UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE UCHIZA"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

KIARA SATALAYA VICENTE

2015

DEDICATORIA

A mi madre Ana María; por sus enseñanzas, compresión, sabiduría, por estar siempre conmigo en las horas más duras y en los momentos más difíciles, consejera y gran amiga… ella manantial de amor infinito.

A mi hermana Karina; por su amor y amistad, a la niña de mis ojos Amira y a mi prima Kamila, para ellas he trazado este ejemplo.

A Marco Antonio Palomino y Richard Huamán; por brindarme su amistad, apoyo moral y espiritual.

A mi tía Raquel; por su cariño y apoyo en todo momento.

A mi mamita Edelmira; ejemplo de respeto y constancia.

AGRADECIMIENTO

A DIOS todo poderoso y a la Virgen María; por concederme paciencia y fortaleza necesaria para no desmayar en el intento, vencer las vicisitudes y poder alcanzar esta meta.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables; por contribuir en mi especialización profesional.

Al Ing. Ricardo Chávez Asencio, asesor del presente trabajo de investigación científica, por su aporte durante el trabajo de investigación.

A los miembros del jurado de tesis: Ing. Lévano Crisóstomo José, Ing. Bustamante Scaglioni Erle e Ing. Paredes Salazar Luis; por sus oportunas sugerencias.

A todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo durante la realización de la investigación y muy en especial a mis amigos: Alexandra, María, Judith, Llerely, Angels y Franklin.

ÍNDICE

Página

I. INTRODUCCIÓN....1

II. REVISIÓN DE LITERATURA....3

2.1. Lagunas de estabilización....3

2.1.1. Proceso anaerobio....4

2.1.2. Proceso aerobio....4

2.2. Distribución física de las lagunas....5

2.2.1. Lagunas en serie....5

2.2.2. Lagunas en paralelo....6

2.3. Tipos de lagunas....6

2.3.1. Lagunas aerobias....7

2.3.2. Lagunas anaerobias....7

2.3.3. Lagunas facultativas....8

2.3.4. Criterios de diseño de las lagunas de estabilización....8

2.4. Contaminación del agua....9

2.4.1. Parámetros legales de concentración de contaminantes....10

2.4.2. Enfermedades transmitidas por agua contaminada....10

2.5. Conceptos básicos del metabolismo de los microorganismos....12

2.6. Aguas residuales....13

2.6.1. Aguas residuales domésticas (ARD)....13

2.6.2. Composición de las aguas residuales 14

2.7. Procesos de tratamiento de las aguas residuales domesticas 16

2.7.1. Tratamiento aerobio 18

2.8. Parámetros químicos y físicos 18

2.8.1. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5) 18

2.8.2. Demanda química de oxigeno (DQO) 20

2.8.3. La relación DBO/DQO 21

2.8.4. Cloruros 22

2.8.5. Oxígeno disuelto (OD) 22

2.8.6. Nitratos 24

2.8.7. Sólidos suspendidos totales SST 24

2.8.8. Temperatura 25

2.8.9. pH 26

2.8.10. Dureza 26

2.9. Eficiencia del sistema 27

2.10. Tratamiento con humedales 28

2.10.1. Humedales 29

2.10.2. Experiencias de humedales en Perú 30

2.10.3. Tipos de humedales 31

2.10.4. Importancia de los humedales 32

2.10.5. Consideraciones de construcción 33

2.11. Medición del caudal 33

2.12. Tiempo de retención hidráulico 34

2.13. Estándares de calidad ambiental (ECA) 34

2.14. Límites máximos permisibles (LMP) 35

III. MATERIALES Y MÉTODOS 36

3.1. Descripción de la zona de trabajo 36

3.1.1. Lugar de ejecución 36

3.1.2. Características ambientales del área de estudio 36

3.2. Materiales y equipos 36

3.2.1. Materiales 36

3.2.2. Equipos 37

3.3. Metodología 37

3.3.1. Parámetros fisico quimicos del agua residual 37

3.3.1.1. Muestreo, toma y almacenamiento de muestras 37

3.3.1.2. Parámetros de estudio 38

3.3.2. Evaluación de las aguas tratadas según la disposicion de los LMP (D.S.N°003-2010-MINAN) 39

3.3.3. Evaluación de la eficiencia 39

3.3.4. Alternativa de solución 40

3.3.4.1. Medición de caudal 40

3.3.4.2. Volumen de las lagunas 41

3.3.4.2. Tiempo de retencion hidraulico.....41
IV. RESULTADOS.....42
4.1. Parámetros fisico químicos de agua residual.....42
4.1.1. Temperatura del agua residual.....42
4.1.2. pH.....43
4.1.3. Oxígeno disuelto (OD).....44
4.1.4. Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5).....45
4.1.5. Demanda química de oxigeno (DQO).....46
4.1.6. Relación DBO_5/DQO.....47
4.1.7. Nitratos.....48
4.1.8. Cloruro.....49
4.1.9. Dureza.....50
4.1.10. Solidos totales en suspensión.....51
4.2. Evaluación de las aguas tratadas según la disposicion de los LMP (D.S.N°003-2010-MINAN).....52
4.2.1. Temperatura del agua residual.....53
4.2.2. pH.....54
4.2.3. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5).....55
4.2.4. Demanda química de oxigeno (DQO).....56
4.2.5. Sólidos totales en suspensión.....57
4.3. Evaluacion de la eficiencia del sistema.....58
4.3.1. Eficiencia de DBO_5.....58
4.3.2. Eficiencia de STS.....59
4.4. Alternativas de solucion.....60

4.4.1. Caudal de entrada y salida 60
4.4.2. Volumen de las lagunas 60
4.4.3. Tiempos de retención hidráulica existentes 61
4.4.4. Construcción de humedales artificiales. 61
V. DISCUSIÓN 65
5.1. Parámetros fisico químicos del agua residual 65
5.1.1. Temperatura del agua residual 65
5.1.2. pH 65
5.1.3. Oxígeno disuelto (OD) 66
5.1.4. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5) 66
5.1.5. Demanda química de oxigeno (DQO) 67
5.1.6. Relación DBO_5/DQO 67
5.1.7. Nitratos 68
5.1.8. Cloruro 68
5.1.9. Dureza 68
5.1.10. Sólidos totales en suspensión 69
5.2. Evaluación de las aguas tratadas según la disposicion de los LMP (D.S.N°003-2010-MINAN) 69
5.2.1. Temperatura del agua residual 69
5.2.2. pH 70
5.2.3. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO) 70
5.2.4. Demanda química de oxigeno (DQO) 70
5.2.5. Sólidos totales en suspensión 70
5.3. Evaluacion de la eficiencia del sistema 71

5.4. Alternativas de solución 71
5.4.1. Tiempo de retencion hidraulico 71
5.4.2. construcción de humedales 71
VI. CONCLUSIONES 73
VII. RECOMENDACIONES 75
VIII. ABSTRACT 76
IX. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 78
ANEXO 88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Página

1. Calidad bacteriológica del agua potable. 11

2. Calidad bacteriológica del agua de consumos en San Juan y San Agustín – Lima (1995)…….... .12

3.Composición típica de las aguas residuales domésticas, Europa Occidental. 14

4. Caracterización media del agua residual doméstica 15

5. Parámetro indicativo de DBO_5.....20

6. Límites Máximos Permisibles (LMP), NC* 27-1999.....21

7. Tipos de agua residual según la relación de biodegradabilidad 22

8. Porcentaje de saturación del OD. 23

9. Interpretación de la dureza del agua. 27

10. Resumen del desempeño de 27 sistemas de humedales de Flujo Libre Superficial. 29

11. Comparación entre los sistemas FWS y SFS 32

12. Métodos para el análisis de los parámetros. 38

13. Resultado de temperatura del agua residual. 42

14. Resultado de pH del agua residual en el P1 43

15. Resultado de OD del agua residual en el P1 44

16. Resultado de DBO_5 del agua residual en el P1.....45

17. Resultado de DQO del agua residual en el P1…… 46

18. Resultado de relación de DBO5/DQO del agua residual en el P1.....47

19. Resultado de Nitratos del agua residual en el P1.....48

20. Resultado de Cloruro del agua residual en el P1 49
21. Resultado de Dureza del agua residual en el P1 50
22. Resultado de Sólidos totales del agua residual en el P1.....51
23. Resultado de temperatura del agua residual en el P2.....53
24. Resultado de pH del agua residual en el P2 54
25. Resultado de DBO del agua residual en el P2 55
26. Resultado de DQO del agua residual en el P2.....56
27. Sólidos totales en suspensión del agua residual en el P2.....57
28. Resultado de eficiencia de DBO_5.....58
29. Resultado de Eficiencia de STS.....59
30. Resultado de caudal en los dos puntos. 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Página

1. Lagunas en serie 5

2. Lagunas en paralelo 6

3. Características de la laguna de estabilización. 9

4. Probables rangos de remoción de parámetros en lagunas 28

5. Límites máximos permisibles para los afluentes de plantas de tratamiento de agua residuales domésticos y municipales.....35

6. Temperatura °C del agua residual. 43

7.pH del agua residual. 44

8. OD del agua residual. 45

9. DBO_5 del agua residual. 46

10.DQO del agua residual. 47

11.Comportamiento de la relación DBO5/DQO.....48

12.Nitratos del agua residual. 49

13.Cloruro del agua residual. 50

14.Dureza del agua residual. 51

15. Sólidos totales en suspensión.....52

16.Temperatura °C del agua residual. 53

17. pH del agua residual. 54

18.DBO_5 del agua residual. 55

19. DQO del agua residual. 56

20. Sólidos totales en suspensión.....57

21. Eficiencia de DBO_5 58

22. Eficiencia de STS 59
23. Vista panorámica de la laguna primaria anaerobia. 92
24. Vista de la descarga de la laguna primaria anaerobia a la laguna secundaria facultativa. 92
25.Descarga final a la quebrada Putante 93
26.Toma de muestra en el P1. 93
27.Toma de muestra en el P2. 94
28.Midiendo la T° en la muestra. 94
29. Obstrucción de las rejillas de la entrada de las agua de a la laguna. 95
30. Acumulación de nata en la laguna. 95

RESUMEN

Las lagunas de estabilización representan una alternativa eficiente en el tratamiento de las aguas residuales; sin embargo, su principal desventaja es la alta concentración de algas en el efluente, por lo que se hace necesario mejorar la calidad del mismo, de igual forma mejorar el funcionamiento con el paso de los años. Los objetivos propuestos fueron: Evaluar la eficiencia de las aguas residuales de las lagunas de estabilización, evaluar los parámetros físicos químicos, evaluar las aguas tratadas según la disposición de los LMP (D.S.N°003-2010-MINAN) y proponer alternativas de solución. La investigación se realizó en el distrito de Uchiza, cuyas coordenadas son Este 339378 y Norte 90675333. Políticamente localizado en la provincia Tocache, departamento San Martin. La metodología que se empleó para la tomas de muestras es la indicada por (ANDREW y CAMACHO, 2003), para la evaluación de los parámetros en el efluente fueron de la disposición del D.S.N° 003-2010-MINAN y la evaluación de la eficiencia fue mediante formula indicada por (LETTINGA, 1995). Los resultados obtenidos indican que 1) La entrada a la planta (afluente P1), mostró un comportamiento dentro de lo típico para las descargas de agua doméstica sin tratar. 2) En la descarga de la planta (efluente P2), la T° y el pH estuvieron dentro de los LMP para aguas residuales domésticas y municipales vertidas a cuerpos de agua según el D.S. N° 003-2010, mientras que la DQO se encontró por abajo con 9.14 ml a lo referido por el D.S. N° 003-2010, en el DBO5 y STS están por encima del LMP. 3) La eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO_5 fue de 20.76% y para STS fue de 23.56%, estos valores son muy bajos ya que la eficiencia optima del DBO_5 es de 70 – 80 % y

de STS es de 90 %, los resultados obtenidos determinan un mal funcionamiento del sistema de tratamiento, esto se debe al poco tiempo de retención hidráulica que hay en ambas lagunas lo que no permite que los microorganismos descompongan la materia orgánica, simplemente se forman y se proliferan. 4) Las alternativas de remediación al problema establecido tanto en alto contenido de DBO_5 Y STS que sobrepasan los LMP, y la deficiencia de DBO_5 Y STS son: Limpieza y mantenimiento de las lagunas de estabilización existentes y /o la incorporación de un sistema de humedales artificiales al agua emitida de las plantas existentes.

I. INTRODUCCIÓN

Las lagunas de estabilización representan una alternativa eficiente en el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo su principal desventaja es la alta concentración de algas en el efluente, por lo que se hace necesario mejorar la calidad del mismo para ser evacuadas a un cuerpo de agua, de igual forma mejorar y/o mantener la eficiencia con el paso de los años.

La metodología que se empleó para la tomas de muestras es la indicada por (ANDREW y CAMACHO, 2003), para la evaluación de los parámetros en el efluente fueron de la disposición del D.S.N° 003-2010-MINAN y la evaluación de la eficiencia fue mediante formula indicada por (LETTINGA, 1995).

Sobre lo indicado se plantea la siguiente interrogante; ¿Estas lagunas siguen cumpliendo con su funcionamiento y las aguas que son evacuadas cumplen con los Límites Máximos Permisibles?

Lo que genera la hipótesis: “las lagunas de estabilización del distrito de Uchiza, cumplen con la eficiencia y los límites máximos permisibles (LMP), según D.S.N° 003-2010”

En base a lo señalado en los párrafos anteriores se plantea como objetivos:

Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de las aguas residuales de las lagunas de estabilización de la Ciudad de Uchiza.

Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas.
- Evaluar las aguas tratadas, según la disposición de los LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM).
- Evaluar la eficiencia del sistema.
- Alternativas de solución.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Lagunas de estabilización

Para la disposición apropiada de las aguas residuales domesticas se puede utilizar el sistema de lagunas de estabilización, el cual constituye un sistema natural que ofrece costos mínimos de operación, por lo cual es reconocido como el más adecuado para las condiciones económicas de poblaciones de bajos recursos financieros; convirtiéndose en una de las solución al problema de salud humana. Una 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 uno a cuarenta 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, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales ulteriores e, inclusive, ser utilizadas para riego de cultivos en general.

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. La demanda bioquímica de oxígeno

(DBO) y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100cm^3) de las aguas descargadas en una laguna de estabilización, y del efluente de las mismas, son los parámetros que más se han utilizado para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento.

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 estas también se les llama de maduración. (MARSILLINI, A. 2003).

2.1.1. Proceso 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 la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto, y la laguna se torna de color gris oscuro. (LETTINGA, G. 1995).

2.1.2. Proceso aerobio

Este proceso 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 aeróbicas o

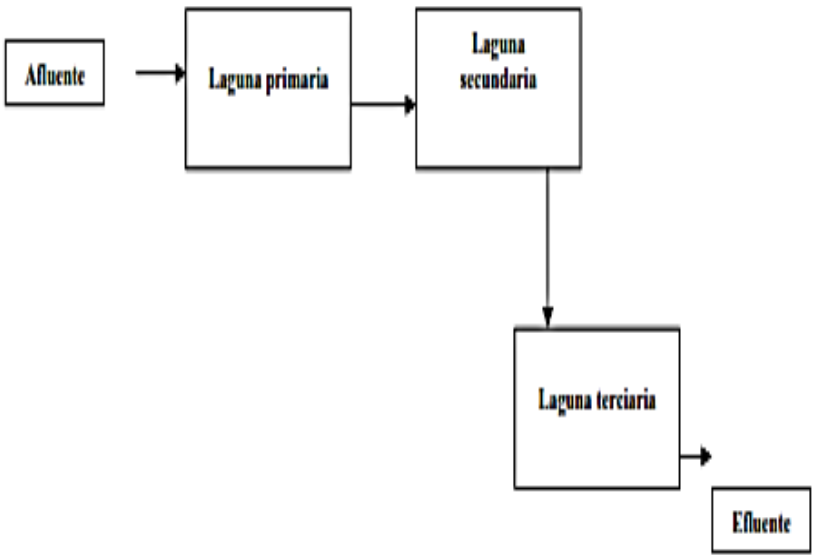
facultativas, las cuales originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a algas, éstas a su vez producen el oxígeno que facilita la actividad de las mismas bacterias. (MARSILLINI, A. 2003).

