, DBO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y coliformes fecales es menor de 95% en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco y no se cumple con los límites máximos permisibles.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes bibliográficos

El comportamiento del sistema tanque séptico (TS) + filtro anaerobio (FA) + humedal de flujo subsuperficial (HS) en Ginebra y Cali, Colombia, fue investigado para determinar la influencia del aumento del caudal y la reducción del tiempo de retención en la eficiencia de remoción de DQO, SST, N-TKN y coliformes fecales. Muestras de aguas residuales crudas y efluentes de cada unidad se tomaron durante 12 horas, integrados cada 6 horas (horas diurnas) 2 días por semana. En Ginebra se alcanzó en promedio 80% de remoción de la DQO; 81 – 88% en SST; 62% de UFC y 18% TKN. Con el sistema de Cali se observaron comportamientos semejantes en la remoción de DQO y SST con valores de 84% y 91,6% respectivamente, mientras que la remoción de nitrógeno TKN se limitó a 30% y las UFC se redujeron en 71,8%. En ambos lugares se estableció que el sistema integrado puede trabajar hasta con el doble del caudal de diseño sin reducir su eficiencia de remoción de materia orgánica (Madera, 2000).

Se investigó la calidad del agua residual para uso agrícola en las lagunas de estabilización de la Universidad de Zulia, Venezuela. Se identificaron coliformes fecales, enterobacterias (EB), estreptococos fecales (EF), enterococos (EC), heterótrofos (Het), colifagos de *E.coli* C y hongos, siguiendo las técnicas descritas en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. En el efluente final las medias geométricas determinadas fueron: CT $1,2 \times 10^4$ NMP/100 mL, CTT $8,0 \times 10^3$ NMP/100 mL, EF $8,1 \times 10^1$ NMP/100 mL, EC $5,3 \times 10^1$ NMP/100 mL, Het $1,1 \times 10^4$ UFC/mL, *E. coli* C $5,7 \times 10^2$ UFP/ mL y hongos $6,2 \times 10^2$ UFC/MI, demostrándose que el 90% de las muestras no cumplían con el requisito establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para aguas residuales a ser empleadas con fines de irrigación (Botero *et al.*, 2002).

En una investigación se comparó la eficiencia de lagunas de estabilización de una Base Militar, una Colonia Militar y una Escuela Politécnica en Guatemala. Para la Base militar se determinó 82,07% de remoción de DBO; 30,56% de remoción de sólidos suspendidos y 70% de remoción de patógenos. Para la colonia militar se registró 52,51% de remoción de DBO; 16,67% de remoción de sólidos suspendidos y 50% de remoción de patógenos. A su vez en la escuela politécnica se alcanzó 79,90% de remoción de

DBO; 79,91% de remoción de sólidos suspendidos y 80% de remoción de patógenos, siendo ésta última la que alcanzó mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales a pesar de no contar con operación y mantenimiento (Martínez & Guzmán, 2003).

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Totorá” – Ayacucho, se determinó la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Se analizaron 70 muestras de agua colectadas cada 15 días. Para la cuantificación de la población de (BCF), se aplicó la técnica de Tubos Múltiples de Fermentación (NMP) y el método respirométrico para determinar la DBO₅. Con los resultados obtenidos, se calculó el porcentaje de remoción de BCF y DBO₅, aplicando la siguiente fórmula: % Remoción = [(C afluente – C efluente)/C afluente] x 100. La capacidad de remoción de BCF fue del 99,99%, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de $1,29 \times 10^5$ NMP/100 mL, en tanto que la remoción de la DBO₅ fue de 86,2%, evacuando efluentes con 46,35 mg/L. Ambos procesos fueron deficientes en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas DL. 17752 para aguas de clase III. Se concluyó que las aguas de los efluentes de la PTAR “La Totorá” no pueden ser consideradas como agua de Clase III para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales (Chuchón & Aybar, 2008).

Se investigó el rendimiento de un sistema piloto de lagunas de estabilización, operando con alimentación semicontinua y tiempos de retención hidráulico total (TRH) de 7, 11 y 17 días. Se determinaron parámetros físicos – químicos y microbiológicos del agua cruda y de los efluentes de las lagunas durante 7 meses. En el TRH de 11 y 17 días se determinó remoción efectiva de microorganismos fecales como *E. coli* hasta valores inferiores a los referidos por la norma. Para coliformes totales, pocas muestras cumplieron el límite exigido. Se concluyó que el TRH recomendado para operar las lagunas era de 10 – 11 días, correspondiente con un caudal disponible de 100 – 110 m³/semana o de 14 – 15 m³ /día, lo cual es suficiente para regar 1200m²/día de cultivos de hortalizas (Duran *et al.*, 2009).

La calidad del agua en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán - México, se investigó en el periodo 2002 - 2008. Los parámetros considerados fueron físico-químicos y microbiológicos, obteniendo el porcentaje de remoción con base a los valores en la laguna de inicialización y en la de finalización, además de comparar los resultados con los límites máximos permisibles. Se registraron porcentajes de remoción de contaminantes menores del 80% y en los efluentes se alcanzaron concentraciones mayores a los límites establecidos por la norma, siendo de 3000 - 93000 UFC/100mL

para coliformes fecales; 106,81 - 368,8 mgL⁻¹ en la DBO₅; 36,88 - 375mgL⁻¹ de nitrógeno total; 13,74 – 15,78 a mgL⁻¹ de fósforo total; 56,27 – 200 mgL⁻¹ de grasas y aceites; 55 – 57,5 mgL⁻¹ de sólidos sedimentables; 224,3 – 224,9 mgL⁻¹ de sólidos suspendidos totales. Se concluyó que las lagunas de oxidación no están funcionando adecuadamente y representan una fuente de contaminación al ambiente (Febles & Hoogesteijn, 2010).

La calidad del agua y características de los usuarios se determinaron en una investigación aplicada. Se muestrearon siete puntos para valorar los parámetros indicadores de la calidad: DBO₅, DQO, coliformes totales, *E. coli*, grasas y aceites y sólidos suspendidos y se encontró que el 62% de la carga total proviene de las viviendas con tanque séptico y el restante 38% de las que realizan el vertido directo. La relación DBO/DQO mostró que en el tramo estudiado (300 m), la quebrada degradó el 80% de la carga contaminante debido a la alta capacidad de autodepuración de la corriente. El problema principal identificado fue contaminación de aguas residuales domésticas por coliformes totales. Un análisis comparativo de los parámetros medidos en anteriores estudios realizados en la zona (2001, 2005 y 2007), mostró que la calidad del agua de la fuente receptora ha mejorado, evidenciándose disminución de los valores observados especialmente en coliformes totales. Se planteó como alternativa de solución, la implementación de tratamientos de aguas residuales no convencionales para las viviendas que aún realizan vertido directo (Hidalgo & Mejía, 2010).

En Bolivia, a 15°C se estudiaron cuatro sistemas de lagunas, integradas por lagunas anaerobias, facultativas y aerobias de maduración, ubicadas en serie, en tiempos de retención hidráulica (TRH) de 7 a 30 días. Los valores de las constantes cinéticas (K_{pa}) para las lagunas anaerobias fueron de 3,45 - 3,75 día⁻¹ y para las lagunas facultativas y de maduración fueron de 0,20 - 0,54 día⁻¹. El decaimiento bacteriano (K_b), registrado en los diferentes sistemas fue de 0,38 - 1,58 día⁻¹. Se concluyó que 7 – 30 días como tiempo de retención es el adecuado para el tratamiento de aguas residuales, alcanzando 80 – 98% en la eficiencia de remoción de la DBO₅ (Hernández, 2010).

La eficiencia de remoción de microorganismos y materia orgánica se investigó en la planta de tratamiento de aguas residuales Cabimas en Venezuela. En el período de lluvia, se tomaron muestras de entrada y salida de la planta, diariamente y a diferentes horas del día, durante 3 meses. Se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos: pH, oxígeno disuelto, temperatura, caudal DBO y DQO (total y soluble), nitrógeno total Kjeldhal, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fósforo total, coliformes totales y fecales siguiendo la metodología del *Standard Methods*. La remoción de la DBO

y DQO fue de 69 - 49 % respectivamente. El aporte de las algas a la DBO y DQO del efluente fueron 23 y 17 % respectivamente. Se alcanzó 2,56% de remoción de fósforo total; 27% de nitrógeno amoniacal y 26% de nitrógeno total Kjeldhal. Los resultados obtenidos indicaron que la planta de tratamiento de aguas residuales, genera un efluente cuyas valores cumplen los límites de la normativa venezolana vigente, excepto para organismos coliformes (Yabroudi *et al.*, 2010).

El funcionamiento y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Distrito El Parco, Bagua – Amazonas se investigó el 2012. Se determinó que los valores de coliformes fecales fueron superiores a 10 000 NMP/100 mL, es decir la calidad de agua fue deficiente en comparación con lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. En el tramo estudiado, la DBO disminuyó en 90% debido a la alta capacidad de autodepuración de la planta de tratamiento de agua residual, pero aún así el valor excedió el límite máximo permisible. El problema principal identificado fue contaminación por coliformes fecales, recomendándose como alternativa de solución la implementación de un manual de gestión ambiental para el manejo adecuado y ordenado del área de estudio así como también la participación de todos los pobladores y autoridades de la zona (Montenegro, 2012).

1.2 Base teórica

Laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple para embalsar agua, de poca profundidad de 1 a 4 m y con períodos de retención de 1 a 40 días. Las lagunas de estabilización tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley. Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico (Martínez y Guzmán, 2003).

Las lagunas que reciben el agua residual cruda se les llama lagunas primarias. El sistema debe contar por lo menos con dos lagunas primarias en paralelo con el objeto de que una se mantenga en operación, mientras se hace la limpieza de lodos de la otra. Las lagunas que reciben el efluente de una laguna primaria se denominan secundarias y dependiendo la calidad del efluente que uno desea evacuar pueden llegar a terciarias, cuaternarias, etc. A éstas también se les llama de maduración (Reynolds, 2002). Existen

dos procesos por el cual funcionan estas lagunas de estabilización: 1) Aerobio: se caracteriza por la descomposición de la materia orgánica, la cual se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso participan bacterias aerobias o facultativas, las cuales originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, éstas a su vez producen el oxígeno que facilita la actividad de las mismas bacterias; 2) Anaerobio: este proceso es más lento y puede originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que su incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y la laguna se torna de color gris oscuro (Reynolds, 2002).

De acuerdo con la secuencia del flujo de una batería de lagunas, se pueden tener lagunas en serie, en paralelo o en paralelo-serie (Arango, 2003). Las lagunas en serie son el conjunto de lagunas que se suceden unas a otras y que están relacionadas entre sí (Figura 1). La calidad bacteriológica del efluente en varias lagunas facultativas en serie ofrece una gran mejoría en la estabilización de las aguas residuales. Son dos o más circuitos que se conectan independientemente a uno principal (Figura 2). El uso de estas lagunas no incrementa considerablemente la calidad del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas de construcción y operación, ya que las lagunas primarias acumulan una gran cantidad de lodos y requieren ser limpiadas periódicamente.