2.2. Distribución física de las lagunas

2.2.1. Lagunas en serie

Conjunto de lagunas que se suceden unas a otras y que están relacionadas entre sí (Figura 1.). La calidad bacteriológica del efluente al colocar varias lagunas facultativas en serie ofrece una gran mejoría en la estabilización de las aguas residuales.

Figura 1. Lagunas en serie

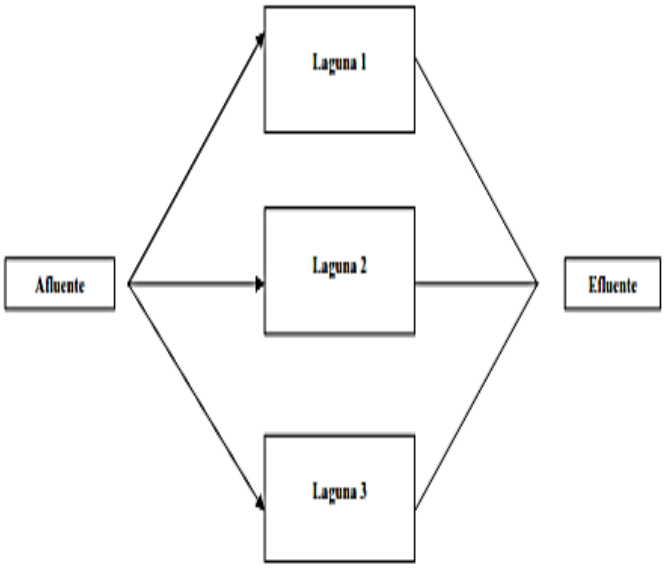


Fuente MARSILLINI, A. (2003).

2.2.2. Lagunas en paralelo

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 2. Lagunas en paralelo



Fuente MARSILLINI, A. (2003).

2.3. Tipos de lagunas

El objetivo primordial es la remoción de patógenos, 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 OD en el sistema. (VAN HAANDEL y LETTINGA, 1998).

2.3.1. Lagunas aerobias

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, cuya profundidad es reducida entre 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 la acción de organismos aeróbicos. Son utilizadas perfectamente en climas calientes y con buena radiación solar, su uso en el tratamiento de aguas residuales no es generalizado (VAN HAANDEL y LETTINGA, 1998).

2.3.2. Lagunas anaerobias

Si el oxígeno está ausente en toda la laguna se clasifica como laguna anaerobia, y es cuando la carga orgánica aumenta mucho, la demanda bioquímica de oxigeno (DBO) excede la producción de oxígeno de las algas, actuando como un digestor anaeróbico abierto. Su profundidad

oscila entre 2 a 5 m. son diseñadas para el tratamiento de residuos líquidos con un alto contenido de materia orgánica. Los productos de la descomposición son principalmente metano y dióxido de carbono, lo que hace necesario ubicarlas en zonas aisladas o despobladas. Su tiempo de retención varía entre 20 y 50 días. Generan altas cantidades de lodos. *(*LETTINGA, G. 1995).

2.3.3. Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas son las más usadas y versátiles. En general su profundidad oscila entre 1,5 a 2,5 m; el tratamiento se desarrolla por la acción de bacterias aeróbicas en la capa superior y de bacterias anaeróbicas o anoxicas en la capa inferior. Los sólidos sedimentables se depositan en el fondo de la laguna. El aporte de oxigeno se logra por fotosíntesis y por reaireación natural superficial. Las lagunas facultativas pueden funcionar como lagunas con descarga controlada. (VAN HAANDEL y LETTINGA, 1998).

2.3.4. Criterios de diseño de las lagunas de estabilización

La forme de clasificar, y por consiguiente, de diseñar lagunas de estabilización es muy variable y diferente (Figura 3).

Figura 3. Características de la laguna de estabilización.

Tipo	Afluente	Carga Orgánica	Tiempo Retención	Dimensiones	Observaciones
Aeróbica	Tratado en otros procesos previos	85 – 170 Kg.DBO/ha.d	10 – 40 d	Profundidad de 1 a 1,3 m	Producen efluente con DBO soluble bajo y SS altos
Facultativa	Agua residual cruda. Efluente primario o tratado en otro proceso previo.	22 – 67 Kg.DBO/ha.d	25 – 180 d	Profundidad de 1,5 a 2,5 m. área de 4 a 60 Ha	Las mas usadas. Para cargas mínimas puede ser predominante aerobia
Anaeróbica	Residuos industriales y de alta carga orgánica	160 – 800 Kg.DBO/ha.d	20 – 50 d	Profundidad de 2,5 a 5 m	Si no se operan y diseñan adecuadamente, hay malos olores y el efluente requiere

Fuente BONATURA. (2002).

2.4. Contaminación del agua

FRERS (2005) define que la contaminación es la introducción de cualquier contaminante o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio irreversible o no, en el medio inicial. Para que exista contaminación, la sustancia contaminante deberá estar en cantidad relativa suficiente como para provocar ese desequilibrio. En el Perú, la Ley General del Ambiente (N° 28611), en su artículo 90, establece la necesidad de realizar una gestión integrada del recurso hídrico, previniendo la afectación de la calidad ambiental.

2.4.1. Parámetros legales de concentración de contaminantes

En el caso de Perú, la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (2005), establece: a) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que regula el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presenta riesgo significativo para la salud de las personas y del ambiente. Asimismo es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental; b) Límites Máximos Permisibles (LMP); como medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un afluente o una emisión que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente (VAN HAANDEL y LETTINGA, 1998).

2.4.2. Enfermedades transmitidas por agua contaminada

FRERS (2005) indica que son enfermedades transmitidas por el agua; el cólera, fiebre tifoidea, la disentería, la poliomielitis, la meningitis y las hepatitis A y B, entre otras. Los lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas favorecen la rápida propagación de estas enfermedades debido a que las heces expuestas contienen organismos infecciosos que contaminan el agua y los alimentos. Las bacterias que más afectan la salud pública son *Vibrio cholerae,* causante del cólera y *Escherichia coli.* (Cuadro 1). REFAI (1981), indica que los Coliformes diferentes de *E. coli*

persisten en el suelo o en las superficies más tiempo; por consiguiente no indican necesariamente la contaminación producida por una fuente fecal, en el sentido de que haya habido un contacto inmediato con las heces.

Cuadro 1. Calidad bacteriológica del agua potable.

Microorganismos	Valor guía
Toda el agua bebida	
E.coli o bacterias coliformes Termorresistentes	No deben ser detectadas en muestras de 100 ml
Agua tratada que llega al sistema de distribución:	
E.coli o bacterias coliformes Termorresistentes	No deben ser detectadas en muestras de 100 ml

Fuente: GRAY (1994).

METCALF y EDDY (1998) estiman que cerca de un 3 o un 4 por 100 del total de los coliformes son *E. coli* patógenos y la concentración de coliformes totales es de 10^5 a 10^6 y de coliformes fecales es de 10^4 a 10^5. La EPA (1999), indica que 5 % que del total de coliformes son *E.coli.* Asimismo, el INS (1995), indica la calidad bacteriológica de agua de consumo en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Calidad bacteriológica del agua de consumos en San Juan y San Agustín – Lima (1995).

Zonas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Mesofilos aerobios
Áreas agrícolas	NM/100 ml	NM/100 ml	viables (UFC/ml)
San Juan	<3	<3	<1
San Agustín	<3	<3	<1

Fuente: INS (1995).

2.5. Conceptos básicos del metabolismo de los microorganismos

EI objetivo del tratamiento biológico de las aguas residuales es estabilizar la materia orgánica principalmente soluble y coloidal. En algunos casos se aplica también a la remoción de nutrientes. Los procesos biológicos se realizan principalmente por bacterias que utilizan las aguas residuales para convertir la materia orgánica coloidal o disuelta contenida en ellas en energía, nuevas Mulas y productos de desecho que pueden incluir gases y lodos. Es, importante notar que a menos que el tejido celular producido sea separado del agua, no se alcanzará el tratamiento completo ya que éste es también materia orgánica y es medido como DBO. Así, si los lodos: no son removidos, el único tratamiento que se habrá logrado es el asociado con la conversión bacteriana de la materia orgánica en energía y subproductos gaseosos.

Los microorganismos para reproducirse y funcionar adecuadamente requieren fuentes de energía, de carbono, y de elementos orgánicos (nutrientes). El dióxido de carbono (CO_2) y la materia orgánica son

la fuente de carbono rads con fin para formar nuevas células. Los organismos que utilizan la materia orgánica para generar materia celular se denominan heterótrofos, mientras que los que utilizan el CO_2 se llaman autótrofos. La energía necesaria para la síntesis celular de los organismos auffitrofos y heterótrofos puede obtenerse de la luz o de reacciones de oxidación química. Aquellos organismos que, son capaces de utilizar la luz como fuente de energía se denominan fototróficos. En contraste, los que requieren energía producida por las reacciones químicas se llaman quimiotróficos.

2.6. Aguas residuales

Las aguas residuales crudas son las aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso (MDSMA, 1995).

Los diversos tipos de aguas residuales reciben nombres descriptivos según su procedencia, siendo una de sus características típicas la presencia de sustancias consumidoras de oxígeno en comparación con el agua, por ejemplo, de un río (ALAERTS, 1995).

2.6.1. Aguas residuales domésticas (ARD)

ALAERTS (1995) menciona que en la práctica no existe una clara distinción entre las ARD y las aguas residuales municipales, aunque últimamente incluyen una cantidad desconocida de agua residual industrial. En algunas ciudades, el componente industrial excede el 50 %. Las ARD se generan a partir de distintas fuentes.

2.6.2. Composición de las aguas residuales

GIL (2005), la calidad de un rio considerado como limpio ha de presentar un DBO_5, de no más de 2 mg/l, que por las posibilidades aportaciones no debería rebasar de 4 mg/l. Asimismo indica en el cuadro 3 los rangos de composición típica de aguas residuales domésticas.

Cuadro 3. Composición típica de las aguas residuales domésticas, Europa Occidental.

Parámetros mg/l	Rango	Fracción decantable (%)
pH	7,5 – 8,5	
Solidos Suspendidos	50 - 500	50 - 60
Oxigeno	0	
DBO_5	100 - 400	20 - 30
DQO	300 - 1000	20 - 30
N- Kjeldhal	30 - 100	10
N- NH_3	15 - 70	0
P- total	5 - 30	10
Detergentes	5 - 15	0

Fuente: GIL (2005).

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico; sin embargo, vale la pena notar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados (ROMERO, 1999). Los

compuestos típicos presentes en las aguas residuales domésticas, todos los valores, salvo las excepciones que son marcadas, se expresan en mg/L (Cuadro 4)

Cuadro 4. Caracterización media del agua residual doméstica

Constituyente	Metcalf y Eddy (2004)			Romero (1999)
	Fuerte	Media	Débil	
Sólidos totales:	1230	720	390	720
Disueltos totales	860	500	270	500
Fijos	520	300	160	300
Volátiles	340	200	110	200
En suspensión totales	400	210	120	220
Fijos	85	50	25	55
Volátiles	315	160	95	165
Sólidos sedimentables, mL/L	20	10	5	10
Demanda bioquímica de oxígeno, a 5 días y a 20°C (DBO_5 a 20°C)	350	190	110	220
Carbono orgánico total (COT)	260	140	80	160
Demanda química de oxígeno (DQO)	800	430	250	500
Nitrógeno (total como N):	70	40	20	40
Orgánico	25	15	8	15
Amoniaco libre	40	25	12	25
Nitritos	0	0	0	8
Nitratos	0	0	0	0
Orgánico	4	2	1	3
Inorgánico	8	5	3	5
Cloruros	90	50	30	50

Sulfatos	50	30	20	-
Alcalinidad (como CO_3)	-	-	-	100
Grasas y aceites	100	90	50	100
Compuestos orgánicos volátiles, VOC's (µg/L)	100	90	50	-
Coliformes totales (No./100 mL)	10^7-10^{10}	10^7-10^9	10^6-10^8	-
Coliformes fecales (No./100 mL)	10^5-10^8	10^4-10^6	10^3-10^5	-

Fuente: METCALF Y EDDY, 1998 y ROMERO, 1999.

2.7. Procesos de tratamiento de las aguas residuales domesticas

DSENY (1995) menciona que desde el punto de vista del saneamiento ambiental, la necesidad del tratamiento de las aguas residuales generadas por las distintas actividades de una población o ciudad, ya que a partir de las mismas, se realizará la recarga de los acuíferos. Además el vertimiento de estas aguas residuales, dependiendo del grado de descarga, ocasiona problemas de contaminación en el suelo, las aguas subterráneas y el aire. Por ello el objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales es corregir sus características indeseables, de tal manera que su uso o disposición final pueda ocurrir de acuerdo con las reglas y criterios definidos por las autoridades legislativas. Los tratamientos incluirán la reducción de la concentración de por lo menos uno de los cinco constituyentes más importantes del agua residual:

- Sólidos en suspensión.

- Material orgánico (biodegradable).
- Nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo).
- Organismos patógenos.
- Metales pesados.

STERLING (1995) indica que los diferentes tipos de tratamientos de las aguas residuales se han desarrollado en forma sencilla y general hacia dos propósitos: 1) La captación o separación de los sólidos de acuerdo a su sedimentabilidad. 2) La estabilización biológica de los sólidos restantes. La magnitud de estos propósitos dependerá del tipo de tratamiento empleado.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas para el tratamiento de aguas residuales sin embargo, estos deberían ser seleccionados sobre la base del contexto local específico donde serán aplicados BOLLER (1997). De manera general, se puede afirmar que en los países desarrollados el número de alternativas factibles puede estar limitado debido a una regulación ambiental más estricta. De otro lado en los países en desarrollo el número de opciones puede ser más alto debido a la existencia de diversos estándares de calidad; PEÑA (1998) argumenta que todos estos factores son críticos al seleccionar preliminarmente los sistemas más adecuados para un contexto particular.

SOUZA (1997) menciona que la selección de tecnologías para la recolección y tratamiento de las aguas residuales deberá considerar, cada vez en mayor medida, alternativas que incluyan el rehúso de agua. Existen trabajos

donde se resalta el hecho de adoptar una adecuada metodología para la selección del tratamiento de agua residual, tal como los presentados por MADERA *et al.* (1998).

2.7.1. Tratamiento aerobio

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica (MO) se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto (OD). En este proceso participan bacterias aerobias o facultativas. El desdoblamiento de la MO es realizado, a través de procesos bioquímicos con la intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales (MOSCOSO y LEÓN, 1996).

Las comunidades microbianas aerobias tienen muchas ventajas específicas: tienen potenciales de energía libre altos, permitiendo que se operen una variedad de mecanismos bioquímicos paralelos. Estas comunidades son capaces de trabajar con bajos niveles de sustrato, condiciones medio ambientales variables y una multitud de químicos diferentes en el afluente (VOCHTEN *et al*., 1988).

2.8. Parámetros químicos y físicos

2.8.1. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5)

MARSILLI (2003) menciona que para medir la concentración de contaminantes orgánicos, en las aguas que resultan del uso doméstico el

parámetro más utilizado es la DBO5, y esta se define como la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos presentes en el agua o añadidos a ella para efectuar la medición en la oxidación de toda la materia orgánica presente en la muestra de agua. Su valor debe ser inferior a 8 mg/l, para ser considerada como potable. Generalmente en las aguas residuales de origen domestico este valor fluctúa entre los 200 a 300 mg/l.

METCALF y EDDY (1998) indican que el parámetro de contaminación orgánica, más ampliamente empleado, y aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es el DBO5. Los resultados de los ensayos de la DBO5, se emplea para: (1) determina la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, (2) dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; (3) medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento, y (4) controlar el cumplimiento de las limitaciones que están sujetas los vertidos.