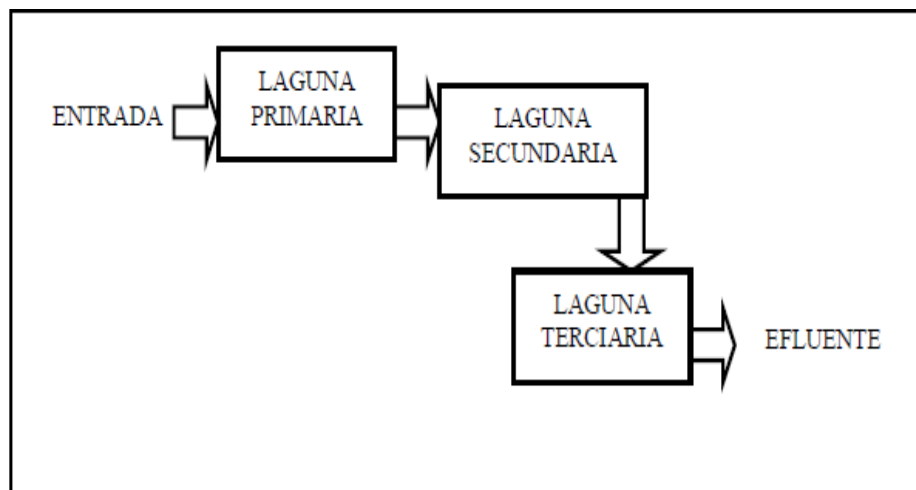


Figura 1. Sistema de lagunas en serie.

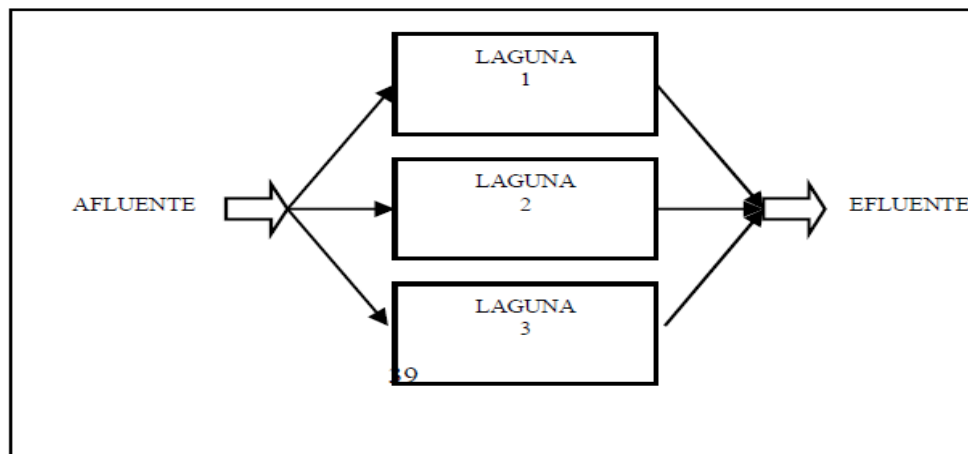


Figura 2. Sistema de lagunas en paralelo.

1.2.1 Tipos de lagunas

El objetivo primordial de las lagunas de estabilización, es la remoción de patógenos y para ello se toma como base el período de retención. Asimismo, se disminuye la carga orgánica (DBO) de las aguas residuales y se logra, de esta manera, que el nivel de oxígeno disuelto (OD) en los cuerpos receptores se vea favorecido, con el beneficio de ser utilizado sin muchos riesgos para los peces y demás organismos acuáticos. Las posibles variaciones en lagunas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de distintas maneras, pero una de las más habituales es hacerlo según la participación del oxígeno disuelto en el sistema (Arango, 2003). Una laguna en que se espera (por diseño) que exista oxígeno disuelto en todo el sistema se clasifica como laguna aerobia. Son de alta producción de biomasa. Su profundidad es de 0,3 a 0,45 metros, en la cual, mediante la penetración de la luz solar hasta el fondo y por su diseño para una máxima producción de algas con cortos períodos de retención, la reducción de la materia orgánica es efectuada por organismos aeróbios. Son utilizadas perfectamente en climas calientes y con buena radiación solar; sin embargo su uso en el tratamiento de aguas residuales no es generalizado (Arango, 2003; Barrios, 2009).

Si el oxígeno está ausente en toda la laguna se clasifica como laguna anaerobia y es cuando la carga orgánica aumenta mucho, la DBO excede la producción de oxígeno de las algas, actuando como un digestor anaeróbico abierto. La profundidad varía entre 2,5 a 5 metros, con tiempos de retención del agua residual de 5 días. En éste tipo de lagunas, no se remueven los flotantes para conservar el calor y para aislar la laguna del oxígeno atmosférico (Barrios, 2009). Las lagunas facultativas son las más utilizadas. Tienen la característica de presentar una zona superior aerobia, otra zona inferior

anaerobia y una zona de transición en donde viven las bacterias facultativas. La profundidad de estas lagunas varía entre 1 y 2 m. Este tipo de lagunas se proyectan para tiempos de retención altos y cargas orgánicas bajas. En lo que respecta a la remoción de materia orgánica, las lagunas facultativas alcanzan hasta 85% y 99,9% máximo en lo referido a la remoción de bacterias coliformes (Martínez y Guzmán 2003).

1.2.2 Normatividad vigente

En el Perú la legislación referente a los Recursos hídricos y Saneamiento es muy amplia. La fuente legislativa más trascendente que permaneció vigente por muchos años fue el Decreto Ley N° 17752 “Ley General de Aguas” (24 de julio de 1969); sin embargo, esta ley fue modificada por reglamentos que buscaban regular en forma más eficaz aspectos relacionados a la institucionalidad de la gestión del agua, tanto como la conservación o aprovechamiento del agua y la preservación de la calidad de la misma. Finalmente esta ley se derogó dando paso a la actual Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338, que busca modernizar y hacer más eficiente el uso del agua, tanto en los sectores productivos, como en el doméstico (MINAN-Compendio IV, 2011). La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El Estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento (FONAM, 2010).

La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 66 establece que: “Los Recursos naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento”. “Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a sus particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal”. Los recursos naturales son patrimonio de la nación, es por esto que no pueden ser de propiedad privada y exclusiva de los particulares; sin embargo, pueden ser usados según lo establecido por la legislación vigente, mediante la concesión, permiso o licencia.

Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338

Artículo 75°.- Protección del agua

“La Autoridad Nacional, con opinión del Consejo de Cuenca, debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta en el marco de la Ley y demás

normas aplicables. Para dicho fin, puede coordinar con las instituciones públicas competentes y los diferentes usuarios. La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca correspondiente, ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación del mar, ríos y lagos en lo que le corresponda. Puede coordinar, para tal efecto, con los sectores de la administración pública, los gobiernos regionales y los gobiernos locales”.

Artículo 79°.- Vertimiento de agua residual

“La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a éste o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la Autoridad Nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas”.

Ley del Ambiente - Ley N° 28611

Artículo 90.- “El Estado promueve y controla el aprovechamiento sostenible de las aguas continentales a través de la gestión integrada del recurso hídrico, previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran, regula su asignación en función de objetivos sociales, ambientales, económicos, y promueve la inversión y participación del sector privado en el aprovechamiento del recurso.”

Artículo 120.1.- “El Estado a través de sus entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país”.

Artículo 120.2.- “El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana”.

Ley General de Servicios de Saneamiento - Ley N° 26338

La Ley N° 26338 “Ley de Servicios de Saneamiento” en su artículo 10 establece que los sistemas que integran los servicios de saneamiento son: a) Servicios de agua potable, que incluyen a los sistemas de producción (captación, almacenamiento, conducción de agua cruda y tratamiento). b) Alcantarillado sanitario y pluvial, que incluye al sistema de recolección y tratamiento y disposición de las aguas servidas. c) Disposición sanitaria de excretas: sistemas de letrinas y fosas sépticas.

Ley General de Salud - Ley N° 26842

Su finalidad es proteger la salud como medio fundamental para alcanzar el bienestar individual y colectivo, regular toda materia sanitaria, así como también la protección del medio ambiente para la salud. La Autoridad Sanitaria, por su parte, es el Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), a quien mediante DS N° 023-2005-SA de 2006 le fuera encargada la responsabilidad de velar por la preservación de la calidad del recurso hídrico, vía la formulación de políticas nacionales de salud ambiental, el establecimiento de normas técnicas sanitarias para el manejo, reuso y vertimiento de aguas residuales domésticas, la vigilancia de la calidad sanitaria de los sistemas de agua potable así como del agua como recurso, controlar a los agentes contaminantes, registrar y controlar los vertimientos y evaluar los riesgos ambientales, para lo cual se vale de instrumentos tales como los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM – Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (MINAM-Compendio V, 2011)

El concepto “calidad ambiental” se refiere como el conjunto de características del ambiente, en función a la disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos. Todo esto necesario para el mantenimiento y crecimiento de la calidad de vida de los seres humanos. Asociados a este concepto, se encuentran los términos “estándar de calidad ambiental” y “límite máximo permisible”, instrumentos de gestión ambiental que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas.

Artículo 1.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y

biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Fe de erratas del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM – Límite Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Artículo 1.- Aprobación de Límite Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). Aprobar los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100MI	10 000
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO	mg/L	100
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	200
Ph	Unidad	6,5 – 8,5
Sólidos totales en suspensión, SST	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Norma Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, referente al desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales

En el artículo 4.3.11 establece que en ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento. Señala que el tratamiento

mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga deberá ser el tratamiento primario. Es decir, un nivel de tratamiento capaz de remover la materia orgánica sedimentable, entre los que se encuentra el tanque Imhoff, el tanque séptico, el tanque o laguna de sedimentación y las lagunas en general; aunque, estas últimas se encuentren dentro de los procesos de tratamiento secundario, que es un objetivo adicional al alcanzado mediante el tratamiento primario.

Decreto Supremo 017-2005-SA - Texto único de procedimientos administrativos del Ministerio de Salud

Procedimiento 15; establece los pasos para la obtención de la autorización sanitaria para i) vertimiento y ii) reuso. Por lo cual se determinan dos aspectos relevantes: 1) todo vertimiento o planta de tratamiento de aguas residuales domésticas requiere autorización sanitaria para operar y 2) aquellas que no cuenten con autorización deberán regularizar su situación en los plazos señalados por la autoridad sanitaria, DIGESA.

1.3 Definiciones conceptuales

1.3.1 Agua residual: Las aguas residuales contienen aproximadamente 99,9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento (Rojas, 2002).

1.3.2 Eficiencia: Término que se refiere a que una planta de aguas residuales está operando en perfectas condiciones en un 100%, junto con adecuados niveles de operación y mantenimiento. Los efluentes tratados tendrán calidad físico- química y bacteriológica que los convertirán según la norma en aptos para el reuso, sin ocasionar riesgos para la salud (Sorrequieta, 2004).

1.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno, DBO: Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante 5 días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica. La relación DQO/DBO₅ proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales (Rojas, 2002).

1.3.4 Demanda química de oxígeno, DQO: Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual (Rojas, 2002).

1.3.5 Sólidos totales en suspensión, SST: Están compuestos por partículas orgánicas e inorgánicas, fácilmente separables del líquido por sedimentación, filtración o centrifugación (Curtis, 1992).

1.3.6 Coliformes fecales: son bacterias que soportan temperaturas de hasta 45 °C. Conforman un grupo muy reducido de microorganismos que son indicadores de calidad, de origen fecal. En su mayoría están representados por *Escherichia coli* entre otras, son patógenas y se diferencian porque fermentan la lactosa y se encuentran en mayoría en las heces de origen humano (Soler, 2006).

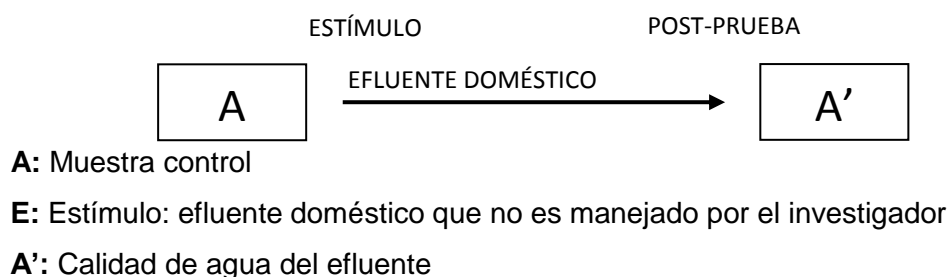
1.3.7 Laguna de oxidación: Las lagunas de oxidación o de estabilización, son depósitos contruidos mediante la excavación y compactación de la tierra que almacenan agua de cualquier calidad por un periodo determinado. El manejo sencillo del agua residual y la eficiencia energética, son su principal característica. Una laguna de estabilización u oxidación, funciona básicamente por la actividad bacteriana y las relaciones simbióticas con algas y otros organismos. Cuando el agua llega, se genera en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico (Rojas, 2002).

CAPÍTULO II

DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación se realizó en el Laboratorio Referencial de Bagua, Provincia de Bagua Región Amazonas.

2.1 Diseño metodológico: Para contrastar la hipótesis se utilizó el diseño preexperimental de postprueba con un solo grupo, donde:



2.2 Población y muestra

Población: Afluente y efluente de la PTAR El Parco.

Muestra: Muestras simples tomadas en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de agua residuales del distrito El Parco, durante 3 meses, la cuales fueron procesadas en el Laboratorio de Referencia Regional de Bagua.

Variables cuantitativas: pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, coliformes totales y fecales.

2.3 Técnicas de recolección de datos

2.3.1 Localización de zona de estudio

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se encuentra ubicada a 600 metros del distrito el Parco (Figura 3), este distrito es uno de los seis de la Provincia de Bagua en el departamento de Amazonas, al noreste del Perú. Fue creado el 1 de septiembre de 1941, mediante Ley N° 9364. El Parco tiene una población de 892 habitantes con 186 viviendas, de las cuales solo el 20% cuenta con una conexión a red para el sistema de alcantarillado y el 80% tiene letrinas.

2.3.2 Muestreo y análisis de laboratorio

El material de estudio lo constituyeron el afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Parco. Una vez localizadas en un plano, la planta de tratamiento de Agua residual (PTAR) y el vertimiento se seleccionaron los puntos de

muestreo (Figura 3, tabla 2), bajo el criterio de evaluar antes y después de las descargas. Por tal motivo se seleccionaron dos puntos de muestreo (Montenegro, 2012) en la zona de estudio en un muestreo semanal durante 3 meses (12 muestreos).

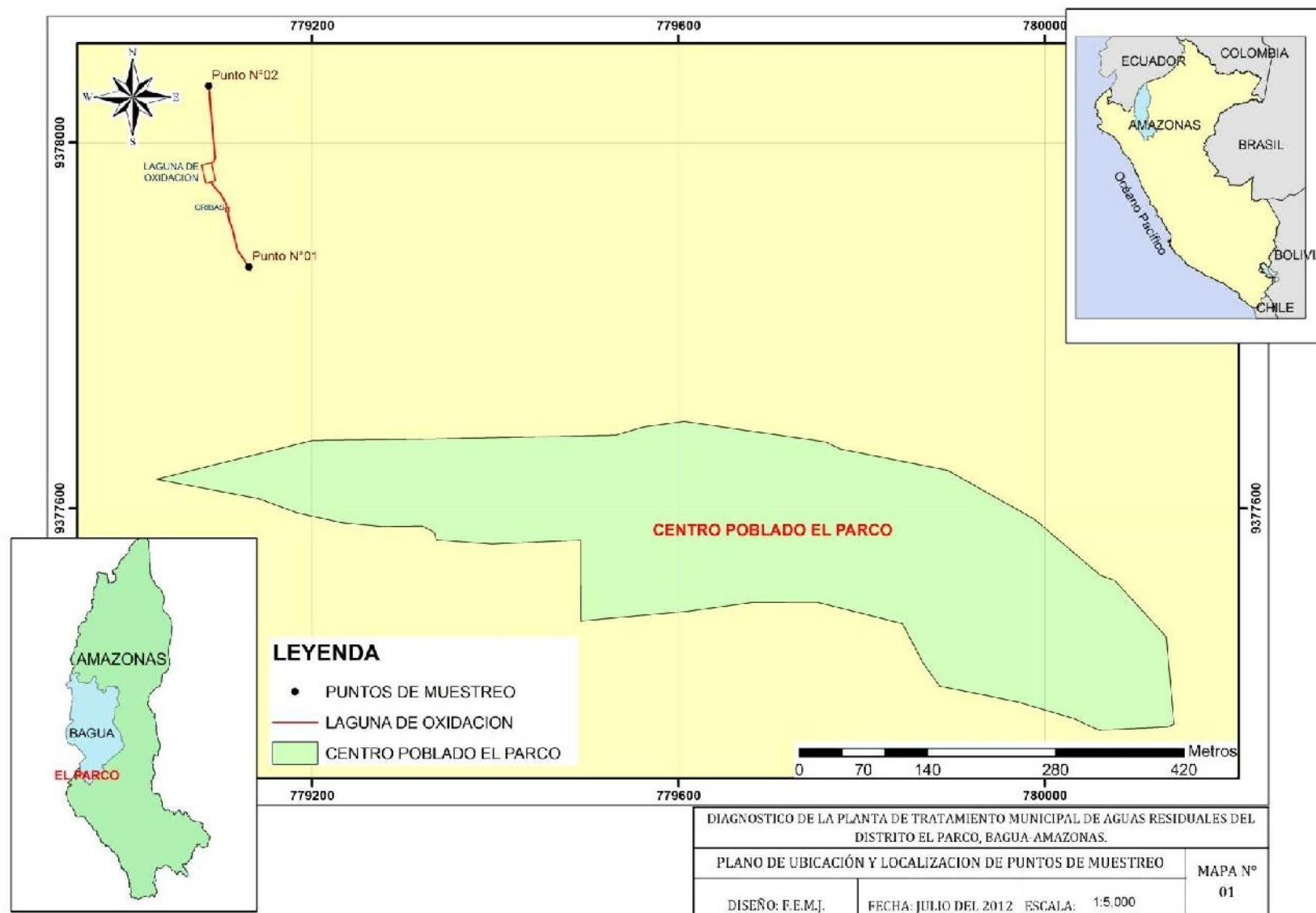


Figura 3. Ubicación de la Planta de tratamiento de aguas residuales y localización de puntos de muestreo (Montenegro, 2012).

Toma de muestra:

Se utilizaron frascos de vidrio debidamente codificados, etiquetados y para coliformes éstos fueron esterilizados una vez ubicados los puntos de muestreo (Tabla 2), el frasco se introdujo 20cm con la boca hacia abajo y se llenó con agua hasta un tercio de su capacidad dejando un volumen libre y luego se tapó. Se realizó la medición de la temperatura del agua. Los frascos con las muestras se guardaron en la caja conservadora, para ser transportados al laboratorio Referencial de Bagua, las muestras se mantuvieron a 4°C durante su transporte al laboratorio. Los parámetros se investigaron de acuerdo al Anexo del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límite máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales: DBO₅, DQO, Aceites y grasas, sólidos totales en suspensión y coliformes fecales.

Tabla 2. Coordenadas de puntos de muestreo de PTAR del distrito El Parco en Amazonas, 2013

Punto de Muestreo	Posición			
	UTM	Este	Norte	Altitud
1	17S	779131	9377864	573 m
2	17S	779087	9378062	562 m

2.3.2.1 Determinación del pH y temperatura

Una vez ubicado el punto de muestreo se realizó la toma de muestra en un frasco de boca ancha para tomar la temperatura *in situ* con termómetro ambiental y el pH con un pH-metro digital en el laboratorio de Referencia Regional de Bagua.

2.3.2.2 Demanda química de oxígeno, DQO

La DQO se determinó según la metodología de “American Public Health Association, APHA” (1992).

a. Procedimiento

Para obtener la curva de calibración en siete tubos de digestión se pipetearon 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 mL de la solución estándar de KHP y se completó hasta a un volumen final de 10 mL con agua destilada, obteniendo soluciones correspondientes a 50, 100, 150, 200, 250, 400, 500 mg O₂L⁻¹ respectivamente. También se incluyó un blanco. Después se agregaron 6 mL de solución de digestión y 14 mL de solución de ácido sulfúrico, los tubos de digestión se taparon y se agitaron vigorosamente y se colocaron

en el digestor, a 150°C, durante 2 horas. Los tubos se enfriaron a temperatura ambiente, se invirtieron varias veces y luego se dejaron en reposo para que el sólido sedimente. Los tubos de digestión con solución verde se descartaron. Se leyó la absorbancia a 600 nm y se graficaron las absorbancias versus los mg O₂L⁻¹. Para la determinación se pipetearon 10 mL de muestra o una dilución adecuada en un tubo de digestión, se agregaron a cada tubo 6 mL de solución de digestión, 14 mL de solución de ácido sulfúrico y se siguieron los mismos pasos que en la curva de calibración.

b. Cálculos y expresión de resultados

$$DQO \text{ (mg O}_2\text{L}^{-1}\text{)} = \frac{C \times 10}{T}$$

Donde:

C = mg O₂L⁻¹ de la muestra leídos de la curva de calibración

T = mL de muestra tomada para el ensayo

Los resultados se expresan en mg de oxígeno consumidoL⁻¹

2.3.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅

La DBO₅ se determinó según la metodología de “American Public Health Association, APHA” (1992).

a. Preparación del agua de dilución

Se determinó un volumen deseado de agua destilada en un recipiente adecuado y se adicionó 1 mL de las soluciones: buffer fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico por litro de agua. El agua de dilución se termostatóizó previo a su uso a 20°C. El contenido de oxígeno debió ser próximo al de saturación a 20°C.