TERENCE (2000) y GIL (2005) mencionan que la importancia de la medida de la DBO5, radica en que del análisis de la evolución de la DBO_5, se obtiene información de los parámetros cinéticos de la biodegradabilidad de la muestra, que es la base del diseño y operación de las depuradoras de aguas residuales. Según el MINAN (2008), para catalogar el agua residual como de buena calidad (A1), el DBO5 debe ser menor a 3 mg/l. FINDLATER *et al*. (1990); RIVERA *et al*. (1995), en el Cuadro 4, indican rangos del estado del agua respecto a este parámetro.

Cuadro 5. Parámetro indicativo de $DBO_{5.}$

Estado	$DBO_{5.}$ mg/l
Agua pura	0 - 20
Agua levemente contaminada	20 - 100
Agua medianamente contaminada	100 - 500
Agua muy contaminada	500 - 3000
Agua extremadamente contaminada	3000 - 15000

Fuente: FINDLATER *et al.* (1990), RIVERA *et al.* (1995)

2.8.2. Demanda química de oxigeno (DQO)

CISTERNA y PEÑA (2004) indican que la DQO, corresponde a la cantidad de oxigeno requerido para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO_2 y H_2O. EL MINAN (2008), establece un valor límite de 30 mg/l de DQO para agua que pueden ser potalizadas con tratamiento avanzado.

METCALF y EDDY (1998) reportan que el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO_5 y la DQO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas frente a los 5 días necesarios para determinar DBO_5.

GIL (2005) menciona que las aguas residuales urbanas brutas presentan una DQO que oscila entre 150 y 1000 mg/l, mientras que las aguas residuales depuradas no deberían superar los 100 mg/l. En España, según SEOANEZ (1995), la composición normal de las aguas residuales urbanas presenta una concentración entre 250 – 1000 mg/l. GONZALES (1998) indica un LMP de 90 mg/l en Cuba en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Límites Máximos Permisibles (LMP), NC* 27-1999.

PARAMETROS	UNIDADES	LMP	ACLARACIONES
pH	-	06-09	Para residual crudo pH 7.0
T°	°C	40	-
Grasas y aceites	mg/l	10	Para residual crudo 20 mg/l
Materia flotante	mg/l	Ausente	-
SST	mg/l	1	Solidos sediméntales totales
DBO_5	mg/l	40	Demanda Bioquímica de Oxigeno
DQO	mg/l	90	Demanda química de Oxigeno
Nitrógeno total	mg/l	10	Nutrientes
Fosforo total	mg/l	4	Nutriente
Coliformes totales	NMP/100 ml	5000	Número más probables de coliformes
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	Indicadores bacteriológicos

Fuente: GONZALES (1998)

2.8.3. La relación DBO/DQO

Indica la biodegradabilidad de las aguas residuales, en el Cuadro 7 se muestra la clasificación del tipo de aguas según la DBO/DQO.

Cuadro 7. Tipos de agua residual según la relación de biodegradabilidad

Tipo de Agua Residual	DBO/DQO
Cruda	0.3 a 0.8
Después de sedimentación primaria	0.4 a 0.6
Efluente final	0.1 a 0.3

Fuente: MECALF Y EDDY, 2004

Si la relación es de 0.5 o más significa que es fácilmente biodegradable mientras que si es 0.3 o menor no es fácilmente biodegradable e incluso podría presentar sustancias tóxicas (METCALF, 2004).

2.8.4. Cloruros

BONATURA (2002) menciona que los contenidos en cloruros de las aguas naturales no suelen sobrepasar los 50 – 60 mg/l. el contenido en cloruros no suelen plantear problemas de potabilidad a las aguas de consumo. La reglamentación técnica sanitaria española establece como valor orientador de calidad 250 mg/l de Cl y, como límite máximo tolerable 350 mg/l de Cl, ya que no representan en un agua de consumo humano más inconveniente que el gusto desagradable del agua. BOLAÑOS *et al.* (2001), sostiene que la máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias.

2.8.5. Oxígeno disuelto (OD)

Según el CEPIS (2004), la presencia de oxígeno disuelto es esencial en el agua; proviene principalmente del aire, los niveles bajos o

ausencia de oxígeno en el agua, puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación. METCALF y EDDY (1998) refiere que en el OD es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida, dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto. CIESE (2008) manifiesta que generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad Cuadro 7. Para la OMS (1993), una concentración de oxígeno disuelto de más de 80% de saturación es suficiente para obtener aguas oxigenadas. El MINAN (2008) sostiene que para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable para concentraciones mayores de o iguales de 4 mg/l, pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Cuadro 8. Porcentaje de saturación del OD.

Nivel de OD (ppm)	Calidad de agua
0,0 – 4,0	Mala (Algunas poblaciones de peces bajan)
4,1 – 7,9	Aceptable
8,0 – 12,0	Buena
12,0 +	Repita la prueba

Fuente: CIESE (2008).

2.8.6. Nitratos

ECOAGUA (2001) sostiene que amplios datos epidemiológicos respaldan el valor pauta actual de 10 mg/l para el nitrato-nitrógeno propuesto tanto por la OMS como por la EPA, estableciendo este mismo valor como Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMC). Cualquier valor superior a 80 mg/l puede ser toxico. Debe ser controlado en el agua potable principalmente porque niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia, o “la enfermedad de los bebes azules”. El MINAN (2008), establece un ECA para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable de 10 mg/l N, con tratamientos convencionales o avanzados; GRAY (1994) menciona que hay dos orígenes principales de la contaminación por nitratos en los recursos de agua. El nitrato se libera cuando la materia orgánica se descompone por las bacterias del suelo. Los agricultores añaden directamente el nitrógeno inorgánico a los campos en forma de fertilizantes artificiales. En la Directiva de Comunidad Europea sobre agua potable, el nitrato está catalogado junto con las sustancias no toxicas y especifica una Concentración Máxima Admisible (MAC) para los nitratos de 50 mg/l. LENNTECH (1998) menciona que en la directrices de la OMS, establecidas en Génova 1993 para Estándares Europeos de la calidad de agua, se contempla un valor de 50 mg/l de nitrógeno total, sobre todo con fines de salud.

2.8.7. Sólidos suspendidos totales SST

RODIER (1981) menciona que los sólidos se clasifican de diferentes formas, tanto volátiles y fijos, como suspendidos y disueltos y en

general se miden para evaluar el reúso potencial del agua residual y para determinar las operaciones unitarias y los procesos más óptimos para su tratamiento.

Específicamente los sólidos suspendidos es uno de los dos estándares universales usados en la evaluación de afluentes (junto con la DBO_5) y señalan la necesidad de filtrar el efluente antes de su reúso. En general se asume que los sólidos volátiles representan materia orgánica y los sólidos fijos son el residuo inorgánico. La relación volátiles/fijos se usa para caracterizar el agua residual respecto a la cantidad de materia orgánica presente.

2.8.8. Temperatura

RODIER (1981) refiere que la temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos sistemas de tratamientos de agua residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. La temperatura en el agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía entre 7 a 18ºC, mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30ºC.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la

vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento de la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existen en un cuerpo de agua receptor. Además, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35ºC. Los procesos de digestión aeróbica y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores del orden de los 50ºC. Cuando la temperatura se acerca a los 15ºC, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y alrededor de los 5ºC, las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de actuar. Cuando la Temperatura es de 2ºC, se alcanza la inactivación de bacterias quimioheterotroficas que actúan sobre la materia orgánica carbonacea.

2.8.9. pH

El pH es la medida de la acidez o la basicidad del agua residual. El rango de pH que permite la actividad biológica en el agua residual es típicamente de 6 a 9 (METCALF y EDDY, 2004); Un dato que muchos autores suelen no reportar es el pH de las aguas residuales el cual según MADERA, SILVA y PEÑA (2011) suele encontrarse entre 6.4 y 7.1.

2.8.10. Dureza

SEOANEZ (1995) indica que la dureza o grado hidrométrico de un agua corresponde a la suma de las concentraciones de los cationes metálicos.

En la mayoría de los casos, la dureza se debe principalmente a los iones calcio, magnesio y estroncio. Asimismo, ASTM (1994), menciona que, en química, el agua dura es aquella que posee una dureza superior a 120 mg$CaCO_3$/l, coincidiendo con lo indicado por GRAY (1994), en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Interpretación de la dureza del agua.

Dureza (mg Ca CO_3/l)	Interpretación
0 - 75	Agua suave
75-150	Agua poca o dura
150-300	Agua dura
300	Agua muy dura

Fuente: GRAY (1994).

2.9. Eficiencia del sistema

La eficiencia del proceso se calcula según la ecuación 1:

$$E = \left\{ \frac{So - S}{So} \right\} X\ 100 \ldots \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

E = Eficiencia del proceso (%)

So = Concentración del sustrato en el afluente (mg/l)

S = Concentración del sustrato en el efluente (mg/l)

Figura 4. Probables rangos de remoción de parámetros en lagunas

Item	Tiempo de detención	Remoción esperada
DBO		50 - 90%
DBO (laguna facultativa)	50 - 60 días	70 - 80%
Bacterias coliformes (laguna facultativa)	50 - 60 días	90 - 95%
Sólidos en suspensión	Después de 3 días	90%
Sólidos disueltos	Después de 10 días	80%

Fuente LETTINGA (1995).

2.10. Tratamiento con humedales

LARA (1999) indica que en cuanto al rendimiento de los humedales, estos tratan con eficiencia niveles altos de DB05, SS y Nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es mínima en estos sistemas, dada las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo. Similar apreciación es la descrita por ERAZO y CARDENAS (2000), en el Cuadro 10. Asimismo, VILLARROEL (2000) en su trabajo referido a un tratamiento terciario de un efluente con humedales construidos de flujo superficial, indica que se lograron altos

rendimientos de remoción: 92,49% de DB05, 83,33% de SST, 99,999% de coliformes fecales, 99,998% de coliformes totales y 76,52% de cromo total.

Cuadro 10. Resumen del desempeño de 27 sistemas de humedales de Flujo Libre Superficial.

Constituyente	Promedio del afluente mg/l	Promedio del efluente mg/l
DBO5	70	15
SST	69	15
Nitrógeno como NO3	3	1
Coliformes fecales (m.o/100 ml)	73000	1320
Fosforo total	4	2

Fuente: EPA (2000)

2.10.1. Humedales

LARA (1999) sostiene que estos son áreas que se encuentran saturadas por .aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales que permitan mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 0,60 m. Con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno en la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. Concuerda con este concepto VILLAROEL (2000),

quién indica que en su superficie se desarrolla una vegetación adaptada a esta condición y en la cual quedan excluidas especies vegetales intolerantes a largos periodos de inundación.

LLAGAS y GUADALUPE (2006) indican que los humedales, confieren un elevado potencial auto depurador, siendo las profundidades típicas. Menores a 0,60 m. con una pendiente entre 0,5 a 1%, donde crecen plantas como juncos, totoras, lenteja de agua que contribuyen a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación.

2.10.2. Experiencias de humedales en Perú

En el Perú, VILLARROEL (2000) menciona que dentro de los humedales construidos tenemos: a) el construido en el año 2001 en el Fundo Oquendo-Callao para tratar aguas residuales, cuya agua tratada se utiliza para riego agrícola; b) según Miglio (2000), citado por VILLARROEL (2000), en la Universidad Nacional Agraria La Molina, se construyen pantanos artificiales' para la depuración de aguas residuales domésticas, el sistema opera con un caudal promedio de 0,45 l/s y como vegetación usa los *Phragmites australis* (carrizo). También indica que existe una planta de tratamiento de aguas residuales "El Cortijo", ubicado en la ciudad de Trujillo, para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial.

LLAGAS y GUADALUPE (2006) proponen un diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la

Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). y en la región Ancash, LOVERA *et al*. (2003) plantean, ejecutan y evalúan el proyecto denominado adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, usando tecnologías de humedales artificiales.

2.10.3. Tipos de humedales

LARA (1999) indica la existencia de dos tipos de sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales: Sistema a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS). En el caso de los sistemas FWS, normalmente se les aplica agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de tallos y raíces de la vegetación emergente.

Al respecto, VILLAROEL (2000) sostiene que los humedales FWS son probablemente los más comunes en las aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales, tanto en USA como en Canadá. Asimismo, muestra la descripción de dos tipos de humedales similares a los anteriores: a) Sistema de agua superficial libre (SASL), que soporta la vegetación emergente y agua en una profundidad relativamente baja (0,1 a 0,6 m) y b) Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS) que se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal.

Cuadro 11. Comparación entre los sistemas FWS y SFS

Humedales de superficie libre (FWS)	Humedales subsuperficiales (SFS)
Superficie libre de agua	Lecho vegetal sumergido
Flujo de Circulación del agua en lámina medio libre sobre un lecho en el que enraízan los vegetales del humedal	Flujo sumergido, a través de un granular.
Son más frecuentes (en USA el 70%)	Son menos frecuentes (en USA 20%)
Menor costo de instalación	Tratamiento más eficaz
Hidráulica sencilla	Necesitan poco espacio
Tienen gran parte de las propiedades de oculto los humedales naturales.	Flujo oculto, Sin olores
Favorecen la vida animal	Soportan bien temperaturas bajas
Las bajas temperaturas provocan descensos en el rendimiento	Algo más caro que los FWS
	Pocos problemas con la fauna.

Fuente: SEOANEZ (1999).

2.10.4. Importancia de los humedales

Dugan (1992), citado por ÑIQUE (2000) sostiene que dentro de las importantes funciones de los humedales se incluye el almacenaje de agua, la carga y recarga del acuífero, protección contra tormentas, mitigación de flujos, estabilización de la línea de marea, control de la erosión, la retención de carbón, nutrientes, sedimentos y contaminantes. Asimismo, sostiene que

los humedales además producen beneficios que tienen significativos valores económicos tal como mejora de la calidad de agua.

2.10.5. Consideraciones de construcción

LARA (1999) una relación largo ancho < 3: 1, suele ser la mejor selección desde el punto de vista costo eficiencia, considerando básicamente lo siguiente: a) La impermeabilización de la capa subsuperficial del terreno, que se requiere en los dos tipos de humedales, para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea; b) la selección y colocación del medio granular para el caso de los SFS, es crítico para el éxito del sistema, puede usarse roca triturada y seca, pero se recomienda la utilización de piedra lavada o grava; e) el establecimiento de la vegetación en los dos tipos de humedales, es de vital importancia y con la densidad apropiada. Asimismo, se indica que las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos y juncos, siendo los carrizos (*P. australis*), una de las especies más utilizadas en depuración de aguas residuales y; d) por último las estructuras de entrada y salida, que los dos tipos requieren condiciones de flujos uniformes para alcanzar los rendimientos esperados.

2.11. Medición del caudal

HUDSON (1997) propone métodos: a) Métodos volumétricos: Es la forma más sencilla de calcular los caudales pequeños y es la medición directa

del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronometro. b) Métodos velocidad/superficie: Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula: Caudal (m3/s) = Área (m2) x Volumen (m/s). la unidad métrica es m3/s es una unidad grande, las corrientes menores se miden en litros por segundo (l/s), una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida (KYELI, 2000).

2.12. Tiempo de retención hidráulico

Tiempo de Retención Hidráulico: Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema.

$$TRH\ (s) = V\ (m^3) / Q\ m^3/s \ldots \text{Ecuación (2)}$$

2.13. Estándares de calidad ambiental (ECA)

Según el MINAM (2008), los estándares de calidad ambiental tienen 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.

2.14. Límites máximos permisibles (LMP)

Según el MINAM (2010), el límite máximo permisible es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades que generan contaminación, y que al ser excedidas por estas, causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Figura 5. Límites máximos permisibles para los afluentes de plantas de tratamiento de agua residuales domésticos y municipales.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio.

3.1.1. Lugar de ejecución

Las lagunas de estabilización se encuentran en el distrito Uchiza, provincia Tocache, departamento San Martin; siendo las coordenadas UTM. Este (339378); Norte (9067533) y una altitud de 522 msnm. Las aguas residuales se analizaron en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Anexo 1).

3.1.2. Características ambientales del área de estudio

El área de estudio presentó una temperatura promedio anual de 25 ºC, tiene una humedad relativa de 86%, clima cálido húmedo, precipitación pluvial anual de 223 mm/mes (2,676 mm/año).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Frascos de PV de 100 ml, termómetro, balde, cronómetro, pH-metro, etiquetas de codificación.