- Blanco del agua de dilución

Se incubó una botella de DBO llena de agua de dilución por 5 días a 20°C conjuntamente con el ensayo de la muestra. Se midió la concentración de oxígeno antes y después de la incubación. El consumo de oxígeno disuelto al cabo de los 5 días no debió ser mayor de 0,2 mgL⁻¹ y preferiblemente no más de 0,1 mgL⁻¹. Un consumo mayor de 0,2 mgL⁻¹ indicó contaminación del agua con materia orgánica. Revertir el suministro de agua.

b. Pretratamiento de la muestra

El pH del agua de dilución no debió ser afectado por la dilución de la muestra. En caso necesario se ajustó el pH de las muestras entre 6,5 – 7,5 con una solución de ácido sulfúrico o hidróxido de sodio, de tal fuerza que la cantidad de reactivo no diluyera la

muestra en más del 0,5%. La muestra debió estar a temperatura ambiente (aprox. 20°C) antes de realizar las diluciones.

c. Técnica de dilución

Se realizaron varias diluciones de la muestra para obtener un consumo de oxígeno de no menos de 2 mgL⁻¹ y oxígeno residual no menor a 1 mgL⁻¹, después de 5 días de incubación. Al no contar con un dato estimado de la DBO de la muestra, se realizaron diluciones: 20 - 100 veces para aguas servidas crudas y tratadas, y 5 - 20 veces para efluentes tratados biológicamente. Como mínimo se realizaron cuatro diluciones por muestra que incluyeron el valor de la DBO estimada. Luego de homogeneizar la muestra, se prepararon las diluciones directamente en las botellas de DBO, usando pipeta graduada. Para las diluciones mayores que 100 se realizó una dilución primaria intermedia en material volumétrico graduado antes de realizar la dilución final en la botella. Las botellas se llenaron con el agua de dilución evitando airear y de forma que al cerrarlas se hayan desplazado todas las burbujas de aire.

d. Determinación

Medida de oxígeno disuelto de la muestra (ODm): Se determinó el oxígeno disuelto de la muestra con el electrodo de oxígeno según las instrucciones del manual, evitando airear la muestra.

Incubación: Se incubaron las botellas de DBO conteniendo las diluciones de la muestra y el blanco del agua de dilución a 20 ± 1°C, durante 5 días.

Medida de oxígeno disuelto final: después de 5 días de incubación se determinó el oxígeno disuelto en las diluciones de la muestra.

e. Cálculos y expresión de resultados

Método clásico

Se utilizó el método clásico adecuado para muestras de bajo contenido en materia orgánica, cuando no es necesario diluir, o cuando de las diluciones realizadas se tiene un único resultado que cumple con la técnica de diluciones.

$$DBO_5 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(ODi - ODf) \times V}{T}$$

Donde:

ODi = concentración de oxígeno disuelto inicial (medido luego de la dilución)

ODf = concentración de oxígeno disuelto final

V = capacidad de la botella de DBO (300 mL)

T = mL de muestra tomados para la dilución

2.3.2.4 Sólidos totales en suspensión

Los sólidos suspendidos totales se determinaron según la metodología de “American Public Health Association, APHA” (1992).

a. Procedimiento

Se colocó el papel filtro en el embudo de filtración, se aplicó vacío, se enjuagó con tres porciones de 20 mL de agua destilada, se succionó hasta eliminar totalmente el agua, se secó en estufa 103 -105°C por 1 hora en un soporte de porcelana y para volátiles se mufló por 15 minutos a 550 °C, se enfrió en un desecador y se pesó. Se repitieron los ciclos de muflado, enfriado y pesado hasta que se obtuvieron pesos constantes y luego se pesó inmediatamente antes de usarlo. Se colocó el filtro en el embudo de filtración, se mojó el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada y se tomó un volumen de muestra homogeneizada entre 2,5 y 200 mg. Se vertió el volumen medido en el embudo de filtración y se comenzó a succionar, luego se lavó tres veces sucesivas con 10 mL de agua destilada cada vez, permitiendo un completo drenaje en los lavados. Se continuó la succión por 3 minutos hasta que la filtración se completó, se removió el filtro y se colocó sobre un soporte de porcelana. Se secó por 1 hora a 103 -105°C en estufa, se enfrió en desecador y se pesó. Se repitió el ciclo de secado, enfriado y pesado hasta que se obtuvieron pesos constantes. El filtro anterior se colocó en la mufla a 550 ± 50°C durante 1 hora, se enfrió en un desecador y se pesó. Se repitió hasta que obtuvieron pesos constantes o hasta que la pérdida de peso sea menor que el 4% del peso previo o 0,5 mg.

b. Cálculos y expresión de resultados

$$\text{SST (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{P2-P1}) \times 1000}{V}$$

$$\text{SSF (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{P3-P1}) \times 1000}{V}$$

$$\text{SSV (mgL}^{-1}\text{)} = \text{SST} - \text{SSF}$$

Donde:

SST = sólidos suspendidos totales en mgL⁻¹

SSF = sólidos suspendidos fijos en mgL⁻¹

SSV = sólidos suspendidos volátiles en mgL⁻¹

P1 = peso (mg) del filtro preparado

P2 = peso (mg) del filtro más el residuo seco a 103 -105°C

P3 = peso (mg) del filtro más el residuo calcinado a 550 °C

V = volumen de muestra tomado en mL

2.3.2.5 Aceites y grasas

Los aceites y grasas se determinaron según la metodología de “American Public Health Association, APHA” (1992).

a. Procedimiento

En un frasco de vidrio de boca ancha, con cámara de aire, conteniendo el solvente, se colectaron 100 mL de muestra fueron acidificados a $\text{pH} < 2$ con HCl (1+1) y refrigerados a 4°C. Para el procesamiento se determinó el volumen de la muestra colectada y se denominó “V”, se verificó el pH y se ajustó a $\text{pH} < 2$, en caso necesario (HCl 1+1). A continuación se colocó un papel de filtro humedecido con agua destilada en el embudo Buchner, se vertieron 100 mL de la suspensión de tierra diatomeas a través del filtro humedecido, se lavó con 1L de agua destilada. Posteriormente, la muestra se filtró y con pinzas el filtro se transfirió a un vidrio reloj. En el embudo Buchner, se removieron las películas de grasas y material sólido presente en el filtro, se juntaron ambos filtros, se envolvieron y se colocaron en el cono de extracción, el cual se secó en una estufa de aire caliente a 103°C por 30 minutos.

El matraz de extracción conteniendo perlas de ebullición se peso (P1). Se colocó el cono en el embudo Soxhlet y se agregaron 200 mL de éter de petróleo al frasco de extracción. Se extrajeron los aceites y grasas a una velocidad de 20 ciclos por hora durante 4 horas, tiempo tomado a partir del primer ciclo. Se destiló el solvente del frasco de extracción en un baño de agua a 70°C, al finalizar la condensación del solvente, se sacó el frasco de extracción sobre el soporte durante 15 minutos, en el último minuto, pasar aire a través del residuo usando un vacío apropiado. Se enfrió el frasco de extracción en un desecador por 30 minutos y se determinó el peso (P2).

b. Cálculos y expresión de resultados

$$\text{Aceites y grasas (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(P2 - P1) \times 1000}{V}$$

Donde:

P1 = peso del matraz con las perlas de ebullición previo a la extracción en mg

P2 = peso del matraz con las perlas de ebullición luego de la extracción en mg

V = volumen de muestra filtrado en mL

2.3.2.6 Coliformes totales y fecales

Los coliformes totales y fecales se determinaron según la metodología de Camacho *et al.* (2009).

a. Prueba presuntiva

La muestra se agitó y se transfirieron volúmenes de 1 mL, a cada uno de los tubos con 10 mL de caldo lauril sulfato de sodio seleccionados. Los tubos se agitaron para homogeneizar la muestra, se incubaron a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, se examinaron a las 24 horas y se observó si había formación de gas (desplazamiento del medio en la campana de Durham). En caso negativo los tubos se incubaron 24 horas adicionales.

b. Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales

Dos a tres asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva se transfirieron a tubos de 16 x150 mm con 10 mL de caldo bilis verde brillante (Brila) y campana de Durham. Los tubos se agitaron y se incubaron a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 a 48 horas (Figura 4). Se registraron como positivos aquellos tubos en donde se observó turbidez (crecimiento) y producción de gas después de un período de incubación de 24 a 48 horas y según la tabla del NMP se determinó el número más probable de organismos coliformes totales/100 mL.

c. Prueba confirmativa de microorganismos coliformes fecales

Dos a tres asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva (caldo lauril sulfato de sodio) se transfirieron a tubos de 16 x 150 mm, con 10 mL de caldo EC y campana de Durham. Los tubos se agitaron y se incubaron a $44.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ en incubadora o un baño de agua durante 24 a 48 horas (Figura 5). Se registraron como positivos todos los tubos en los que se observó crecimiento y producción de gas después de un período de incubación de 24 a 48 horas y según la tabla del NMP se determinó el número más probable de organismos coliformes fecales/ 100 mL.

2.3.2.7 Cálculo de la eficiencia

La eficiencia de la remoción de los parámetros investigados en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito El Parco, se calculó según la fórmula utilizada por Pacheco (1993).

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{AP - DP}{AP} \times 100$$

Donde: AP= valor del parámetro en el afluente

DP= valor del parámetro en el efluente



Figura 4. Incubación de tubos con caldo de bilis verde brillante a 35°C



Figura 5. Incubación de tubos con caldo EC a 44,5 °C

2.3.2.8 Comparación de valores de los parámetros investigados con los máximos permisibles establecidos

Los valores obtenidos en el pH, temperatura, DQO, DBO, SST, aceites y grasas, coliformes fecales se compararon con los límite máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

2.4 Análisis de datos

Los valores obtenidos en el pH, temperatura, DQO, DBO, SST, aceites y grasas, coliformes se colocaron en tablas y figuras que permitieron analizar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, Bagua, Amazonas. Se utilizaron los programas Microsoft office Word y Excel 2013.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 Condiciones de operación y mantenimiento la PTAR de El Parco

La planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco fue construida por FONCODES con características establecidas en 1995 (Tabla 3), por lo cual viene funcionando hace 20 años sin ningún tipo de mantenimiento (Figuras 6, 7). La línea de conducción domiciliaria hasta la misma laguna está construida por tubos de concreto, algunos de las cuales están deteriorados produciendo filtración y fugas (Figuras 8, 9). Se cuenta con un sistema de rejillas como un tratamiento preliminar, que también está en mal estado (Figura 10), permitiendo el ingreso de objetos de gran volumen.

La planta de tratamiento de aguas residuales está conformada por una sola laguna con dimensiones de 72m x 34m y una profundidad de 1,50 m. Es una laguna facultativa por sus dimensiones. La laguna es única e impide el mantenimiento y la eliminación de lodos acumulados. Más aún la espesa vegetación circundante no permite el ingreso de los rayos solares, fundamentales para este tipo de sistema. El caudal de agua residuales es de 147,78 m³/día, cuyo efluente es vertido a campo abierto (Figura 11) donde existen pozas de cultivo de *Oryza sativa* L. “arroz” aledañas.

Tabla 3. Características consideradas para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Parco en 1995

Características de laguna	Valores
Población actual	892
Caudal de aguas residuales	147,78 m ³ /día
Periodo de retención sin lodos asumidos	10 días
Volumen de aguas residuales a tratar	1477,84 m ³
Carga orgánica per cápita	50gr DBO/hab/día
Carga orgánica total	71,05 kg DBO/día
Periodo de limpieza	2 años
Volumen de lodos (m ³)	142,1
Profundidad asumida en el proyecto (metros)	1,5
Temperatura prom. del mes a mas frio	18

Fuente: Municipalidad distrital El Parco- expediente técnico (1995).

Tabla 4. Características de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Parco

Características	SI	NO
Existe cerco de protección?		X
Línea de conducción (tubos de cemento)	X	
Tuberías libres de rajaduras y fugas?		X
Rejillas en mal estado?	X	
Compuertas de salida en mal estado?	X	
Existe Laguna paralela para la limpieza y mantenimiento?		X
La estructura está en buen estado? (libre de rajaduras y fugas)		X
Existe material impermeable en la laguna de oxidación?		X
Efluente son vertidos a campo abierto?	X	
Presencia de actividad agrícola en las inmediaciones?	X	



Figura 6. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito El Parco en total abandono.



Figura 7. Compuerta de la laguna de oxidación del distrito El Parco en mal estado.



Figura 8. Línea de conducción domiciliar deteriorada.



Figura 9. Filtración de aguas residuales hacia el canal de regadío.



Figura 10. Cámara de rejillas en mal estado.



Figura 11. Cultivo de *Oryza sativa* L. donde es vertido el efluente de la laguna de oxidación.

En el presente estudio se realizó un muestreo compuesto semanalmente durante 3 meses (agosto, setiembre, octubre) considerando doce muestreos del afluente y efluente, haciendo un total de 24 muestras investigándose los cinco parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: límites máximos permisibles para efluentes de PTAR.

3.2 Valores de los parámetros investigados

El pH de las aguas residuales (Tabla 4, figura 12) en la PTAR del distrito El Parco fue en promedio 7,617 en el afluente y 7,487 en el efluente. En el afluente los valores fueron 7,422 – 7,850 en agosto; 7,390 – 7,810 en setiembre y 7,475 – 7,814 en octubre. En el efluente los valores fueron 7,413 – 7,560 en agosto; 7,471 – 7,541 en setiembre y 7,407 – 7,533 en octubre.

La temperatura de aguas residuales (Tabla 5, figura 13) fue en promedio 27,5 °C en el afluente y 26,4°C en el efluente. En el afluente los valores fueron 27,4 -27,6 °C en agosto; 27,2 – 27,5°C en setiembre y 27,3 – 27,6 °C en Octubre. En el efluente los valores fueron 26,2 – 26,7 °C en agosto; 26,2 – 26,6 °C en setiembre y 26,2 – 26,4 °C en octubre.

La demanda química de oxígeno, DQO (Tabla 6, figura 14) fue en promedio 2750 mg/L en el afluente y 210 mg/L en el efluente. En el afluente los valores fueron 2550 – 2950 mg/L en agosto; 2580 – 2860 mg/L en setiembre y 2530 – 2910 mg/L en octubre. En el efluente los valores fueron 200 – 230 mg/L en agosto; 200 – 240 mg/L en setiembre y 200 – 230 mg/L en octubre.

La demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅ (Tabla 7, figura 15) fue en promedio 1501,67 mg/L en el afluente y 117,50 mg/L en el efluente. En el afluente los valores fueron 1380 – 1620 mg/L en agosto; 1360 – 1640 mg/L en setiembre y 1380 – 1620 mg/L en octubre. En el efluente los valores fueron 110 – 130 mg/L en agosto; 110 – 150 mg/L en setiembre y 100 – 130 mg/L en octubre.

Tabla 5. Valores del pH del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	pH	
	Afluente	Efluente
Agosto	7,850	7,510
	7,422	7,444
	7,645	7,560
	7,462	7,413
Setiembre	7,810	7,541
	7,390	7,471
	7,792	7,511
	7,502	7,484
Octubre	7,680	7,506
	7,475	7,468
	7,814	7,533
	7,556	7,407
Promedio	7,617	7,487

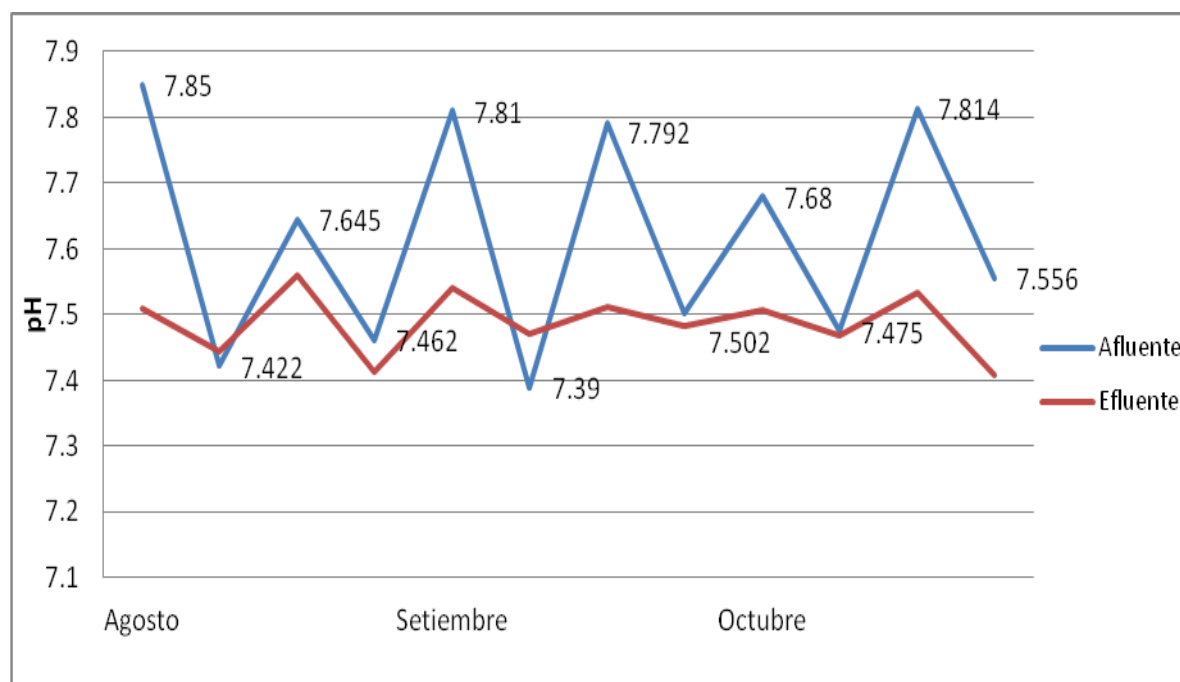


Figura 12. Variación del pH del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.

Tabla 6. Valores de la temperatura del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	Temperatura	
	Afluente	Efluente
Agosto	27,6	26,7
	27,4	26,2
	27,5	26,4
	27,6	26,4
Setiembre	27,2	26,2
	27,5	26,6
	27,4	26,4
	27,5	26,5
Octubre	27,4	26,3
	27,3	26,5
	27,6	26,2
	27,5	26,4
Promedio	27,5	26,4

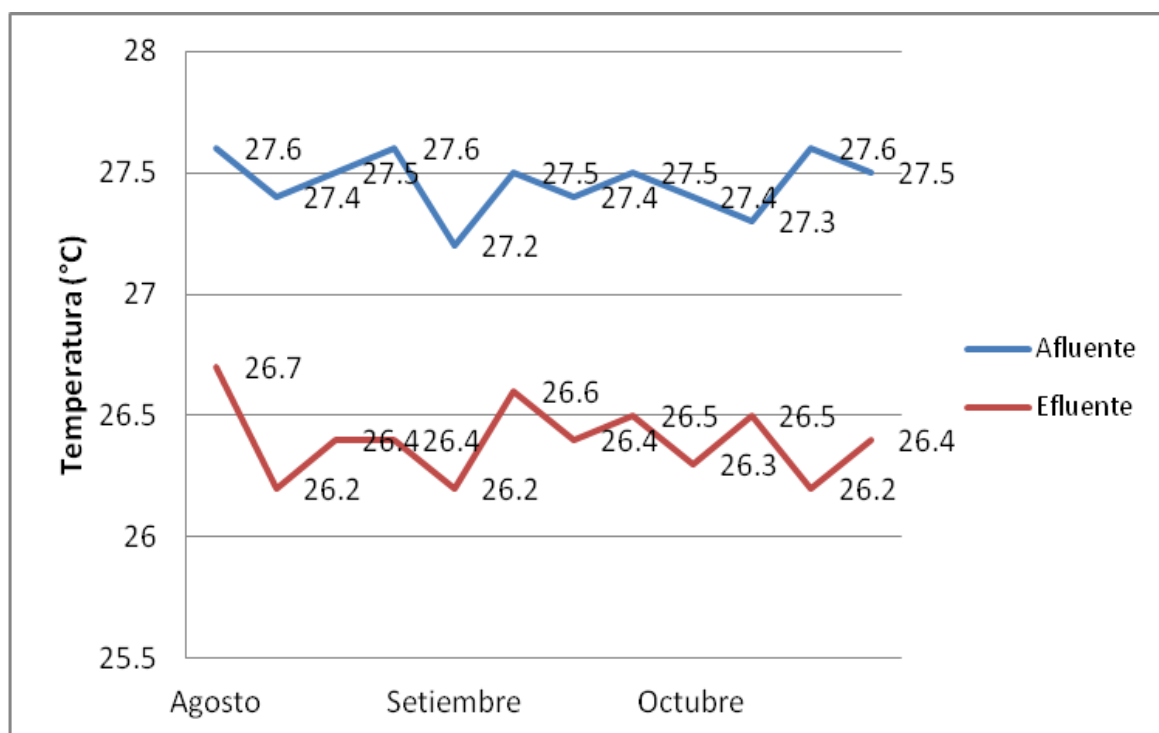


Figura 13. Variación de la temperatura del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito El Parco, 2013.