3.2.2. Equipos

Cámara fotográfica

GPS

3.3. Metodología

3.3.1. Parámetros físico químicos del agua residual.

3.3.1.1. Muestreo, toma y almacenamiento de las muestras

El muestreo para la caracterización de las aguas residuales fue de tipo compuesto, se tomaron muestras a las 7:00 am. ,12:00 pm. y 7:00 pm., con una frecuencia de una vez por mes, durante los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre y Enero de los años 2014 – 2015.

La toma de muestras se realizó en frascos de vidrio esterilizados, de boca ancha con capacidad de 1 litro, debidamente desinfectadas y rotuladas. Se tomaron una muestra por cada punto de muestreo, se destapó el frasco, con las precauciones necesarias, enjuagándose con agua del mismo punto y enseguida se sumergió rápidamente a 20 cm de profundidad, dirigiéndose la boca del frasco en sentido contrario a la corriente natural y en forma horizontal; APHA (1998), etiquetándolo y acondicionándolo adecuadamente para su traslado al laboratorio para los análisis respectivos (ANDREW y CAMACHO, 2003).

3.3.1.2. Parámetros de estudio

En el laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva se determinó los parámetros químicos – físicos: DBO_5, DQO, Oxígeno disuelto (OD), Nitratos, Cloruros, Dureza y Solidos Totales Suspendidos (STS). Los parámetros de pH, Temperatura del agua y Temperatura del ambiente *in situ.*

Cuadro 12. Métodos para el análisis de los parámetros.

Análisis	Parámetros	Método
Físicos - químicos	DBO_5	Oxímetro-Winkler
	DQO	Oxímetro-Winkler
	Oxígeno disuelto	Oxímetro-Winkler
	Nitratos	APHA-4500 NO_3
	Cloruros	APHA-4500 Cl
	Dureza	EDTA
	pH	pH-metro
	Temperatura del agua	Termómetro °C
	STS	APHA-2540 D

Fuente: OMS (1995) y propia.

3.3.2. Evaluación de las aguas tratadas, según la disposición de los LMP (D.S.N°003-2010-MINAN).

Para la evaluación de las aguas tratadas, es decir el efluente, los valores encontrados han sido comparados con los Límites máximos permisibles vertido a cuerpo de agua. Se utilizó el D.S.N° 003-2010-MINAN.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

3.3.3. Evaluación de la eficiencia del sistema.

Mediante formula, con los datos obtenidos en la evaluación se podrá fácilmente hallar el porcentaje de eficiencia para DBO_5 Y STS en la planta de tratamiento.

La eficiencia del proceso se realizara mediante la siguiente formula.

$$E= \left\{ \frac{So - S}{So} \right\} X\ 100$$

Dónde:

E = Eficiencia del proceso (%)

So = Concentración del sustrato en el afluente (mg/l)

S = Concentración del sustrato en el efluente (mg/l)

3.3.4. Alternativa de solución

Para poder realizar una alternativa de solución, fue necesario evaluar el caudal de entrada y salida, volumen de las lagunas y tiempo de retención hidráulico; con lo cual dio pie a definir una propuesta para la poca eficiencia de la planta de tratamiento.

3.3.4.1. Medición de caudal

Método se empleó porque presentaba caudales muy pequeños. El método requiere de:

- Depósito (balde) de volumen conocido en el cual se colecta el agua.
- Cronómetro para medir el tiempo de llenado del depósito.
- Repetir 2 ó 3 veces el procedimiento y promediar para asegurar mayor exactitud.

El procedimiento de cálculo consiste en dividir el volumen de agua recogido en el depósito por el tiempo (en segundos) que demoró en llenarse. El resultado expresa el caudal medido en litros por segundo.

$$Q = V / T$$

Q : Caudal m3 /s

V : Volumen en m3

T : Tiempo en segundos

3.3.4.2. Volumen de las lagunas

Volumen de las lagunas primarias y facultativas, fueron evaluadas mediante la fórmula de:

$$V_{M3} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad}$$

3.3.4.3. Tiempo de retención hidráulico

Tiempo de Retención Hidráulico: Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema. Se halla obteniendo primero los datos de volumen de la laguna y su caudal.

$$TRH\ (s) = V\ (m3) / Q\ m3/s$$

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros físico químicos del agua residual.

Realizadas en el P1, lagunas primarias anaerobias (afluente), fueron tomadas en horarios de 7:00 am, 12:00pm, 7:00 pm, durante 5 meses correlativos los siguientes parámetros: T°, pH, OD, DBO_5, DQO, DBO_5/DQO, Nitratos, Cloruro, Dureza, STS.

4.1.1. Temperatura del agua residual

Cuadro 13. Resultado de temperatura del agua residual.

Meses de evaluación	Temperatura °C
	Punto 1
Septiembre	29.33
Octubre	29.66
Noviembre	30
Diciembre	31
Enero	30
Promedio	29.99

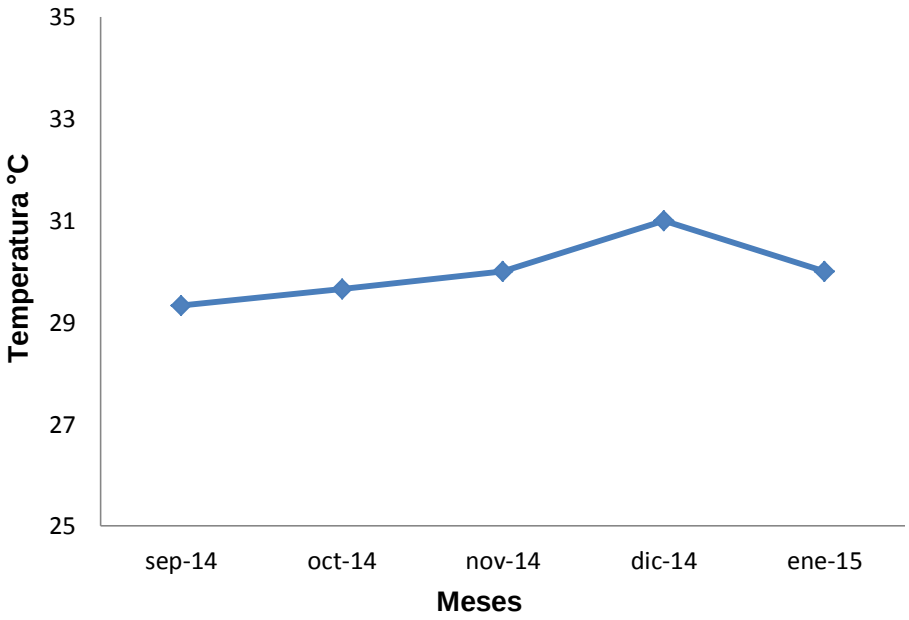


Figura 6. Temperatura °C del agua residual.

4.1.2. pH

Cuadro 14. Resultado de pH del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	pH
	Punto 1
Septiembre	6.63
Octubre	6.5
Noviembre	6.00
Diciembre	6.67
Enero	6.66
Promedio	6.49

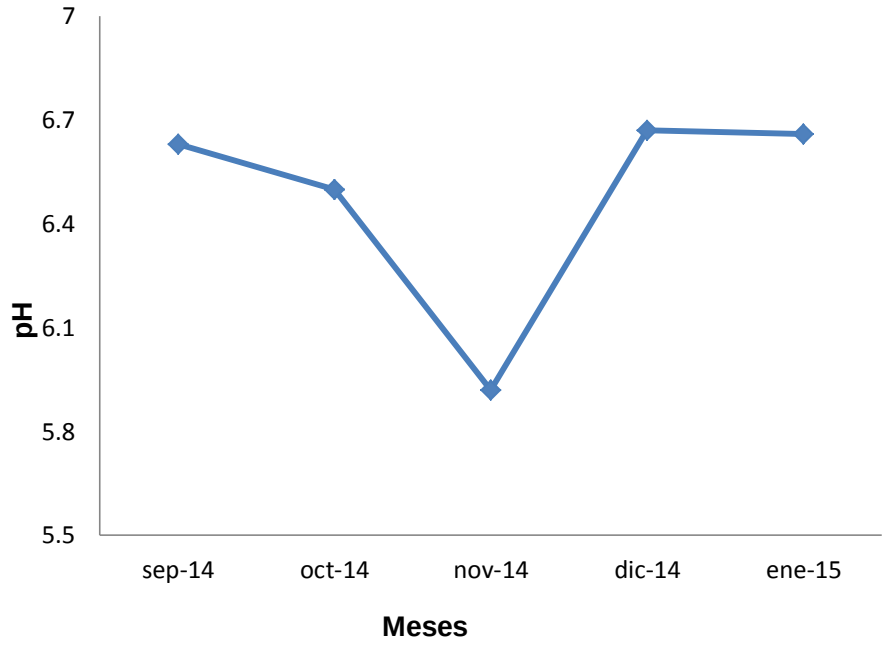


Figura 7. pH del agua residual.

4.1.3. Oxígeno disuelto (OD)

Cuadro 15. Resultado de OD del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	Oxígeno Disuelto (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	3.59
Octubre	3.47
Noviembre	2.73
Diciembre	4.16
Enero	4.13
Promedio	3.61

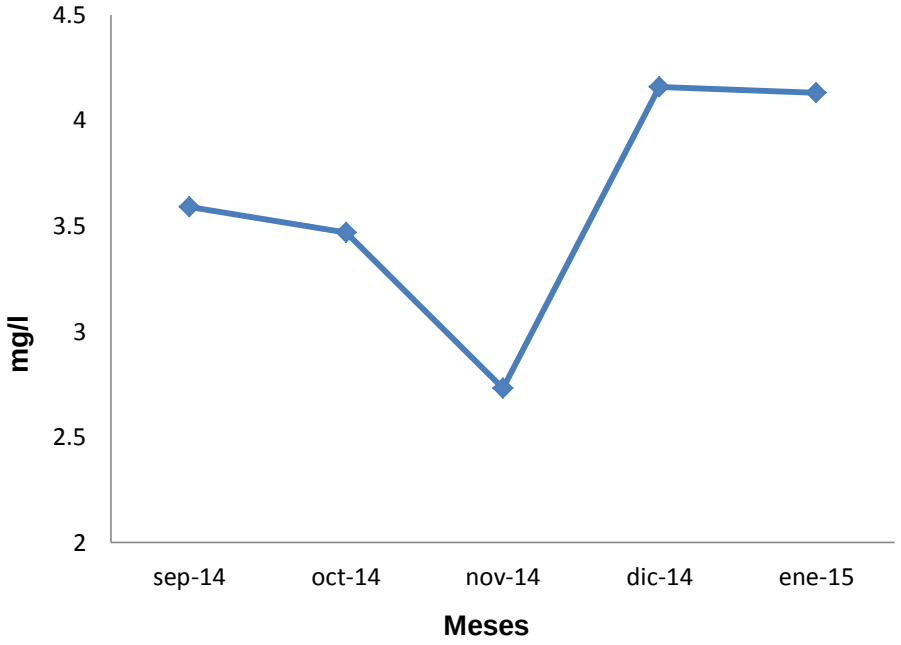


Figura 8. OD del agua residual.

4.1.4. Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5).

Cuadro 16. Resultado de DBO5 del agua residual en el P1

Meses de evaluación	Demanda Bioquímica de Oxigeno (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	95
Octubre	102.33
Noviembre	96
Diciembre	102.66
Enero	101.66
Promedio	99.53

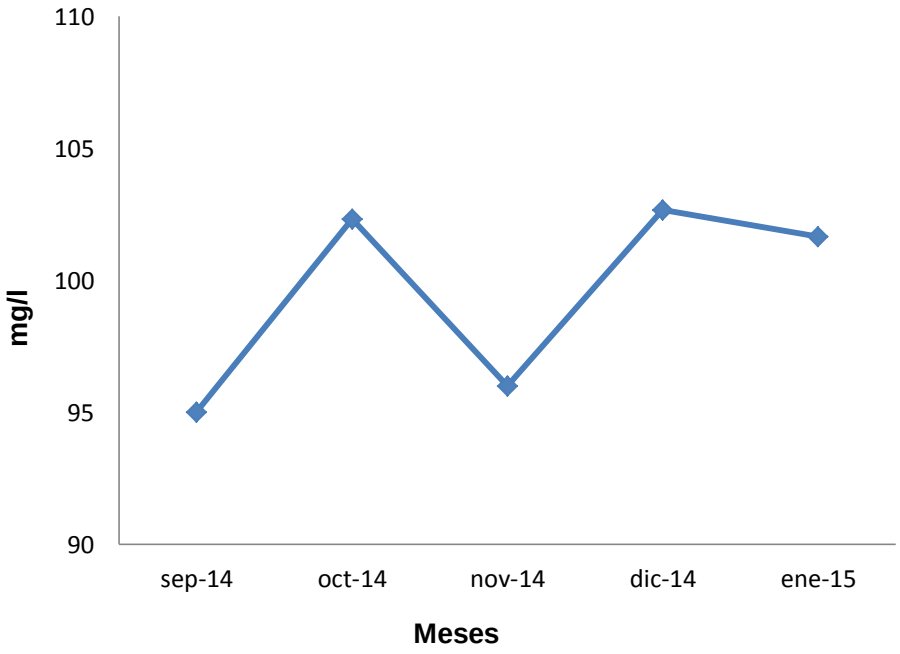


Figura 9. DBO_5 del agua residual.

4.1.5. Demanda química de oxigeno (DQO)

Cuadro 17. Resultado de DQO del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	Demanda Química de Oxigeno (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	172.33
Octubre	196
Noviembre	180.33
Diciembre	200.33
Enero	192.33
Promedio	188.26

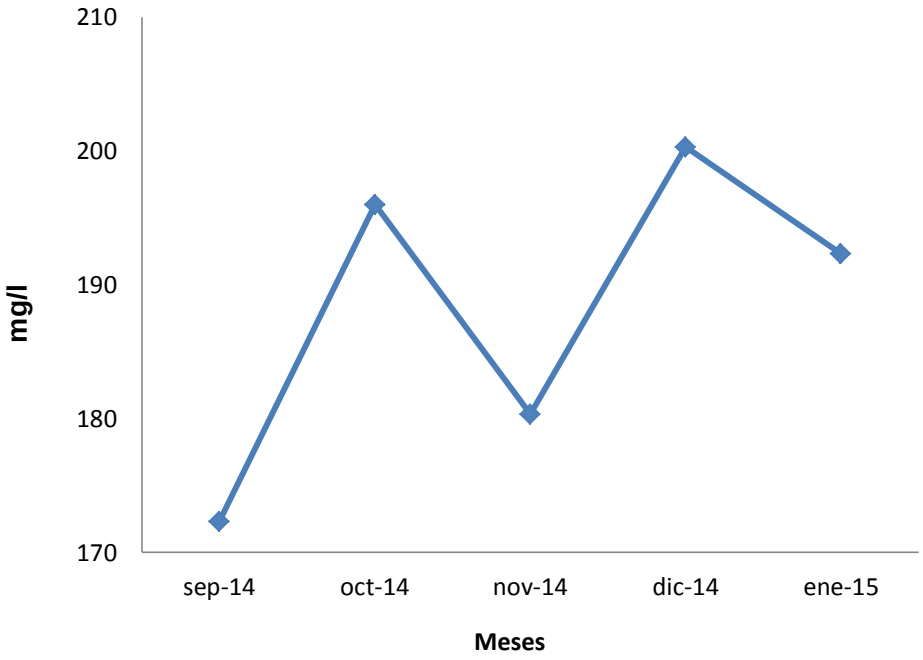


Figura 10. DQO del agua residual.

4.1.6. Relación DBO5/DQO

Cuadro 18. Resultado de relación de DBO5/DQO del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	Relación DBO_5/DQO
	Punto 1
Septiembre	0.55
Octubre	0.52
Noviembre	0.53
Diciembre	0.51
Enero	0.53
Promedio	0.52

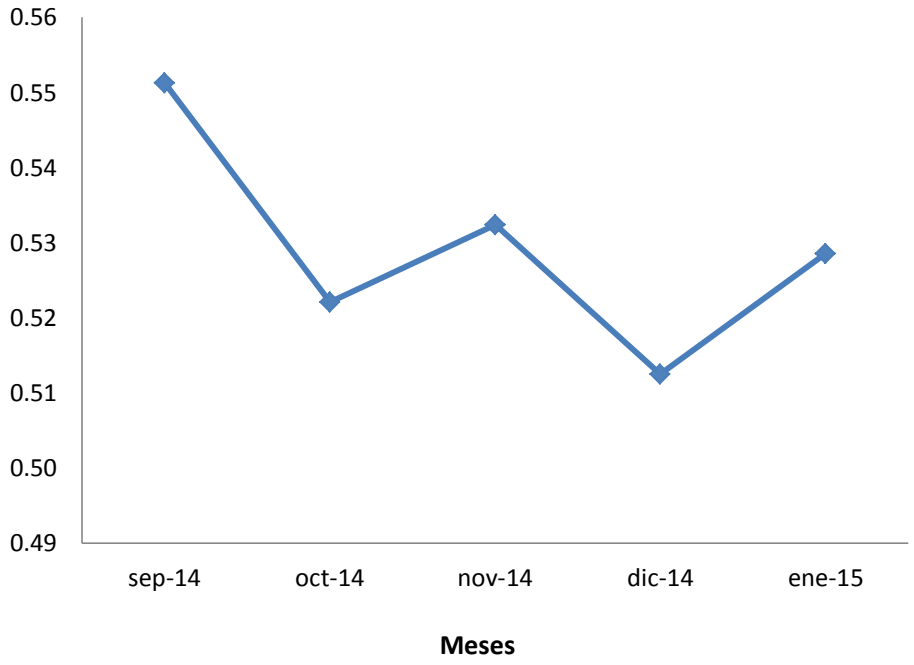


Figura 11. Comportamiento de la relación DBO5/DQO.

4.1.7. Nitratos

Cuadro 19. Resultado de Nitratos del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	Nitrato (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	17.66
Octubre	18.66
Noviembre	15
Diciembre	21
Enero	19.33
Promedio	18.33

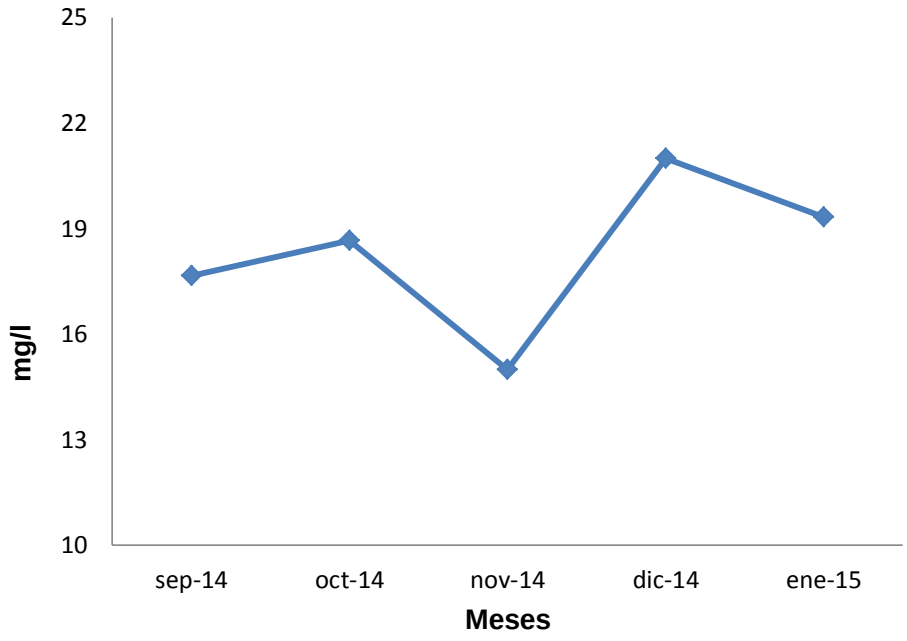


Figura 12. Nitratos del agua residual.

4.1.8. Cloruro

Cuadro 20. Resultado de Cloruro del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	Cloruro (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	52
Octubre	58.66
Noviembre	58
Diciembre	72.66
Enero	72.66
Promedio	62.79

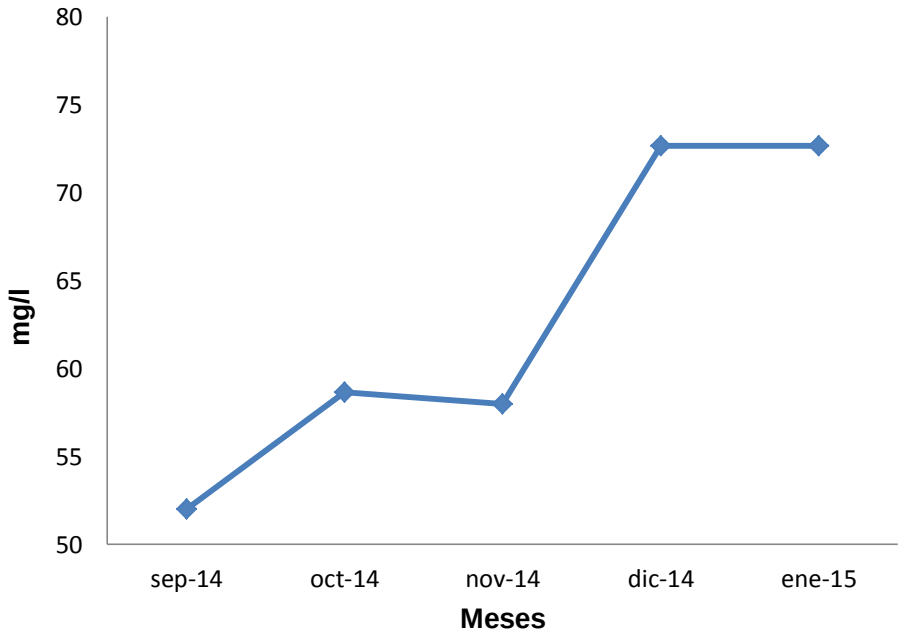


Figura 13. Cloruro del agua residual.

4.1.9. Dureza

Cuadro 21. Resultado de Dureza del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	Dureza (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	151.33
Octubre	163
Noviembre	161.33
Diciembre	164
Enero	167
Promedio	161.33

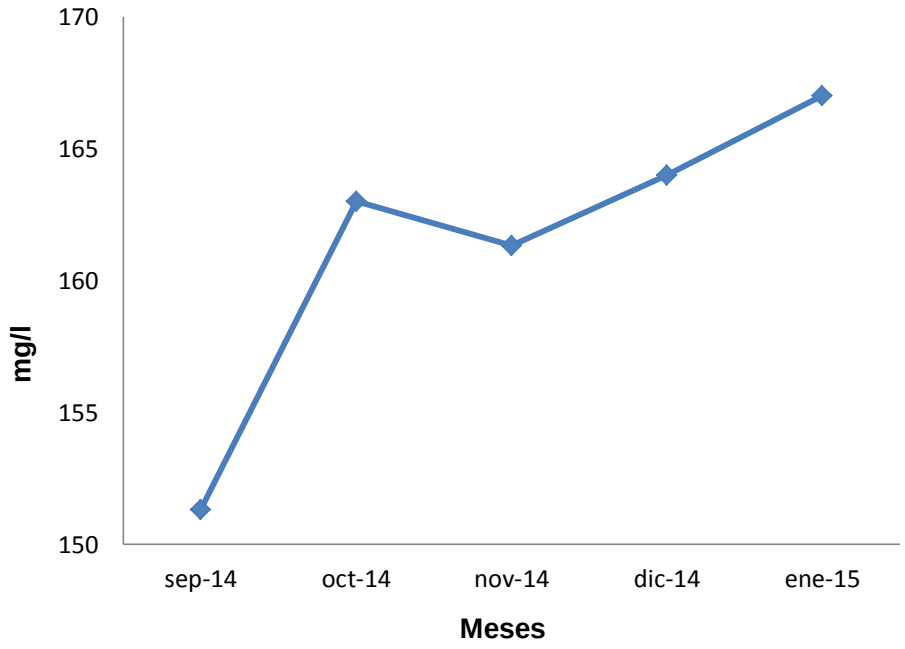


Figura 14. Dureza del agua residual.

4.1.10. Solidos totales en suspensión

Cuadro 22. Resultado de Sólidos totales del agua residual en el P1.

Meses de evaluación	STS (mg/l)
	Punto 1
Septiembre	222.66
Octubre	212.66
Noviembre	300.33
Diciembre	136
Enero	179
Promedio	**210.13**

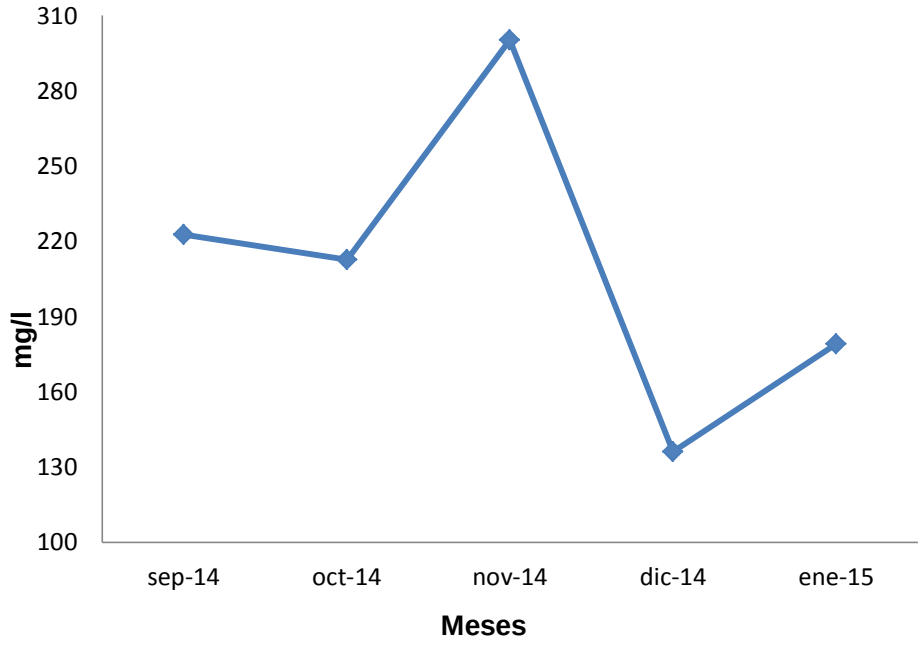


Figura 15. Sólidos totales en suspensión.

4.2. Evaluación de aguas tratadas, según disposición de los LMP (D.S.N° 003-2010-MINAN).

El punto P2, está localizado en la descarga, que se realiza a la quebrada Putante, en este punto se evaluó pH, DBO5, DQO, ST y T°.

4.2.1. Temperatura del agua residual

Cuadro 23. Resultado de temperatura del agua residual en el P2.

Meses de evaluación	Temperatura °C	D.S.N° 003-2010
Septiembre	30.66	
Octubre	30	
Noviembre	30	< 35
Diciembre	31	
Enero	28.33	
Promedio	30	

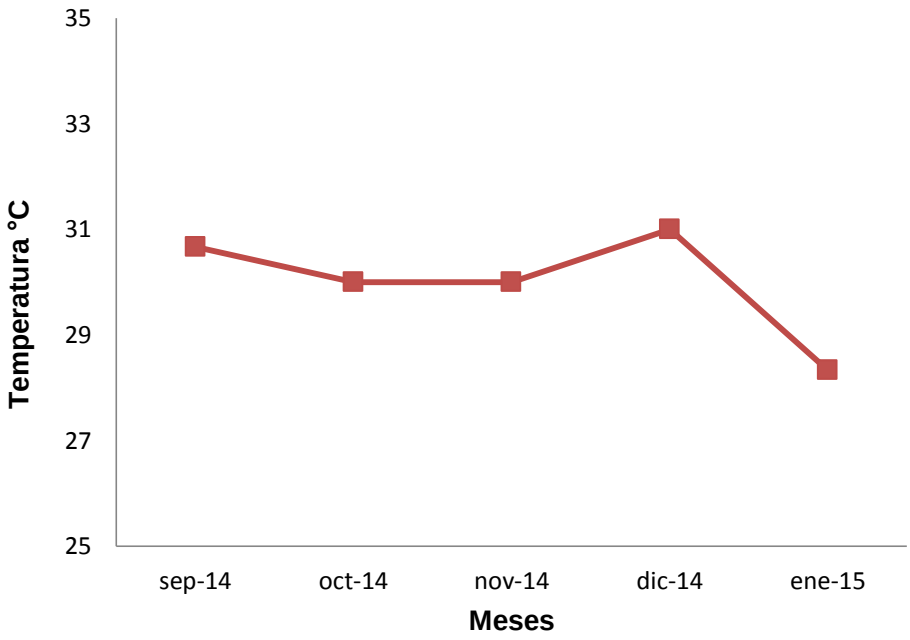


Figura 16. Temperatura °C del agua residual.

4.2.2. pH

Cuadro 24. Resultado de pH del agua residual en el P2.

Meses de evaluación	pH	D.S.N° 003-2010
Septiembre	6.61	
Octubre	6.66	
Noviembre	6.17	6.5 – 8.5 Unidad
Diciembre	6.41	
Enero	6.71	
Promedio	6.51	

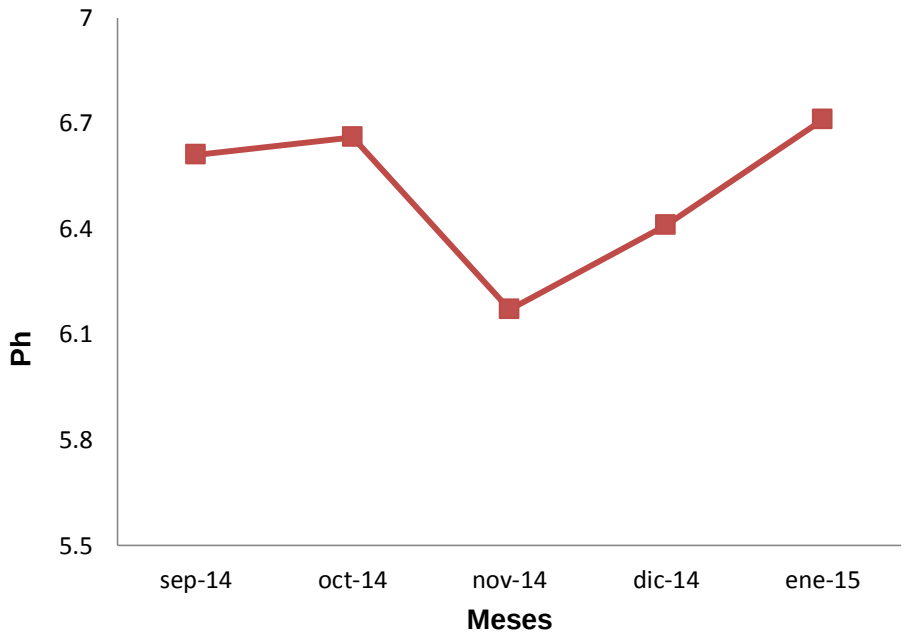


Figura 17. pH del agua residual.

4.2.3. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO5)

Cuadro 25. Resultado de DBO_5 del agua residual en el P2.

Meses de evaluación	DBO_5	D.S.N° 003-2010
Septiembre	96.66	
Octubre	98.66	
Noviembre	94.66	100 mg/L
Diciembre	103.33	
Enero	199.66	
Promedio	118.59	

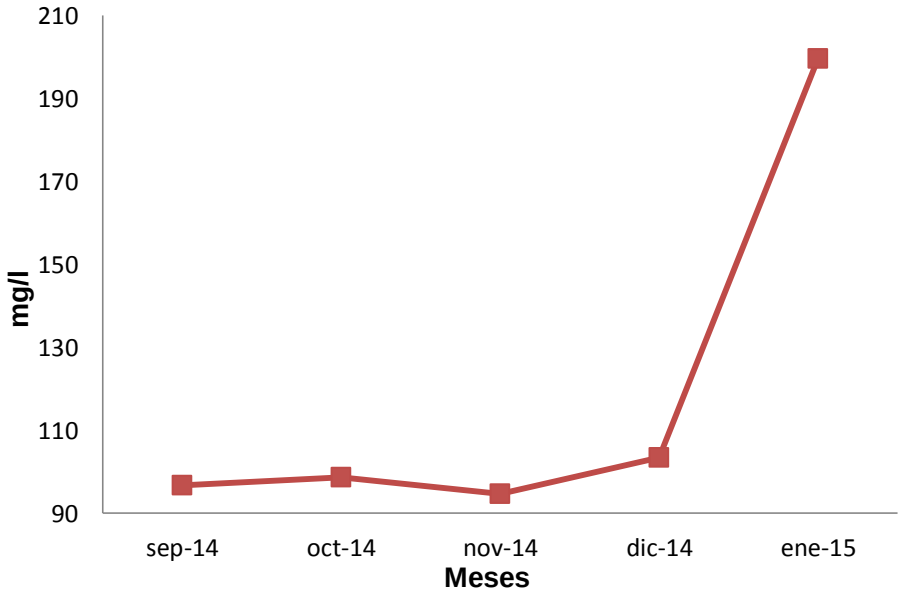


Figura 18. DBO_5 del agua residual.

4.2.4. Demanda química de oxigeno (DQO)

Cuadro 26. Resultado de DQO del agua residual en el P2.

Meses de evaluación	DQO	D.S.N° 003-2010
Septiembre	179	
Octubre	196.66	
Noviembre	176.33	200 mg/L
Diciembre	202.66	
Enero	199.66	
Promedio	**190.86**	

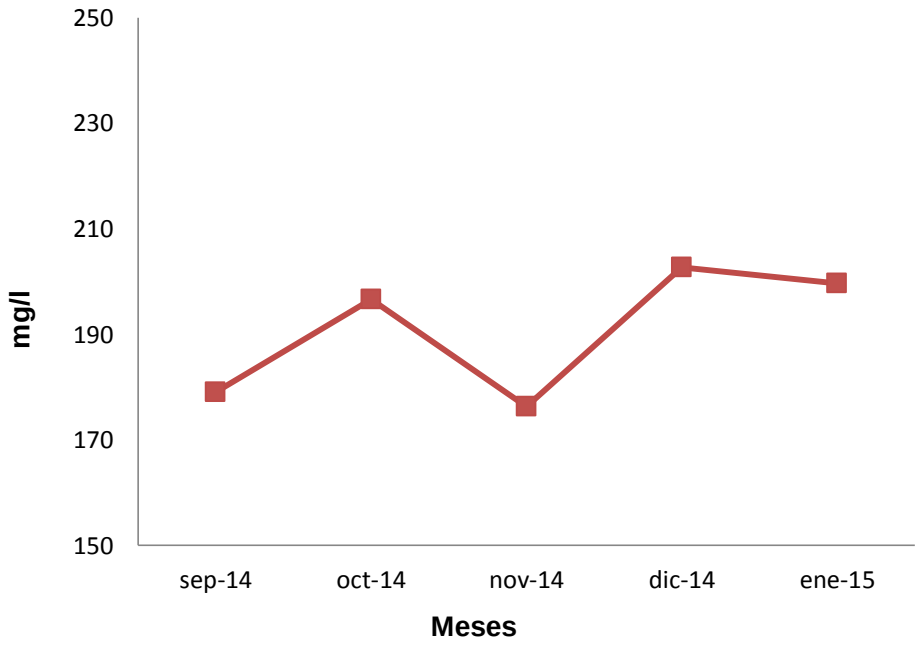


Figura 19. DQO del agua residual.

4.2.5. Sólidos totales en suspensión

Cuadro 27. Sólidos totales en suspensión del agua residual en el P2.

Meses de evaluación	STS	D.S.N° 003-2010
Septiembre	274.66	
Octubre	240	
Noviembre	332.66	150 mg/L
Diciembre	212.66	
Enero	205	
Promedio	252.99	

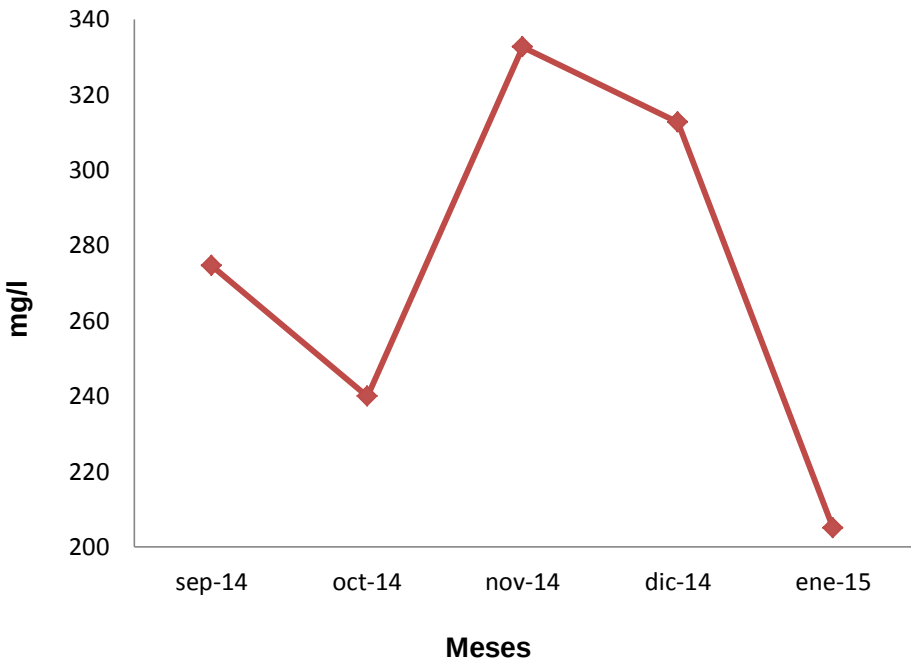


Figura 20. Sólidos totales en suspensión.

4.3. Evaluación de la eficiencia del sistema.

4.3.1. Eficiencia de DBO_5

Cuadro 28. Resultado de eficiencia de $DBO_{5.}$

Meses de evaluación	Eficiencia del DBO_5 (%)
Septiembre	1.7
Octubre	3.6
Noviembre	1.4
Diciembre	0.7
Enero	96.4
Promedio	20.76

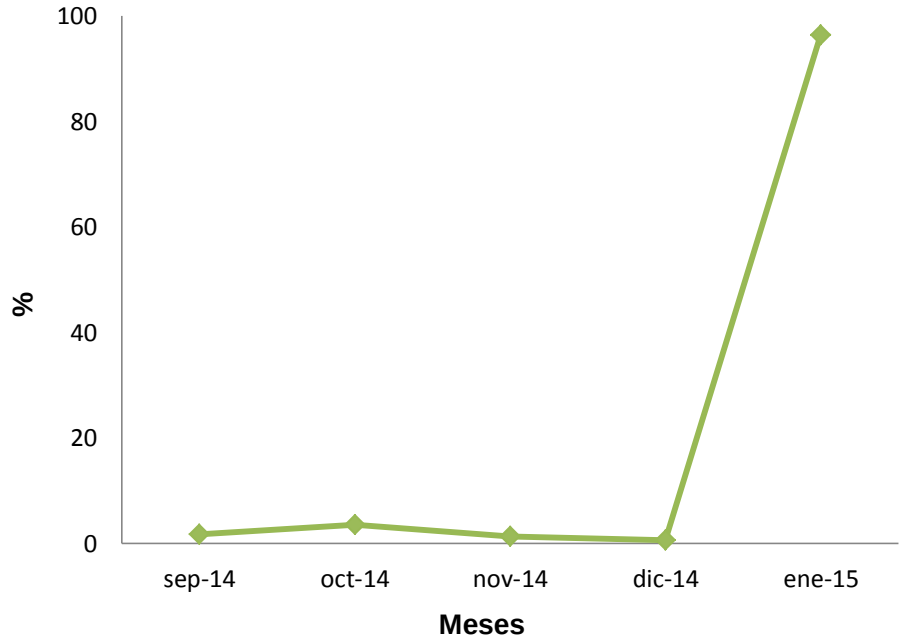


Figura 21. Eficiencia de $DBO_{5.}$

4.3.2. Eficiencia de STS

Cuadro 29. Resultado de Eficiencia de STS.

Meses de evaluación	Eficiencia de STS (%)
Septiembre	23.35
Octubre	12.86
Noviembre	10.74
Diciembre	56.36
Enero	14.53
Promedio	23.56

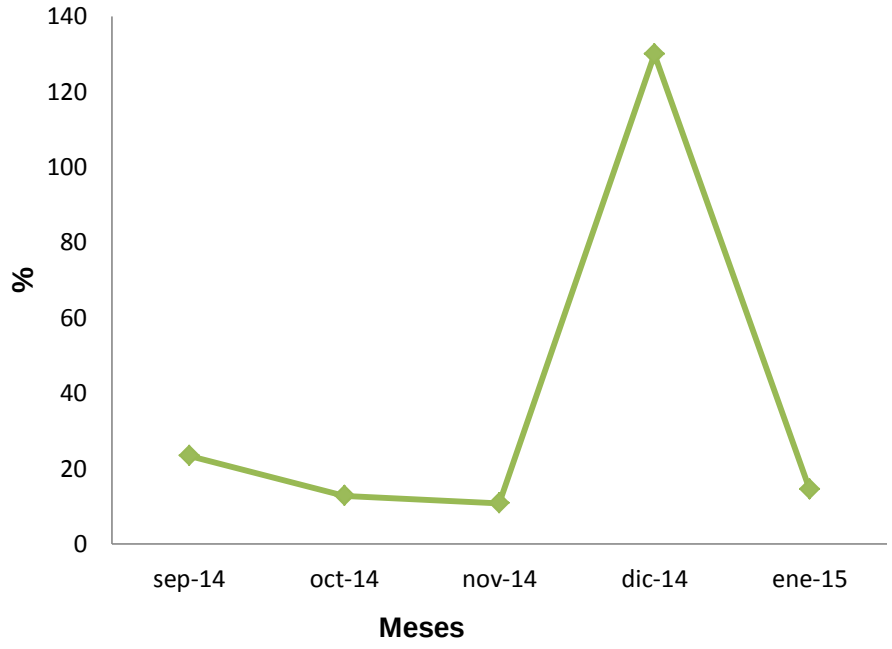


Figura 22. Eficiencia de STS.

4.4. Alternativa de solución

4.4.1. Caudal de entrada y salida

Cuadro 30. Resultado de caudal en los dos puntos.

Cauda m3/s promedio	
P1	0.00134 m3/s
P2	0.00201 m3/s

4.4.2. Volumen de las lagunas

- **Laguna primaria anaeróbica**

V m3 = Largo * Ancho * Profundidad

Largo = 16 Mt

Ancho = 16 Mt

Profundidad = 1.5 Mt

Volumen m^3 = 16 * 16 * 1.5 + 192 = 576 m^3

- **Laguna secundaria facultativa**

V m^3 = Largo* Ancho * Profundidad

Largo = 125 Mt

Ancho = 50 Mt

Profundidad = 2.5 Mt

Volumen m3 = 125 * 50 * 2.5 + 93.75 = 6343.75 m^3

4.4.3. Tiempos de retención hidráulica existentes

- **Laguna primaria anaeróbica**

  R = V M3/ Q M3/S

  R = 576 M3/0.00134M3/S

  R = 4.9 días.

- **Laguna secundaria facultativa**

  R = V M^3/ Q M^3/S

  R = 6343 M^3/0.00201M^3/S

  R = 36.52 días.

4.4.4. Construcción de humedales artificiales.

Para el diseño preliminar del humedal artificial, en este caso, con el Sistema de Flujo Libre (FWS), nos basamos principalmente en la información proporcionada por LARA (1999) en lo referente a la importancia, a los procesos biológicos que en ellos se dan, sus procesos constructivos, un modelo (ejemplo) con las fórmulas utilizadas y los datos técnicos que en él describe. Para este diseño se trabajó en base al parámetro DBO_5,

considerando que la mayor contaminación se da por la presencia de materia orgánica en estas aguas residuales y el caudal del afluente:

- DBO5 entrada = 99.53 mg/l
- DBO5 salida = 49.76 mg/l (estimado 50% del DBO5 de entrada)
- Caudal Q = 115.78 m3/día
- Población = 3000 Hab.
- Medio = Grava, n= 0.38
- Profundidad FWS = 0.60 m
- Temperatura = 20 °C

Determinación de la constante de temperatura del agua de diseño en el humedal FWS.

$K_t = K_{20}\ (1{,}06)^{(T-20)}$ ⟶ $K_t = 1{,}104\ \ (1{,}06)^{(21-20)} = 1{,}170\ d^{-1}$

K_t= constante de T°. $K_{20} = 1{,}104\ d^{-1}$

Determinación del área superficial, requerida para el FWS.

$$AS = \frac{\mathrm{Q}(\ln Ca - \ln Cc)}{Kt\ (y)(n)}$$

$$AS = \frac{115{,}78(ln\ 99{,}53 - ln\ 49.76)}{1{,}170\ (0{,}60)(0{,}38)}$$

$$AS = \frac{80{,}264}{0{,}266}$$

$$AS = 301{,}74\ m2$$

Calculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$THR = \frac{LWn}{Q}$$

$$THR = \frac{301{,}74\ (0{,}60)(0{,}38)}{11{,}578}$$

$$THR = \frac{68{,}79}{11{,}578}$$

$$THR = 5{,}94\ dias$$

Ahora hallamos largo y ancho del humedal en dos celdas.

Se utilizará la mitad de AS.

AS= 150.87

L = 3W

AS = LW

AS = (3W) W

$$AS = (3W^2)$$

$$W = \sqrt{150,87/3}$$

$$W = 7,09\ m$$

$$L = 3W$$

$$L = 3\ (7,09)$$

$$L = 21.27\ m = 21.30\ m$$

L, es la máxima longitud de celda compatible con las condiciones hidráulicas especificadas; por tanto tomaremos este último dimensionamiento para el humedal. L = 21,30 m y W = 7,10 m, que se constituyen en las dimensiones de las dos celdas que diseñarán en forma preliminar para el humedal FWS, que se aprecian en el Plano Distribución que se presenta en ANEXO 2 con las especificaciones básicas de construcción como son: pendiente de 0,5 a 1%, con una membrana impermeable en él, fondo para evitar la infiltración del agua, con un substrato que incluye suelo, arena, grava y rocas, plantaciones de carrizo y un sistema de tuberías para entrada y salida del agua, además de las instalaciones periféricas que estas construcciones necesitan.

V. DISCUSIÓN

5.1. Parámetros físico químicos del agua residual

5.1.1. Temperatura del agua residual

Los resultados de temperatura del agua residual obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 29.33 °C y un máximo de 31°C, con un promedio de 30 °C; al respecto RODIER (1998) indica que las aguas residuales cruda en regiones cálidas oscilan de 13°C a 30°C; estando dentro del parámetro indicado.

5.1.2. pH

Los resultados de pH obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 6.00 y un máximo de 6.67, con un promedio de 6.50 lo que indica un pH ácido. EL pH en las aguas residuales crudas suelen encontrarse entre (6.4 – 7.1 (MADERA *et al.,* 2011); la composición típica de las aguas residuales doméstica en Europa Occidental se encuentran entre (7.5 – 8.5) (GILL ,2005); según METCALF y EDDY (2004) indican que el agua residual típicamente tiene un pH de 6 – 9. Este pH se encuentra dentro del rango establecido por Madera (6.4-7.1), pero no están dentro de los parámetros establecidos por Gill (7.5-8.5), pero Metcalf y Eddy establecen que estos valores no representan

mayor dificultad al tratamiento ya que cumplen con lo especificado para tratamiento biológico en el agua residual, rango que es de 6 a 9.

5.1.3. Oxígeno disuelto (OD)

Los resultados de OD obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 2.73 mg/L y un máximo de 4.16 mg/L, con un promedio de 3.61 mg/L que dentro de la calidad de agua se encuentra dentro de mala establecido por Ciese (0.0 - 4.0 mg/L); al respecto CIESE (2008) manifiesta que generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad; la calidad del agua se encuentra considerada dentro de “mala” (0.0 - 4.0 mg/L). CIESE (2008). Lo cual indica que se encuentra dentro del rango para que estas aguas sean consideradas como inadecuadamente tratadas.

5.1.4. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5)

Los resultados de DBO_5 obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 95 mg/L y un máximo de 102.66 mg/L, con un promedio de 99.53 mg/L; al respecto MARSILLI (2003) menciona que se vuelve necesaria su evaluación, ya que es más utilizada, cuando se trata de aguas residuales domésticas, deben de tener valores fluctúen entre los 200 a 300 mg/l; y FINDLATER *et al*. (1990), RIVERA *et al.* (1995), indican que el rango de 20 a 100 mg/L de $DBO_{5,}$ es clasificada como agua levemente contaminada. Según GILL (2005) el $DBO_{5,}$ de un agua residual doméstica debe de estar entre el rango entre 100 – 400 mg/L; lo cual indica que se encontraría en el rango

establecido por GILL, FINDLATER y RIVERA, considerada agua levemente contaminada.

5.1.5. Demanda química de oxigeno (DQO)

Los resultados de DQO obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 172.33 mg/L a un máximo de 196 mg/L, siendo el promedio de 188.26 mg/L; al respecto GIL (2005) menciona que las aguas residuales urbanas brutas presentan una DQO que oscila entre 150 y 1000 mg/l. En España, según SEOANEZ (1995), la composición normal de las aguas residuales urbanas presenta una concentración entre 250 – 1000 mg/l; entonces el valor se encuentra dentro de las concentraciones mencionadas por GIL.

5.1.6. Relación DBO_5/DQO

Los resultados de DBO_5/DQO obtenidos en la investigación, fue de un mínimo 0.51 y un máximo de 0.55 con un promedio de 0.52.Esta relación indica la biodegradabilidad del agua residual; por lo que METCALF y EDDY (2004) menciona si la relación es de 0.5 o más significa que es fácilmente biodegradable mientras que si es 0.3 o menor no es fácilmente biodegradable e incluso podría presentar sustancias tóxicas., valor que se encuentra dentro del rango descrito por Metcalf (0.3 a 0.8) correspondiente al agua cruda tratable por métodos biológicos.

5.1.7. Nitratos

Los resultados de nitrato obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 15 mg/L y un máximo de 19.33 mg/L con un promedio de 18.33 mg/L; al respecto ECOAGUA (2001) sostiene que amplios datos epidemiológicos respaldan el valor pauta actual de 10 mg/l para el nitrato-nitrógeno propuesto tanto por la OMS como por la EPA, estableciendo este mismo valor como Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMC) y METCALF y EDDY (2004), que menciona la composición típica de ARD (0 mg/L), y ECOAGUA (2001), lo comparten tanto la OMS como EPA, con el añadido que a valores superiores de 80 mg/L es tóxico, por lo cual el agua residual estudiada está por encima de los valores dictados por dichos autores y se encuentran como aguas tóxicas, no propias de un agua residual doméstica.

5.1.8. Cloruro

Los resultados de cloruro obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 52 mg/L y un máximo de 72.66 mg/L, siendo el promedio de 62.79 mg/L, este valor es mayor a lo indicado por ROMERO (1999), (50 mg/L) y BONATURA (2002). (50 -60 mg/L), pero se encuentra dentro del rango establecido METCALF y EDDY (2004) para aguas residuales crudas con una concentración alta (50 -90 mg/L).

5.1.9. Dureza

Los resultados de dureza obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 151.33 mg/L y un máximo de 167 mg/L, siendo el promedio de

161.33 mg/L, al respecto SEOANEZ (1995), contiene bajo contenido de minerales, en particular sales de magnesio y calcio, por consiguiente esta agua puede catalogarse según GRAY (1994), como “agua dura”.

5.1.10. Sólidos totales en suspensión

Los resultados de STS obtenidos en la investigación, fue de un mínimo de 136 mg/L y un máximo de 300.33 mg/L con un promedio de 210.13 mg/L, valor similar al que señala METCALF y EDDY (2004) como composición media (210 mg/L). Estos valores también son parecidos a lo reportado por ROMERO (1999). (220 mg/L).

5.2. Evaluación de las aguas tratadas según la disposición de los LMP (D.S.N° 003-2010-MINAN).

El último punto P2, es el que está localizado en la descarga que se realiza a la quebrada Putante, dicha descarga se comparó con los límites máximos permisibles para los efluentes de aguas residuales domésticas y municipales. D.S. N° 003-2010, para T°, pH, DBO_5, DQO y STS.

5.2.1. Temperatura del agua residual

La T°, se encontró en un rango de 28.33 °C y 31 °C con un promedio de 29.9°C. La descarga de agua tratada cumple con el rango permisible requerido por D.S. N° 003-2010, T° (<35 °C).

5.2.2. pH

El pH, se encontró en un rango de 6.17 y 6.71, con un promedio de 6.51 lo que indica un pH ácido. La descarga de agua tratada cumple completamente con el rango permisible requerido por D.S. N° 003-2010 pH (6.5 -8.5).

5.2.3. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO)

El DBO_5 se encontró en un rango de 94.66 mg/L y 199.6 mg/L, con promedio de 118.59 mg/L, este valor se encuentra por encima del rango permisible requerido por D.S. N° 003-2010, DBO_5 (100 mg/L), por lo que se tendría que mejorar el tratamiento de esta agua ya que el DBO5 es el parámetro que mejor indica la contaminación de las aguas residuales.

5.2.4. Demanda química de oxigeno (DQO)

El DQO se encontró en un rango de 176.33 mg/L y un máximo de 202.66 mg/L, con un promedio de 190.86 mg/L, este valor se encuentra ligeramente cercano al rango permisible requerido por D.S. N° 003-2010 DQO (200 mg/L).

5.2.5. Sólidos totales en suspensión

Los STS tuvieron un rango entre los 205 mg/L y 332.66 mg/L con un promedio de 252.99 mg/L, este valor se encuentra por encima al rango permisible requerido por D.S. N° 003-2010 STS (150 mg/L).

5.3. Evaluación de la eficiencia del sistema.

La eficiencia en el DBO_5, tuvo un promedio de 20.76%, lo cual a lo indicado por la remoción esperada debe de estar en rangos de 50 y 90 %, lo cual constatando con el promedio no se encuentra dentro del rango. La eficiencia en STS tuvo un promedio de 23.56% y comparando a los indicados por LETTINGA (1995), (90%), no se encuentra dentro del rango establecido. Estos resultados tanto en DBO_5 y STS se denota claramente la deficiencia esto se debe al exceso de DBO_5 Y STS quiere decir que los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica no estan trabajando como debería ser, y esto se debe al poco tiempo de retención hidráulico y al aumento del caudal a comparación del diseño ya que la población a amentado.

5.4. Alternativas de solución

5.4.1. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención de ambas lagunas estan fuera del rango establecidas por LETTINGA (1995), lagunas anaerobias (20 -50 dias), lagunas facultativas (25 – 180 dias).

5.4.2. Construcción de humedales artificiales

Después de hacerse los estudios respectivo, se hizo conveniente a la incorporación al sistema la construcción de humedales artificiales.

Se plantea incorporar un sistema de humedales artificiales. Por el pequeño caudal (1,34 l/s) que presenta el afluente donde descargan las aguas residuales en cuestión, por las caracterización de estas aguas, se conviene proponer un tratamiento terciario que en su etapa final aumente la calidad y al mismo tiempo pueda estar dentro del rango establecido por la norma de los LMP del efluente al estándar requerido, antes que sea descargado al ambiente receptor (ríos, lagos, etc.), por lo mismo que TECNUN (2005), propone que para la depuración de estas residuales de pequeñas comunidades no es necesario acudir a estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), siendo suficiente y mucho más rentable, por ejemplo, el "lagunaje" anaerobio, que elimina hasta el 50% de DBO5, o un tratamiento fitopedalogico, como propone ERAZO y CARDENAS (2000) usando lagunas con "jacintos de agua" (humedales), que se espera lograr un rendimiento menor de 15-30% mg/l de DBO5 y 15-30% SST y coliformes totales de NMP 5000colis/100ml.

VI. CONCLUSIONES

1. La entrada a la planta (afluente P1), mostró un comportamiento dentro de lo típico para las descargas de agua doméstica sin tratar;

2. En la descarga de la planta (efluente P2), la T° y el pH estuvieron dentro de los LMP para aguas residuales domésticas y municipales vertidas a cuerpos de agua según el D.S. N° 003-2010, mientras que la DQO se encontró por abajo con 9.14 ml a lo referido por el D.S. N° 003-2010, en el DBO_5 y STS están por encima del LMP.

3. La eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO_5 fue de 20.76% y para STS fue de 23.56%, estos valores son muy bajos ya que la eficiencia optima del DBO_5 es de 70 – 80 % y de STS es de 90 %, los resultados obtenidos determinan un mal funcionamiento del sistema de tratamiento, esto se debe al poco tiempo de retención hidráulica que hay en ambas lagunas lo que no permite que los microorganismos descompongan la materia orgánica, simplemente se forman y se proliferan.

4. Las alternativas de remediación al problema establecido tanto en alto contenido de DBO_5 Y STS que sobrepasan los LMP, y la deficiencia de DBO_5 Y STS son: Limpieza y mantenimiento de las lagunas de

estabilización existentes y /o la incorporación de un sistema de humedales artificiales al agua emitida de las plantas existentes.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para una continuación de este trabajo sería importante el análisis del agua que pasa de las lagunas primarias anaerobia a las lagunas secundarias facultativas.

2. Estudiar y analizar que opción de uso se podría dar a la descarga ya que son evacuadas a la quebrada con valores fuera de lo establecido en los LMP.

3. Realizar estudios adicionales como los de Nitrógeno, Fosforo y metales pesados, para corroborar si el agua residual tratada, puede ser reutilizada.

4. Dentro del mantenimiento correctivo que debe dársele a las lagunas, se encuentra la extracción de lodos, además de la limpieza de natas sobre la superficie de las lagunas.

5. Acoplar un sistema de humedales artificiales.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER STABILIZATION PONDS CITY UCHIZA

VIII. ABSTRACT

Stabilization ponds represent an efficient in treating wastewater alternative, but its main drawback is the high concentration of algae in the effluent, so it is necessary to improve its quality, likewise improve operation Over the years. The objectives were to evaluate the efficiency of wastewater stabilization ponds, evaluate the physical and chemical parameters, evaluate the treated water according to the arrangement of the LMP (DSN ° 003-2010-MINE) and propose solutions. The research was conducted in the district of Uchiza, whose coordinates are North 90675333. The politically 339 378 and located in the province Tocache, San Martin department. The methodology used for sampling is indicated by (ANDREW and CAMACHO, 2003), for the evaluation of the parameters in the effluent were layout DSN ° 003-2010-MINAN and efficiency evaluation was by formula given by (LETTINGA, 1995). The results indicate that 1) the entrance to the plant (tributary P1) showed a behavior within typical for domestic water discharges untreated. 2) The plant discharge (effluent P2), the T ° and pH were within the LMP for domestic and municipal water bodies dumped into wastewater according to DS No. 003-2010, while the COD was found below 9.14 ml with regard to the DS No. 003-2010, the BOD5 and STS are above the LMP. 3) System efficiency BOD5 treatment

was 20.76% and 23.56% was STS, these values are very low since the optimum efficiency of BOD5 is 70 - 80% and is 90% STS, the results determine a malfunction of the treatment system, this should be a short hydraulic retention time is in both lagoons which does not allow microorganisms to break down organic matter, simply formed and proliferate. 4) The remedial alternatives to the problem set both high BOD5 AND STS in excess of LMP, and deficiency of BOD5 and STS are: Cleaning and maintenance of existing stabilization ponds and / or the addition of a wetland system issued artificial water to existing plants.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th. Edition, 1998. 123-134 p.

ANDREW, E.; CAMACHO, A. 2003. Recomendaciones para tomar muestras de agua, biota y sedimentos humedales. Ramsa. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 226 p.

ALAERTS, G. 1995. Wastewater treatment. Tratamiento de aguas residuales, presentado en “Curso-Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”, febrero 13–marzo 17 de 1995. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. 96 p.

ASTM. 1994. Annual book of standards. Determinación de dureza en agua. Método ASRM D. 1126-92. USA.

BOLAÑOS, A.; PEREZ, M.; GARZA, E. 2001. Determinación de la conductividad eléctrica. Universidad Autónoma de Tamaulipas. [En línea]: Arturobola, (http://www.arturobola.tripod.com/conducti.htm, Journal, Ene. 2010).

BOLLER, M. 1997. Small wastewater treatment plant. A challenge to wastewater engineers. Water Science & Technology, Vol. 35, N° 6.

BONATURA. 2002. Grupo de tratamiento de aguas residuales. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla. [En línea]: Bonatura, (http://www.bonatura.com/2.01.18.11 1r.html, Revista, Oct. 2008)

BROWN. R.M. MCCLELLAND. N. DEININGER. R.A. Y R.G. TOZER. (1970). *A Water Quality Index - Do We Dare.* Proceedings of the National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management. Conference of State Sanitary Engineers and Wisconsin University. July 21-23. 1970. Madison. WIS. p. 364-383. 1970.

CIESE. 2008. Oxígeno Disuelto. [En línea]: CIESE, (http://www.ciese.org/curriculum/diproop/es/fieldbook/oxigeno.shtml , Journal, Ene. 2010).

CISTERNA, P.; PEÑA D.2004. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menos de 25,000 habitantes en la VIII región. [En línea]: Cepis, (http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/chile/tra-12.pdf, Documento, Ene, 2010).

ECOAGUA 2001. Nitratos y nitritos. [En línea]: ECOAGUA, (http://educasitios.educ.ar/grupo, Documento, Feb. 2009).

EPA. 1999. Estándares de reglamento nacional primario de agua. [En línea]: EPA, (http://epa.gob/safewaterl/agua/estandares.htm, Journal, Oct. 2008).

DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. 1995. Manual de tratamiento de aguas negras. 13ra. reimpresión, Editorial LIMUSA. México. 152 p.

Diario Oficial El Peruano. 2010. Normas Legales. Lima (Perú);Me. 17.

EPA. 1999. Estándares de reglamento nacional primario de agua. [En línea]: EPA, (http://www.epa.gob/safewaterl/agua/estandares.html/. Journal, Oct. 2008).

ERAZO, R.; CARDENAS, J. 2000. Planta de tratamiento de aguas residuales en la Universidad de San Marcos, Lima, Perú. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Set. 2000. Vol. 3 N° 1.

FAIR, G. GEYER, J. y OKUN, D. 1992. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. 4ta. reimpresión, Volumen 4. Edit. LIMUSA, D. F. México. 221 p.

FINDLATER, B.C.; HOBSON, J.A.; COOPER, P.F 1990. Reed bed treatment systems: Performance evaluation. En: Constructed Wetlands in water Pollution Control. Cooper, P.F. Y Findlate, B.C. Editors. Pergamon Press. Great Britain. 193 p.

FRERS, C. 2005. Los problemas de las aguas contaminadas. [En línea]: WASTE, (http://waste.ideal.es/contaminacionagua.htm, Artículo, Ago.2009).

GIL, M. 2005. Proceso de descontaminación de aguas. Cálculos avanzados informatizados. Internacional Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. España. 560 p.

GONZALES, P. 1998. Aguas residuales. Sistemas de tratamiento y soluciones ingenierías para el rehuso de efluentes. MAPING, revista internacional de ciencias de la tierra [En línea]: Mapping, (http://www.mappinginteractivo.com/plantilla Revista, Jun. 2009).

GRAY, N. 1994. Calidad del agua. Problemas y soluciones. Editorial ACRIBA, S.A. Zaragoza. España. 365 p.

HUDSON, N. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Departamento de desarrollo sostenible. Boletín de suelos de la FAO. [En línea]: FAO, (http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm, Documento, Nov. 2009)

INS. 1995. Impacto del ambiente en la salud de la población involucrada en el tratamiento y uso de aguas residuales en Lima y Callao. Instituto Nacional de Salud. [En línea]: INS, (http://ins.gob.pe/gxpsitesl/agxppdwn.aspx, Diapositivas, Set. 2008).

KIELY G. 1999. Ingeniería Ambiental: Fundamentos; Entornos; Tecnologías y Sistemas de Control. Volumen II. España. Editorial MC. Graw Hill. 841p.

LARA, A. J. 1999. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales. Tesis de master en Ingeniería y Contaminación Universidad Politécnica de Cataluña – Instituto Catalán de Tecnología. Cataluña – España. Loonetuns.28 p.

LLAGAS, W.; GUADALUPE, E. 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. [En Línea]: SCIELO, (http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo, Revista, Set 2008)

LENNTECH. 1998. Estándares Europeos de calidad de agua potable. [En Línea]: Lenntech, (http://www.lenntech.es/estandares-de-calidad-del-agua.htm, Documento, Abr. 2009).

LETTINGA, G. 1995. Treatment on raw sewage under tropical conditions. Tecnología de reactores anaeróbicos. Presentado en “Curso-Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”, febrero 13–marzo 17 de 1995. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. 300 p.

LETTINGA, G. y HULSHOFF, P. 1995. Anaerobic wastewater treatment technology with emphasis to upflow anaerobic sludge bed (UASB). Reactor systems, tecnología de reactores anaeróbicos. Presentado en

"Curso-Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales", febrero 13–marzo 17 de 1995. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. 85 p.

LOVERA, D.; QUIPUZCO, L.; LAUREANO, G.; VALENCIA, D. 2003. Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, Región Ancash, Perú; usando tecnologías de humedales artificiales. 45 p.

MADERA, C., SILVA, J., Y PEÑA, M. 2011.Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. Revista Ingeniería Y Competitividad. 71 p.

MADERA, C. PEÑA, M. y PEREZ, M. 1998. Selección de tecnología para tratamiento de aguas residuales, Un enfoque metodológico con participación de los usuarios. Presentado en Seminario-Taller. 13 p.

MARSILLINI, A. 2003. Tratamiento de aguas residuales [En línea]: Tierramor, (http://www.tierramor.org/articulos/tratagua.htm, Documento, Set. 2008).

METCALF Y EDDY (2004), Wastewater engineering treatment and reuse. 4ª ed. Mc Graw- Hill, Signapur, 1820 p.

METCALF Y EDDY. 1998. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 3era Edición. Edit. McGraw-Hill, S.A. Madrid, España. 980 p.

MINAM. 2008. Estándares de calidad ambiental del agua; Categoría IV.

MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE. 1995. Subsecretaria del Medio Ambiente. Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente Nº 1333. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica. La Paz, Bolivia.451 p.

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. 1996. Curso de tratamiento y uso de aguas residuales. OPS/CEPIS/PUB 96.20. Lima, Perú.

NASA. 2008. Purificando agua. NACIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. [En línea]: NASA, (http://www.education.jsc.nasa.gov/explorers/sp/pdf/student.pdf, Documento, Ago. 2009).

ÑIQUE, A. M. 2000. Deterioro de los humedales de Choc Choc Moche (Trujillo, Perú), por aguas servidas domésticas, 1999. Tesis de master en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Perú. 91 p.

OMS. 1993. Agentes Químicos y Físicos. Cap. 9. Guidelines for drinking water quality. 2a. edición. Volumen 1. Recomendaciones. Ginebra. [En línea]:

CEPIS, (www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html, Folleto, Abr, 2009).

OMS. 1995. Normas internacionales para la calidad del agua de bebida. [En línea]: CEPIS, (www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html, Documento, Dic, 2009).

PEÑA, M. 1998. Comparación de dos tecnologías anaerobias para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas. Conferencia internacional presentada en “Agua y Sostenibilidad”, junio 1 al 3 de 1998. Santiago de Cali, Colombia.

PRESCOTT, L., Harley, J., Klein, D. 1999. “Microbiología; Los Microorganismos y el Ambiente”. México: McGraw Hill Interamericana, 594p.

REFAI, K. 1981. Manuales para la calidad de control de los alimentos 4. Análisis microbiológicos FAO. Roma. 5 p.

RIVERA, F.; WARREN A.; RAMIREZ, E.; DECAMP, O.; BONILLA, P. Y GALLEGOS, A. 1995. Removel of pathogens from wastewaters by the root zone meted (RZM). Water Sciencie and Tecnology. 32:211-218 p.

RODIER, J. 1981. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 21 p.

ROMERO J. A. (1999). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Escuela Colombiana de Ingeniería 3ª ed, Editorial Alfaomega. Bogotá, Colombia, 231 p.

ROMERO C, MANLIA Alicia del Rosario. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. Tesis de graduación. Universidad de El Salvador. San Salvador. 2000. Hoja electrónica encontrada en CEPIS. Servicios. 33 p.

SEOANEZ, M. 1995. Aguas Residuales: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi Prensa. Madrid, España. 368 p.

SEOANEZ, M. 1999. Aguas residuales. Tratamiento por humedales artificiales Mundi Prensa. Madrid, España, 336 p.

SOUZA, M. 1997. Metodología de análisis de decisiones para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Brasilia. Brasilia-DF, Brasil. 82 p.

STERLING, C. 1995. Criterios de diseño de reactores UASB. Posgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.66 p.

TECNUN. 2005. Libro electrónico: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Tema 11: Contaminación del agua. Sustancias contaminantes del agua. Universidad de Navarra. 438 p.

TERENCE, J. 2000. Abastecimiento de agua y alcantarillado. 6ª edición. Mc Graw Hill, S.A. Colombia. 602 p.

VAN HAANDEL, A. y LETTINGA, G. 1998. Tratamento anaeróbio de esgotos – Um Manual para Regioes de Clima Quente. EpGraf, Campina Grande – PB, Brasil. 60 p.

VEENSTRA, S. ALAERTS, G. J. y BIJLSMA, M. 1998. Technology selection for pollution control. Conferencia Internacional presentada en “Agua y Sostenibilidad”, junio 1-3 de 1998. Santiago de Cali, Colombia. 54 p.

VILLARROEL, A. C. 2000. Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Cortijo” para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial. Tesis de master en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Perú. 82 p.

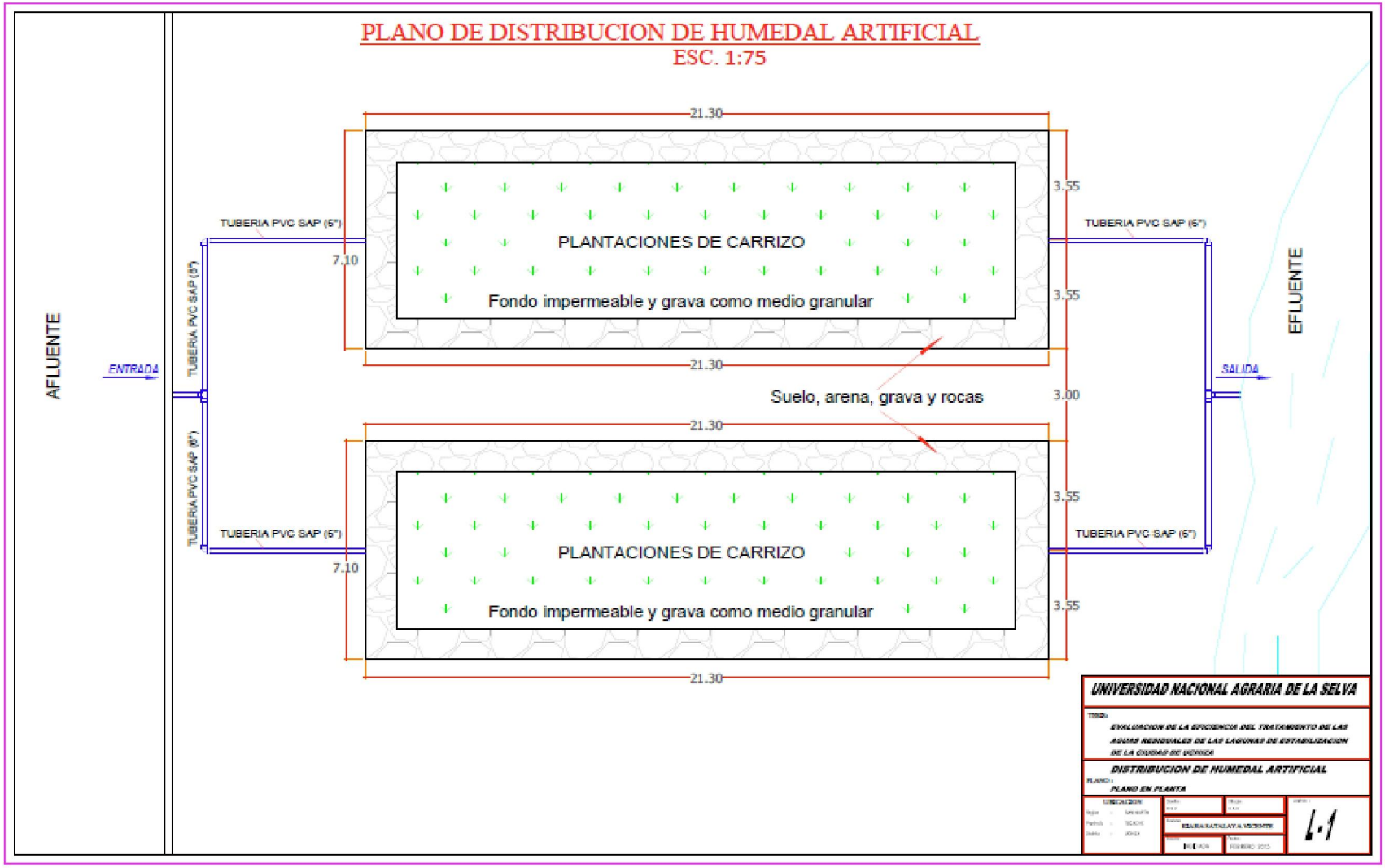
VOTCHEN, P. SCHOWANEK, D. y VERSTRAETE, W. 1988. Aerobic y anaerobic wastewater treatment. Presentado en “5to. Simposio sobre Digestión Anaeróbica. Biología, Italia. 91-103 p.

ANEXO

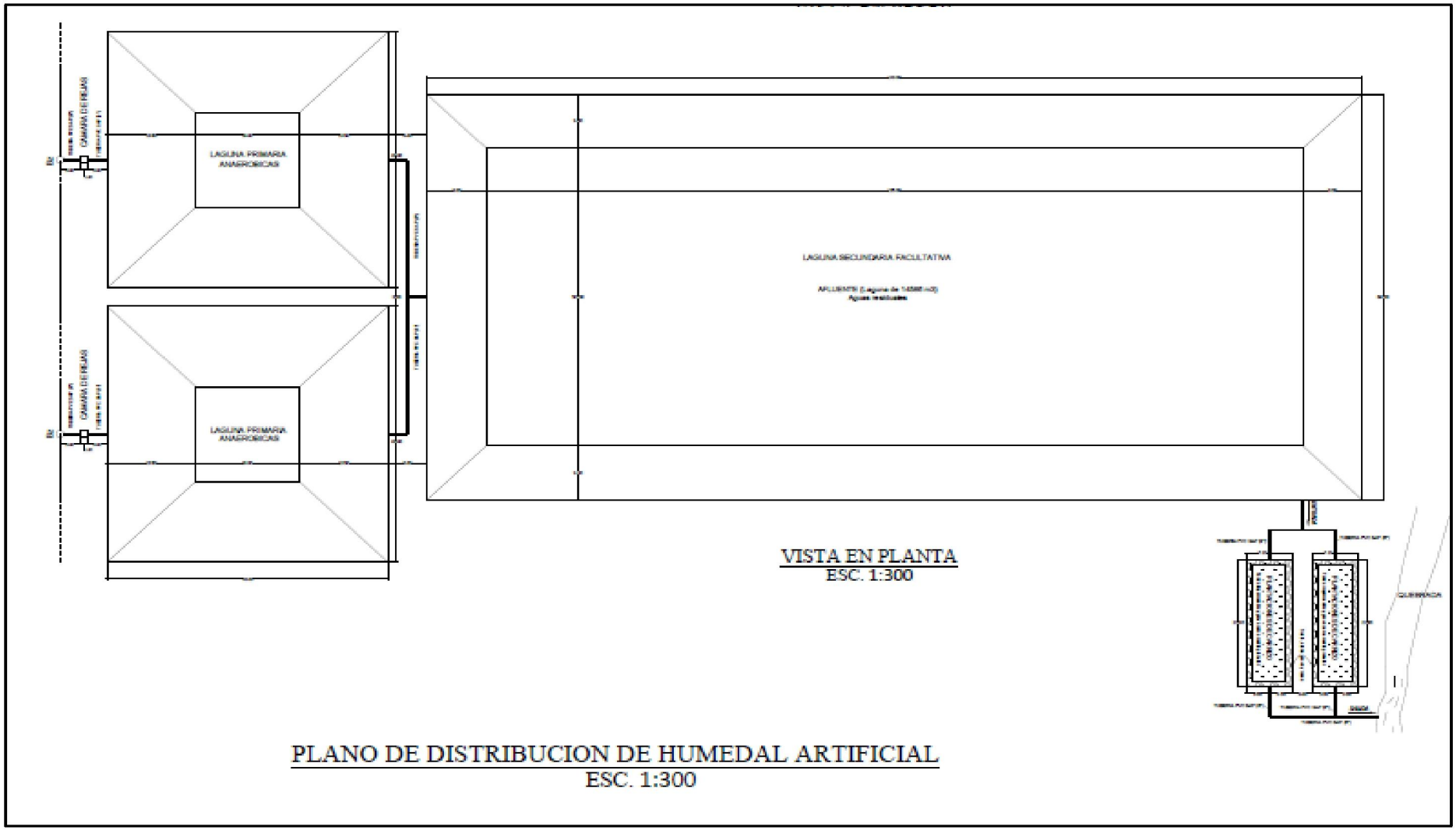
Anexo 1. Cuadro de datos de análisis en dos puntos

Punto 1 (entrada)										**Punto 2 (salida)**				
Parámetros / MESES	**T° C**	**pH**	**OD**	**DQO**	**DBO5**	**Nitrato**	**Cloruro**	**Dureza**	**STS**	**T° C**	**pH**	**DQO**	**DBO**	**STS**
Septiembre	29.33	6.63	3.59	172.33	95	17.66	52	151.33	222.66	30.66	6.61	179	96.66	274.66
Octubre	29.66	6.5	3.47	196	102.33	18.66	58.66	163	212.66	30	6.66	196.66	98.66	240
Noviembre	30	6.00	2.73	180.33	96	15	58	161.33	330.33	30	6.17	176.33	94.66	332.66
Diciembre	31	6.67	4.16	200.33	102.66	21	72.66	164	136	31	6.41	202.66	103.33	212.66
Enero	30	6.66	4.13	192.33	101.66	19.33	72.66	167	178	28.33	6.71	199.66	199.66	205
Promedio	**29.99**	**6.49**	**3.61**	**188.26**	**99.53**	**18.33**	**62.79**	**210.13**	**296.13**	**30**	**6.51**	**190.86**	**118.59**	**252.99**

Anexo 2. Humedales artificiales de flujo libre.



Anexo 3. Lagunas con humedales.



Anexo 4. Galería de fotos

Figura 23. Vista panorámica de la laguna primaria anaerobia.

Figura 24. Vista de la descarga de la laguna primaria anaerobia a la laguna secundaria facultativa.

Figura 25. Descarga final a la quebrada Putante

Figura 26. Toma de muestra en el P1.

Figura 27. Toma de muestra en el P2.

Figura 28. Midiendo la T° en la muestra.

Figura 29. Obstrucción de las rejillas de la entrada de las agua de a la laguna.

Figura 30. Acumulación de nata en la laguna.