Tabla 7. Valores de la DQO del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	DQO (mg/L)	
	Afluente	Efluente
Agosto	2550	210
	2950	200
	2620	230
	2810	220
Setiembre	2790	210
	2580	210
	2860	200
	2780	240
Octubre	2530	210
	2750	230
	2910	200
	2900	210
Promedio	2750	210

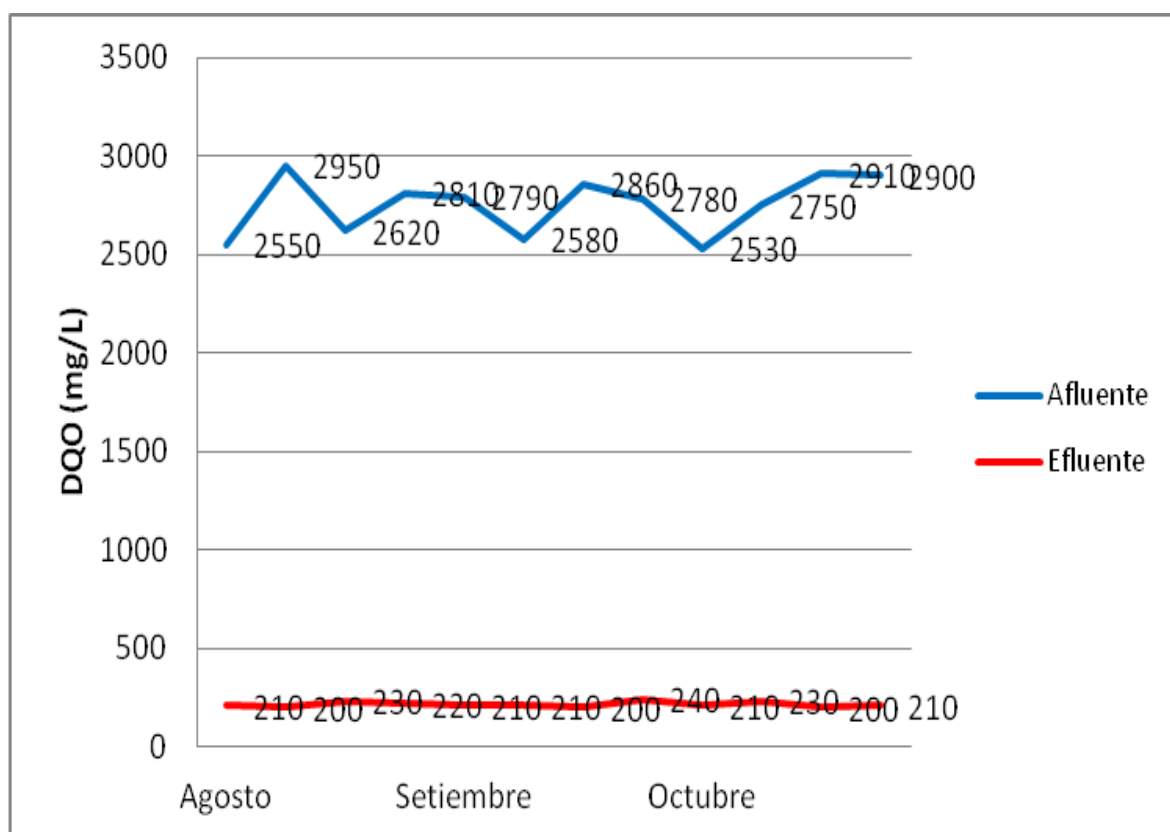


Figura 14. Variación de la DQO del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.

Tabla 8. Valores de la DBO₅ del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	DBO ₅ (mg/L)	
	Afluente	Efluente
Agosto	1380	120
	1620	110
	1540	130
	1450	120
Setiembre	1590	120
	1640	110
	1360	110
	1380	150
Octubre	1570	130
	1490	100
	1620	110
	1380	100
Promedio	1501,67	117,50

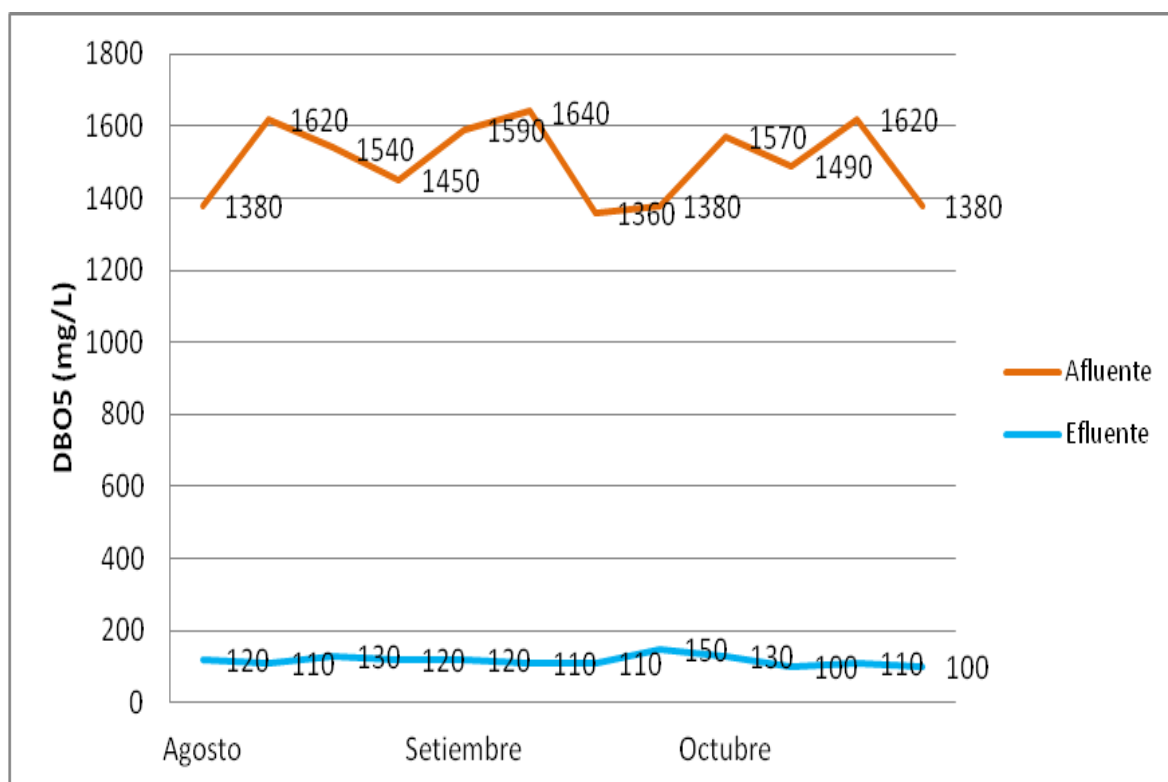


Figura 15. Variación de la DBO₅ del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.

Los sólidos totales en suspensión de las aguas residuales (Tabla 8, figura 16) fueron en promedio 44,5 mg/L en el afluente y 22,5 mg/L en el efluente. En el afluente los valores fueron 42 – 46 mg/L en agosto; 44 – 51 mg/L en setiembre y 40 – 44 mg/L en octubre. En el efluente los valores fueron 18 – 27 mg/L en agosto; 18 – 26 mg/L en setiembre y 20 – 26 mg/L en octubre.

Los aceites y grasas de las aguas residuales (Tabla 9, figura 17) fueron en promedio 13,8 mg/L en el afluente y 3,8 mg/L en el efluente. En el afluente los valores fueron 11,3 – 16,2 mg/L en agosto; 11,5 – 15,8 mg/L en setiembre y 12,6 – 13,6 mg/L en octubre. En el efluente los valores fueron de 3 – 4 mg/L en agosto; 3,1 – 4,2 mg/L en setiembre y 3,6 – 4,3 mg/L en octubre.

Los coliformes totales de las aguas residuales (Tabla 10) fueron en promedio $24,5 \times 10^{10}$ NMP/100 mL en el afluente y 22×10^6 NMP/100 mL en el efluente. En el afluente los valores fueron 17×10^{10} – 32×10^{10} NMP/100 mL en agosto; 25×10^{10} – 30×10^{10} NMP/100 mL en setiembre y 15×10^{10} – 32×10^{10} NMP/100 mL en octubre. En el efluente los valores fueron 17×10^6 – 27×10^6 NMP/100 mL en agosto; 18×10^6 – 26×10^6 NMP/100 mL en setiembre y 18×10^6 – 25×10^6 NMP/100 mL en octubre.

Los coliformes fecales en las aguas residuales (Tabla 11) fueron en promedio 16×10^{10} NMP/100 mL en el afluente y $14,5 \times 10^6$ NMP/100 mL en el efluente. En el afluente los valores fueron 12×10^{10} – 20×10^{10} NMP/100 mL en agosto; 14×10^{10} – 22×10^{10} NMP/100 mL en setiembre y 13×10^{10} – 20×10^{10} NMP/100 mL en octubre. En el efluente los valores fueron 12×10^6 – 17×10^6 NMP/100 mL en agosto; 12×10^6 – 16×10^6 NMP/100 mL en setiembre y 13×10^6 – 18×10^6 NMP/100 mL en octubre.

Tabla 9. Valores de los sólidos totales en suspensión del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	Sólidos totales en suspensión (mg/L)	
	Afluente	Efluente
Agosto	46	27
	43	18
	45	25
	42	19
Setiembre	51	20
	46	26
	48	25
	44	18
Octubre	42	20
	40	23
	43	23
	44	26
Promedio	44,5	22,5

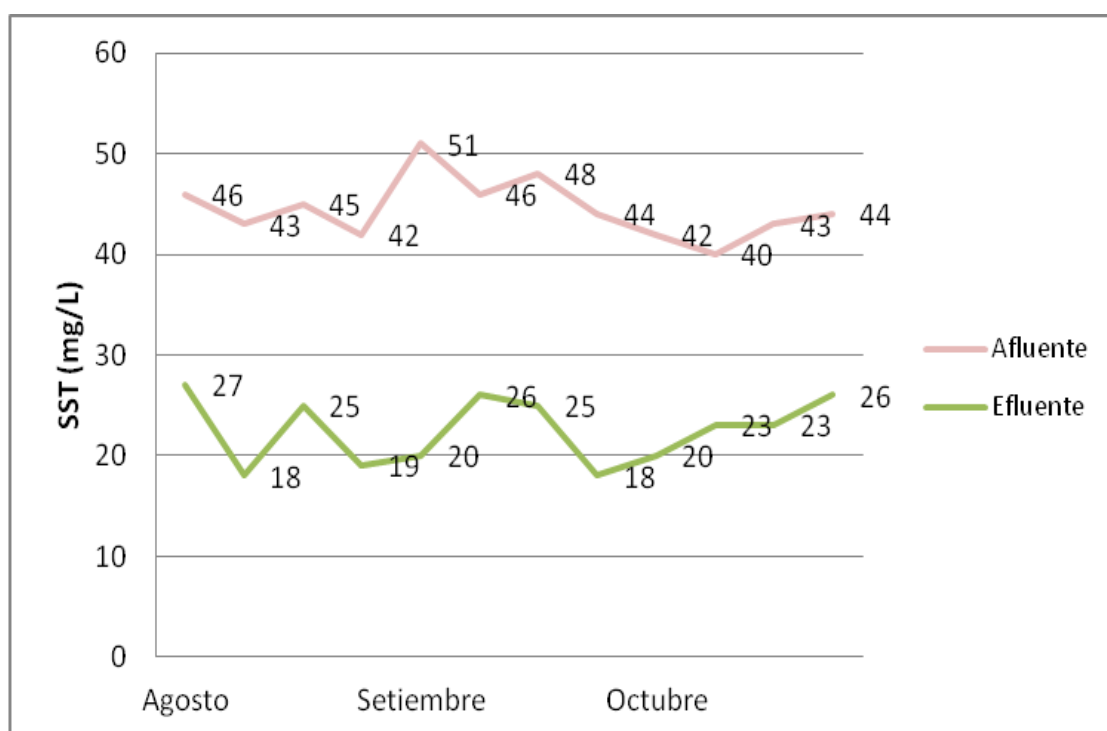


Figura 16. Variación de los sólidos totales en suspensión del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.

Tabla 10. Valores de aceites y grasas del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	Aceites y grasas (mg/L)	
	Afluente	Efluente
Agosto	11,3	4
	16,2	3,5
	16,1	3,8
	15,3	3
Setiembre	15,8	3,1
	14,2	3,7
	11,5	4,2
	12,3	4
Octubre	12,6	3,6
	13,8	4,1
	12,7	3,7
	13,6	4,3
Promedio	13,8	3,8

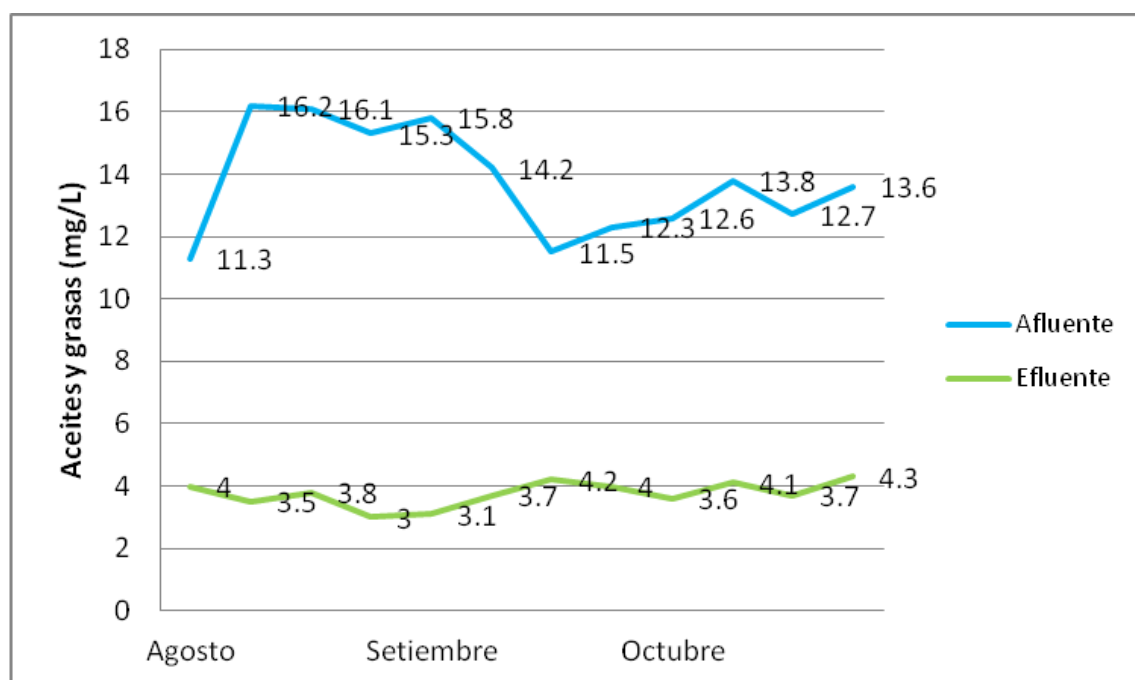


Figura 17. Variación de aceites y grasas del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013.

Tabla 11. Valores de coliformes totales del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Meses	Coliformes totales (CT/100 mL)	
	Afluente	Efluente
Agosto	32 x 10 ¹⁰	27 x 10 ⁶
	17 x 10 ¹⁰	17 x 10 ⁶
	21 x 10 ¹⁰	26 x 10 ⁶
	18 x 10 ¹⁰	22 x 10 ⁶
Setiembre	28 x 10 ¹⁰	23 x 10 ⁶
	30 x 10 ¹⁰	21 x 10 ⁶
	28 x 10 ¹⁰	26 x 10 ⁶
	25 x 10 ¹⁰	18 x 10 ⁶
Octubre	29 x 10 ¹⁰	25 x 10 ⁶
	32 x 10 ¹⁰	19 x 10 ⁶
	15 x 10 ¹⁰	22 x 10 ⁶
	19 x 10 ¹⁰	18 x 10 ⁶
Promedio	24,5 x 10¹⁰	22 x 10⁶

Tabla 12. Valores de coliformes fecales del afluente y efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco 2013

Meses	Coliformes fecales (CF/100 mL)	
	Afluente	Efluente
Agosto	20 x 10 ¹⁰	17 x 10 ⁶
	12 x 10 ¹⁰	12 x 10 ⁶
	14 x 10 ¹⁰	15 x 10 ⁶
	12 x 10 ¹⁰	12 x 10 ⁶
Setiembre	18 x 10 ¹⁰	15 x 10 ⁶
	22 x 10 ¹⁰	14 x 10 ⁶
	14 x 10 ¹⁰	16 x 10 ⁶
	15 x 10 ¹⁰	12 x 10 ⁶
Octubre	18 x 10 ¹⁰	18 x 10 ⁶
	20 x 10 ¹⁰	14 x 10 ⁶
	13 x 10 ¹⁰	16 x 10 ⁶
	14 x 10 ¹⁰	13 x 10 ⁶
Promedio	16 x 10¹⁰	14,5 x 10⁶

3.3 Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito El Parco

La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito El Parco fue de 99,99% en coliformes fecales, 92,36% en la DQO; 92,14% en la DBO₅; 72,46% en los aceites y grasas y 49,44% en los sólidos totales en suspensión (Tabla 12).

3.4 Comparación de valores de los parámetros investigados con los máximos permisibles establecidos

Los valores de los parámetros investigados: aceites y grasas, pH y sólidos totales en suspensión (Tabla 13), se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el DS N° 003-2010-MINAM para vertidos a cuerpos de agua; sin embargo, los valores de DQO (210 mg/L), DBO₅ (117,50 mg/L) y coliformes fecales ($14,5 \times 10^6$ CF/100 mL) superó los límites máximos permisibles, indicando que no se cumple con la normativa vigente

Tabla 13. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito El Parco, 2013

Parámetros	Afluente	Efluente	Eficiencia %
Coliformes fecales (CF/100mL)	16×10^{10}	$14,5 \times 10^6$	99,99
DQO (mg/L)	2750	210	92,36
DBO ₅ (mg/L)	1501	117	92,14
Aceites y grasas (mg/L)	13,8	3,8	72,46
Sólidos totales en suspensión (mg/L)	44,5	22,5	49,44

Tabla 14. Parámetros evaluados en la PTAR del distrito El Parco comparados con los límites máximos permisibles

Parámetros	Efluente PTAR El Parco	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua DS N° 003-2010-MINAM
Aceites y grasas (mg/L)	3,8	20
Coliformes fecales (CF/100 mL)	$14,5 \times 10^6$	10 000
DBO ₅ (mg/L)	117	100
DQO(mg/L)	210	200
pH	7,487	6,5 – 8,5
Sólidos totales en suspensión(mg/L)	22,5	150
Temperatura (°C)	26,4	< 35

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

El pH promedio de las aguas residuales, en el presente estudio fue 7,617 en el afluente, similar al obtenido por Brenis (2000) con 7,60; Correa (2012) con 7,3; Martínez y Guzmán (2008) con 7,16 y Botero (2012) con 7,34. El pH obtenido en el efluente fue 7,487 similar al de Correa (2012) con 7,7; Febles (2010) con 7,19; Yabroudi (2010) con 7,8; no obstante, los resultados difieren con Brenis (2000) con 8,52. El pH es un factor físico importante para potenciar la actividad de las enzimas que favorecerán la degradación de la materia orgánica de esta laguna de oxidación (Pacheco, 1993).

La temperatura es un factor que también juega un papel importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, favoreciendo la activación de las enzimas y catalizadores. En el afluente el promedio fue 27,5 °C, similar al obtenido por Correa (2012) con 26,4 °C y Febles (2010) con 28,09 °C y diferente al obtenido por Yabroudi (2010) con 32 °C. La temperatura en el efluente fue de 26,4 °C similar al obtenido por Correa (2012) con 26,8 °C y Febles (2010) con 27,65 °C y diferente al obtenido por Yabroudi (2010) y Botero (2012) con 32 °C y 31,4°C respectivamente.

La eficiencia de remoción de la DBO₅ fue de 92.14% valor cercano al obtenido por Arango (2003) con 95% y Montenegro (2012) con 90%. Este resultado se atribuye a la elevada capacidad de autodepuración de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Parco, superando de esta manera, valores reportados por Martínez y Guzmán, 2003 (52,51 – 82,07%), Chuchón, 2005 (86,2%), Febles, 2010 (89,15%) y Yabroudi, 2010 (69%).

La eficiencia de remoción de los sólidos totales en suspensión (49.44%) y de aceites y grasas (72,5%) fue mucho menor de 95%. Este resultado evidencia la permanencia de los sólidos totales en suspensión y aceites y grasas que no permiten la penetración de la luz solar dificultando la fotosíntesis y afectando negativamente la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales (Martínez y Guzmán, 2003).

La eficiencia de la remoción de coliformes fecales en la PTAR del Parco fue de 99.99%, valor que se encuentra en el rango 99,86 – 99.99% reportado por Botero (2012), Chuchón (2005) y Febles (2010) y es superior a 79,27% registrado por Martínez y

Guzmán (2008). La eficiencia de remoción fue 99.99%; sin embargo la concentración de coliformes fecales en el efluente fue de $14,5 \times 10^6$ superando el límite máximo permisible de 10×10^3 CF/100mL. Este resultado es consecuencia de la operación de una sola laguna de oxidación, puesto que la remoción de coliformes se asegura cuando mayor es la cantidad de lagunas del sistema (Martínez y Guzmán, 2003).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- En la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, PTAR del distrito El Parco, los valores de los parámetros investigados en el afluente fueron en promedio para el pH de 7,617; temperatura de 27,5 °C; DQO de 2750 mg/L; DBO₅ de 1501,67 mg/L; sólidos totales en suspensión de 44,5 mg/L; aceites y grasas de 13,8 mg/L; coliformes totales de $24,5 \times 10^{10}$ CT/100 mL y coliformes fecales de 16×10^{10} CF/100mL.
- Los valores de los parámetros investigados en el efluente fueron en promedio para el pH de 7,487; temperatura de 26,4 °C; DQO de 210 mg/L; DBO₅ de 117,50 mg/L; sólidos totales en suspensión de 22,5 mg/L; aceites y grasas de 3,8 mg/L; coliformes totales de 22×10^6 CT/100 mL y coliformes fecales de $14,5 \times 10^6$ CF/100mL
- La eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales fue de 99.99% (coliformes fecales), 92.36% (DQO), 92,14% (DBO₅); 72,46% (aceites y grasas) y 49,44% (sólidos totales en suspensión).
- El valor de los coliformes fecales, DBO₅ y DQO en el efluente de la PTAR El Parco superó los límites máximos permisibles, indicando que no se cumple con la normativa vigente.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- Implementar o mejorar el sistema de rejillas para disminuir el ingreso de objetos grandes que dificultan la biodegradación de la materia orgánica.
- Construir un desarenador o un sedimentador para disminuir los sólidos suspendidos que contribuyen al aumento de la DBO.
- Implementar una nueva laguna que funcione en paralelo para las operaciones de mantenimiento.
- Aperturar una laguna secundaria o al menos dividir la laguna ya existente para ampliar el tiempo de retención y contribuir a disminuir los patógenos.
- El efluente de la PTAR de ser evacuado a un cuerpo de agua siempre y cuando cumpla los parámetros establecidos en la normatividad vigente.
- Implementar un manual de gestión ambiental para el manejo adecuado y ordenado del área de estudio.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association, (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington: APHA, AWWA, WWCF.
- Arango, J. (2003). *Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas*. (Tesis de Maestría). Universidad de Chile, Chile.
- Barrios, C., Torres, R. y Lampoglia, C. (2009). *Guía de Orientación en Saneamiento Básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud.
- Botero, L., Zambrano, J., Oliveros, C., León, D., Sarcos, M. y Martínez, M. (2002). Calidad microbiológica del Agua de un Sistema de Lagunas de Estabilización a ser empleada en irrigación. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 19 (4), 312 - 323.
- Brenis, J. y Gonzales, C. (2000). *Eficiencia de la remoción de coliformes totales y fecales en la laguna de estabilización de San José - Lambayeque*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Camacho, A., Giles, M., Ortégón, A., Palao, M., Serrano, B y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Chuchón, S. y Aybar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La totora", Ayacucho, Perú. *Ecología Aplicada*. 7 (1 - 2), 165-171.
- Correa, G; Cuervo, H., Mejía, R. y Aguirre, N. (2007). Monitoreo del Sistema de Lagunas de Estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia. *Producción + Limpia. Colombia*, 7(2), 36 -51.
- Curtis, L. (1992). *Aspectos generales y principios básicos de los sistemas de lagunas de estabilización*. Seminario internacional. Lagunas de estabilización de Santiago de Cali, Colombia.

- Duran, Z; Arguello, H. y Collazos, C. (2009). Evaluación de un sistema de lagunas para el tratamiento y reuso de aguas residuales en el riego de hortalizas. *Revista Brasileira de Agroecología*, 4 (2), 124-136.
- Febles, J. y Hoogesteijn, A. (2010). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 14(2), 127-137.
- Fondo Nacional del Ambiente, FONAM. (2010). *Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú*. Lima, Perú.
- Hernández, C., Maida C. y Alpire A. (2010). *Estudio de los parámetros de diseño de las lagunas de estabilización para las condiciones de Santa Cruz de la Sierra*. Bolivia.
- Hidalgo, M. y Mejía, E. (2010). *Diagnóstico de la Contaminación por Aguas Residuales Domésticas, Cuenca Baja de la Quebrada La Macana, San Antonio de Prado. Municipio de Medellín*. Medellín, Colombia.
- Madera, C., Silva, J. y Peña, M. (2000). *Sistemas combinados de tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico – filtro anaerobio – humedales: una alternativa sostenible en pequeñas comunidades de países tropicales*. Colombia.
- Martínez, A. y Guzmán, N. (2003). *Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez*. (Tesis de Maestría). Guatemala.
- Ministerio del Ambiente, MINAM. (2011). *Compendio de la Legislación Ambiental Peruana. Volumen IV: Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales Renovables*. Lima, Perú.
- Montenegro, F. (2012). *Diagnóstico de la planta de tratamiento municipal de aguas residuales del distrito El Parco, Bagua – Amazonas, Perú*.
- Pacheco, V. 1993. *Control de calidad en plantas de tratamiento. Manual IX. CEPIS-OPS*. Lima, Perú.
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema. Disponible en: www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf
- Rojas, R. (2002). *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. CEPIS/OPS-OMS.

- Soler, Y. (2006). *Validación Secundaria del Método de número más probable y recuento en placa profunda para coliformes totales y fecales en muestras de alimentos basadas en la Norma ISO NTC 17025*. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Sorrequieta, A. (2004). *Aguas residuales: Reuso y tratamiento. Lagunas de estabilización: Una opción para Latinoamérica*. 30 pp. Disponible: www.fbioyf.unr.edu.arenvirtualpluginfile.php2784mod_resourcecontent02_Aguas_residuales_protegido_.pdf
- Yabroudi, S., Perruolo, T., Cárdenas, C., García, M., Gutiérrez, A., Trujillo, A., Araujo, I y Montiel, E. (2010). Remoción de microorganismos y materia orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Cabimas. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas Venezuela*, 44(3), 331-352.

NORMATIVIDAD NACIONAL

- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. Publicada el 31 de marzo de 2009.
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. Publicada el 24 de marzo de 2010.
- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Publicada el 31 de julio de 2008.
- Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Publicada el 19 de diciembre de 2009.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales. Publicada el 17 de marzo de 2010.
- Decreto Supremo N° 011-2006 - Vivienda, reglamento nacional de edificaciones. Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales

ANEXOS

Materiales para determinación de la DBO

a) Equipos y Materiales

- Botellas de incubación de 300 mL de capacidad, preferentemente con sello de agua.
- Incubadora controlada termostáticamente a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Electrodo de membrana selectiva al oxígeno, con compensación automática de temperatura y medidor apropiado.

b) Reactivos

Solución buffer de fosfato:

Disolver 8.5 g de KH_2PO_4 , 21.75 g de K_2HPO_4 , 33.4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g de NH_4Cl en 500 mL de agua destilada y diluir a 1 L. El pH debe ser 7.2.

Solución de sulfato de magnesio:

Disolver 22.5 g de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua destilada y diluir a 1L.

Solución de cloruro de calcio:

Disolver 27.5 g de cloruro de calcio (CaCl_2) en agua destilada y diluir a 1 L.

Solución de cloruro férrico:

Disolver 0.25 g de cloruro férrico (FeCl_3) $\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y diluir a 1 L.

Soluciones ácida y alcalina:

Para neutralización de muestras caústicas o ácidas se utilizan soluciones 1N.

Solución ácida: agregar 28 mL de H_2SO_4 (cc) lentamente y con agitación agua destilada y diluir a 1L.

Solución alcalina: disolver 40 g de NaOH en agua destilada y diluir a 1L.

Agua destilada, preferentemente no usar agua desionizada por la posible contaminación con materia orgánica.

Materiales para determinación de la DQO

a) Equipos y materiales

- Espectrofotómetro o colorímetro, longitud de onda 600 nm. Con adaptador de celda (tubos de digestión) de 25 mm de diámetro.
- Digestor: block de aluminio con huecos para alojar tubos de 25 mm de diámetro y que opere a $150 \pm 2^\circ\text{C}$.

- Tubos de digestión: tubos de borosilicato con tapa de rosca resistente al calor y contratapa de teflón, de 50 mL de capacidad y 25 mm de diámetro.
- Matraces aforados de 1000 mL.
- Pipetas aforadas de 1, 2, 3, 4, 5, 10 mL.
- Pipetas graduadas de 10 mL.

b) Reactivos

- Solución de digestión:

Agregar a 500 mL de agua destilada 10.216 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) previamente secado a $103^\circ C$ por 2 horas, 167 mL de H_2SO_4 conc. y 33.3 g de sulfato mercúrico ($HgSO_4$). Disolver, enfriar a temperatura ambiente y enrasar a 1000 mL.

- Solución de ácido sulfúrico:

Agregar sulfato de plata (Ag_2SO_4) a ácido sulfúrico conc. en una relación de 5.5 g/kg de H_2SO_4 . Esperar 1 o 2 días antes de usar esta solución para permitir la disolución completa del Ag_2SO_4 .

- Solución estándar de ftalato ácido de potasio (KHP), 500 mg O₂/L:

Secar ftalato ácido de potasio (KHP) hasta peso constante a $120^\circ C$. Disolver 425 mg en agua destilada y diluir a 1000 mL en matraz aforado. Conservar la solución refrigerada a $4^\circ C$.

- Agua destilada, libre de materia orgánica.

Materiales para determinación de aceites y grasas

Equipos y Materiales

- Equipo de extracción Soxhlet: matraz de extracción, embudo Soxhlet y refrigerante.
- Bomba de vacío.
- Manta eléctrica de calentamiento.
- Estufa a $103^\circ C$.
- Embudo Buchner.
- Cono de extracción.
- Papel de filtro de 11 cm de diámetro, Whatman N° 40 o equivalente.
- Piedras de ebullición.

c) Reactivos

- Ácido clorhídrico (1+1).

- Eter de petróleo con punto de ebullición entre 60°C a 70°C. El solvente utilizado no debe dejar residuos medibles en su evaporación, en este caso destilar el solvente previo a su utilización.

- Tierra de diatomeas en suspensión 10 g/L en agua destilada.

NOTA: No usar tubos o recipientes de plástico para transferir el solvente entre los distintos recipientes.

Materiales para determinación de sólidos suspendidos totales

a) Materiales

- Filtros de fibra de vidrio: Whatman 934 AH o Gelman A/E o Milipore AP 40.
- Preferentemente de 4,7 cm de diámetro.
- Equipo de filtración por vacío: embudo de membrana filtrante, preferentemente de 4,7 cm de diámetro, frasco de succión de suficiente capacidad para la muestra, trampa de agua, bomba de vacío.
- Estufa para operar a 103-105°C.
- Mufla para operar a $550 \pm 50^\circ\text{C}$.
- Desecador conteniendo un desecante con indicador coloreado de humedad.
- Balanza analítica de precisión 0.1 mg.
- Probetas.

Materiales para determinación de coliformes fecales

a) Equipos y materiales

- Balanza con una sensibilidad de por lo menos 10 mg.
- Incubadoras para $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y para $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$.
- Autoclave.
- Equipo para medir pH.
- Mecheros.
- Placas de Petri estériles de plástico descartables o de vidrio.
- Tubos de ensayo de vidrio estériles con tapa de algodón o de rosca, con campana de Durham.
- Pipetas de vidrio graduadas estériles.
- Materiales de vidrio para preparación de los medios de cultivo.
- Termómetros calibrados para controlar las incubadoras de coliformes.

b) Medios de Cultivo y diluyentes

Para la preparación del medio de cultivo utilizado en la prueba presuntiva de muestras de agua.

- 5 tubos de 22 x 175 mm con 10.0 mL de caldo lauril sulfato de sodio o caldo lactosado concentración doble o triple con campana de Durham.
- 5 tubos de 16 x 150 mm con 10.0 mL de caldo bilis verde brillante con campana de Durham.
- 5 tubos de 16 x 150 mm con 10.0 mL de caldo EC y campana de Durham o caldo EC con campana de Durham.

Fe de erratas del anexo – Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM