

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

ESTUDIO DE TRATABILIDAD BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN BIORREACTORES AEROBIOS A ESCALA PILOTO EN EL
DISTRITO DE CELENDÍN

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

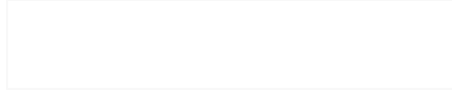
GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

Asesor:

Dr. EDUARDO GLICERIO TORRES CARRANZA

CAJAMARCA, PERÚ

2018



COPYRIGHT © 2018by
GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS APROBADA

ESTUDIO DE TRATABILIDAD BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS EN BIORREACTORES AEROBIOS A ESCALA PILOTO EN EL
DISTRITO DE CELENDÍN

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

Comité Científico

Dr. Eduardo Glicerio Torres Carranza
Asesor

Dr. Juan Chávez Rabanal
Miembro de Comité Científico

M.Cs. Attilio Cadenillas Martínez
Miembro de Comité Científico

Dr. Guillermo Chávez Santa Cruz
Miembro de Comité Científico

Cajamarca - Perú

2018



Universidad Nacional de Cajamarca

“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERÚ

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS

Siendo las 16:00 de la tarde del día 18 de diciembre de 2018, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, los miembros del Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL IDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, como Miembro de Jurado Evaluador, **Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA** en calidad de Asesor, **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL**, **Dr. GUILLERMO ALEJANDRO CHÁVEZ SANTA CRUZ**, como integrantes del Jurado Evaluador; actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la **SUSTENTACIÓN PÚBLICA** de la tesis titulada **“ESTUDIO DE TRATABILIDAD BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN BIORREACTORES AEROBIOS A ESCALA PILOTO EN EL DISTRITO DE CELENDÍN”**, presentada por la Bach. en Ciencias Ambientales **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**, con la finalidad de optar el Grado Académico de **MAESTRO EN CIENCIAS**, en la Unidad de Posgrado de la Facultad de **CIENCIAS AGRARIAS**, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR..... la mencionada Tesis con la calificación de EXCELENTE (18).....; en tal virtud la Bach. en en Ciencias Ambientales **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, en la Unidad de Posgrado de la Facultad de **CIENCIAS AGRARIAS**, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 17:40 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Marcial Idelso Mendo Velásquez
Miembro de Jurado Evaluador

.....
Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Asesor

.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Miembro de Jurado Evaluador

.....
Dr. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz
Miembro de Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Jorge Alberto Chávez Rojas, tu anhelo está cumplido papá.

A mi madre Adela, por su inmenso amor. A mis cinco hermanos; porque siempre estamos juntos en todo.

A Guido, mi esposo por su apoyo incondicional y a Victoria mi hijita, la razón de todo mi esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza, asesor de la presente tesis, por su disposición y apoyo en la ejecución del trabajo de investigación; así mismo, mi sincero agradecimiento a los miembros del comité científico: Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal, M.Cs. Atilio Israel Cadenillas Martínez, Dr. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz y Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia y al Dr. Marcial Mendo velásquez por sus aportes importantes a la presente tesis.

A la Familia Carmona Tello del caserío de Santa Rosa del distrito de Celendín por su apoyo, al permitir y apoyar con la instalación y operación de los biorreactores aerobios en su vivienda.

A los alumnos de las promociones 2013, 2014, 2015, 2016, 2017; del curso de tratamiento de aguas residuales de la EAP Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca – Filial Celendín, quienes realizaron la instalación y puesta en marcha de los biorreactores aerobios; y año tras año hicieron su mantenimiento y mejoras.

Al los ingenieros Eisner Will Castillo Rojas y Horacio Segura Abanto por su apoyo en la elaboración de los mapas y planos del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Jorge Lezama Bueno, a la Sra Katia Castañeda Torrejón, Srta Cinthia Chávez Chávez; por su apoyo, con el análisis de algunos parámetros en el laboratorio de la EAP Ingeniería Ambiental.

También, mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que de una u otra forma me apoyaron para el desarrollo del presente trabajo.

A la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca, como formadora de capacidades humanas.

En la naturaleza nada ocurre en forma aislada. Cada fenómeno afecta a otro y es, a su vez, influenciado por éste; y es generalmente el olvido de este movimiento y de esta interacción universal lo que impide a nuestros naturalistas percibir con claridad las cosas más simples

Friedrich Engels

CONTENIDO

DEDICATORIA	v
CONTENIDO	viii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Tratamiento biológico	10
2.2.2. Microorganismos presentes en el tratamiento aireado	11
2.2.3. Reactor aerobio de flujo continuo sin recirculación de lodos	13
2.2.4. Metabolismo bacteriano	14
2.2.5. Cinética del crecimiento biológico	15
2.2.6. Cinética del reactor biológico continuo	15
2.2.7. Constante de velocidad de consumo de sustrato, k	16
2.2.8. Parámetro de producción celular, Y	18
2.2.9. Relación de sustrato consumido en metabolismo energético por sustrato total consumido, a	18
2.2.10. Parámetros referentes a la respiración endógena	18
2.2.11. Coeficiente de respiración endógena, k_d	19
2.2.12. Relación de oxígeno gastado por biomasa en respiración endógena, b	19
2.2.13. Balance de materia para determinar el consumo energético	19
2.2.14. Balance de materia para la determinación de producción neta de biomasa	21
2.2.15. Valores típicos de los coeficientes cinéticos	22
2.2.16. Límites máximo permisibles para efluentes de PTAR municipales y domésticas	23
2.3. Definición de términos	23
2.3.1. Biorreactor	23
2.3.2. Cinética química y biológica	23
2.3.3. Tratabilidad biológica	24
2.3.4. Respiración endógena	24
2.3.5. Demanda bioquímica de oxígeno	24

2.3.6.	Sólidos suspendidos del licor mezclado	24
CAPÍTULO III		25
MATERIALES Y MÉTODOS		25
3.1.	Ubicación geográfica	25
3.2.	Vía de Acceso	27
3.3.	Características Meteorológicas	27
3.4.	Unidad de análisis, universo y muestra.....	27
3.5.	Materiales	28
3.5.1.	Material experimental	28
3.5.2.	Materiales y equipos	28
3.6.	Diseño de la investigación.....	29
3.7.	Descripción del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto	30
3.7.1.	Unidad básica de saneamiento (UBS).....	30
3.7.2.	Medidor de agua	30
3.7.3.	Sistema de biorreactores aerobios continuos	31
3.7.4.	Sistema de difusión de aire	32
3.7.5.	Sistema de tratamiento de lodos	33
3.7.6.	Techos y coberturas	33
3.8.	Operación del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto.....	33
3.9.	Programa del monitoreo para la obtención de datos.....	35
3.10.	Técnicas de recopilación de información	36
3.11.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		40
4.1.	Caudal diario	40
4.2.	Temperatura.....	41
4.3.	Potencial de hidrógeno	43
4.5.	Sólidos disueltos totales	46
4.6.	Cloruro de sodio	47
4.7.	Turbiedad	48
4.8.	Oxígeno disuelto	48
4.9.	Sólidos sedimentables	49
4.10.	Sólidos suspendidos volátiles	50
4.11.	Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días	51
4.12.	Compuestos de nitrógeno	52
4.13.	Coliformes termotolerantes	53
4.14.	Organismos de vida libre.....	54

4.15. Eficiencia de remoción de los constituyentes	55
4.16. Coeficientes cinéticos	56
CAPÍTULO V	60
CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS.....	65
Anexo 1	66
Planos del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto.....	66
Anexo 2	69
Registro fotográfico	69
Anexo 3	74
Resultados de análisis en el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca	74
Anexo 4	103
Resultados tabulados	103
Anexo 5	110
Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno (VUO).....	110
Anexo 6	113
Determinación de los coeficientes cinéticos	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un reactor aerobio de flujo continuo sin recirculación de lodos (Crites y Tchobanoglous, 2000, p. 411).....	13
Figura 2. Patrón metabólico generalizado. (Valdez y Vásquez, 2003, p. 125)	15
Figura 3. Ubicación de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto en relación a la Ciudad de Celendín – Cajamarca- Perú. (Google Earth, 2017).....	25
Figura 4. Mapa de ubicación de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto– Caserío Santa Rosa – Celendín.....	26
Figura 5. Vista en planta de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto	31
Figura 6. Vista en elevación de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto. ...	32
Figura 7. Caudal diario y caudal promedio de ingreso a los biorreactores	40
Figura 8. Temperatura promedio del agua en los biorreactores	41
Figura 9. Temperatura ambiental registrada entre los meses de junio – noviembre 2016	41
Figura 10. Potencial de hidrógeno promedio en los biorreactores	43
Figura 11. Conductividad eléctrica promedio en los biorreactores	45
Figura 12. Sólidos disueltos totales promedio en los biorreactores	46
Figura 13. Cloruro de sodio promedio en los biorreactores	47
Figura 14. Turbidez promedio en los biorreactores.....	48
Figura 15. Oxígeno disuelto promedio	48
Figura 16. Sólidos sedimentables promedio en los biorreactores	49
Figura 17. Sólidos suspendidos volátiles promedio	50
Figura 18. Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días promedio	51
Figura 19. Nitrógeno total, amoniacal, nitritos/ nitratos en el afluente y efluente	52
Figura 20. Coliformes termotolerantes en el afluente y efluente	53
Figura 21. Organismos de vida libre.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros biocinéticos por diferentes autores.....	22
Tabla 2. Datos meteorológicos de la ciudad de Celendín	27
Tabla 3. Dimensiones de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto	31
Tabla 4. Frecuencia de los parámetros monitoreados	35
Tabla 5. Técnica de medición por parámetro evaluado	36

LISTA DE ABREVIACIONES

a	: Parámetro de utilización de oxígeno en la oxidación de sustrato
A/M	: relación alimento-microorganismo
b	: Parámetro de utilización de oxígeno utilizado en la respiración endógena
CE	: conductividad eléctrica
COV	: carga orgánica volumétrica
DBO ₅	: demanda bioquímica de oxígeno a 5 días de incubación
DON	: oxígeno gastado en la nitrificación
E	: eficiencia
IVL	: relación Sustrato/Biomasa
K	: velocidad de consumo de sustrato
K _d	: coeficiente de respiración endógena
LMP	: Límite máximo permisible
MINAM	: ministerio del ambiente
MLVSS ó SSVLM	: sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado
MVCS	: ministerio de vivienda construcción y saneamiento
NTU ó UTN	: unidades nefelométricas de turbiedad
Θ ó TRH ó T _h ó T	: tiempo de retención hidráulica
Θ_c	: tiempo de retención celular
OD	: oxígeno disuelto
pH	: potencial de hidrógeno
PTAR	: Planta de tratamiento de aguas residuales
R1, R2, R3, R4	: biorreactor 1, biorreactor 2, biorreactor 3, biorreactor 4
Se	: concentración de sustrato en el efluente
So	: concentración de sustrato en el influente

SS	: sólidos sedimentables
SST	: sólidos suspendidos totales
SSV	: sólidos suspendidos volátiles
UBS	: unidad básica de saneamiento
V	: volumen del biorreactor
VUO ó Rr	: velocidad de utilización del oxígeno
X	: concentración de microorganismos en el licor mezclado
Y	: parámetro de producción celular
μ	: velocidad específica de crecimiento de la biomasa

RESUMEN

El estudio de tratabilidad biológica de aguas residuales domésticas en biorreactores aerobios a escala piloto se realizó con las aguas residuales de la unidad básica de saneamiento (UBS) de una familia de 06 habitantes del caserío de Santa Rosa en el distrito de Celendín, provincia de Celendín, región Cajamarca, Perú. El estudio consistió en evaluar una serie de 04 reactores biológicos aireados operados en forma continua sin recirculación de lodos (R_1 , R_2 , R_3 y R_4 ; donde R_1 operó como un tanque de homogenización), hasta obtener condiciones estables de operación en lo concerniente a la materia orgánica expresada como demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 , biomasa expresada como sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado MLVSS; también se evaluó el caudal de ingreso, los tiempos de retención hidráulica y otros parámetros adicionales. Luego se procedió a registrar estos parámetros durante un período de tres meses, determinando que en cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO_5 se obtuvo una eficiencia superior al 77%, para los sólidos sedimentables mayor a 99%; y se obtuvieron los principales coeficientes cinéticos de tratabilidad biológica para los biorreactores R_2 , R_3 y R_4 , así: velocidad de consumo de sustrato, k (0,028; 0,002; 0,004 en d^{-1}); parámetro de producción celular, Y (0,0856; en mg MLVSS producido/mg sustrato consumido); coeficiente de respiración endógena, k_d (-0.1986; -0.3946; -0.6164 en d^{-1}); los coeficientes obtenidos indican que la velocidad de las reacciones son más lentas que las obtenidas en otras regiones del mundo; al ser un tanto diferentes a las citadas por otros autores; además se obtiene que las velocidades de reacción en R_2 son mayores que en R_3 y R_4 , debido a que, en R_2 la materia orgánica se encuentra en mayor concentración y está más biodisponible a los microorganismos.

Palabras clave: Biorreactor, coeficientes cinéticos, tratabilidad biológica, respiración endógena.

ABSTRACT

The study of biological treatability of domestic wastewater in aerobic bioreactors at pilot scale was carried out with the wastewater of the basic sanitation unit (UBS) of a family of 06 inhabitants of the Santa Rosa farmhouse in the Celendín district, province of Celendín, Cajamarca region, Peru. The study consisted of evaluating a series of 04 aerated biological reactors operated in a continuous manner without sludge recirculation (R1, R2, R3 and R4, where R1 operated as a homogenization tank), until obtaining stable operating conditions regarding the organic matter expressed as biochemical oxygen demand BOD₅, biomass expressed as volatile suspended solids of MLVSS mixed liquor; The flow of income, hydraulic retention times and other additional parameters were also evaluated. Then we proceeded to record these parameters over a period of three months, proceeding to perform the data processing, where it was determined that in terms of removal efficiency of BOD₅ an efficiency higher than 77% was obtained, for the higher settling solids to 99%; and the main kinetic coefficients of biological treatability were obtained for the bioreactors R2, R3 and R4, as follows: substrate consumption rate, k (0.028, 0.002, 0.004 in d⁻¹); cell production parameter, Y (0.0856 in mg MLVSS produced / mg substrate consumed); endogenous respiration, k_d (-0.1986; -0.3946; -0.6164 in d⁻¹); the obtained coefficients indicate that the speed of the reactions are slower than those obtained in other regions of the world; being somewhat different from those cited by other authors; it is also obtained that the reaction rates in R2 are greater than in R3 and R4, because in R2 the organic matter is in higher concentration and is more bioavailable to the microorganisms.

Keywords: Bioreactor, kinetic coefficients, biological treatability, endogenous respiration

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En un estudio de tratabilidad biológica de un tratamiento secundario de aguas residuales, lo imprescindible es determinar la fracción degradable e inerte de la materia orgánica y los coeficientes cinéticos que mayor influencia tienen sobre la producción de fangos y necesidades de oxígeno del proceso biológico. (Finamore, 1999, p.3) En consecuencia, los estudios de tratabilidad biológica, permite de forma específica establecer las características de tratamiento y las medidas de implementación con el fin de optimizar los resultados, así mismo permiten comprobar la eficiencia de tratamiento propuesto con pruebas de laboratorio antes de invertir en la ejecución de plantas de tratamiento de aguas residuales a escala real.

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas se vienen utilizando a nivel mundial reactores biológicos, donde el diseño matemático requiere hacer uso de coeficientes cinéticos (parámetros utilizados en los modelos matemáticos de procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales a partir de datos experimentales empleando reactores biológicos a nivel de laboratorio). (Ramalho, 1991, p.234) Generalmente, al no contarse con estos coeficientes para zonas locales (diferentes climas), se adoptan los obtenidos en otras zonas, a partir de fuentes bibliográficas, lo que conlleva a resultados poco confiables, mayores costos y bajos rendimientos; siendo los estudios de tratabilidad biológica; a escala

de laboratorio o piloto una alternativa para diseñar estos sistemas de tratamiento a escala real. (Romero, 2005, p. 422)

La problemática señalada, nos llevó a plantearnos la siguiente interrogante: *¿Cuál es el nivel de tratabilidad biológica de las aguas residuales domésticas en biorreactores aerobios continuos a escala piloto en el distrito de Celendín?*

En la presente investigación se determinó el nivel de tratabilidad biológica en los biorreactores aerobios continuos a escala piloto (4 reactores flujo continuo y en serie), la investigación se realizó en el caserío de Santa Rosa del distrito de Celendín; con las aguas residuales provenientes de la unidad básica de saneamiento UBS (servicio higiénico) de una familia; para las condiciones locales de la ciudad de Celendín, hasta alcanzar la estabilidad en la remoción de los contaminantes expresados en términos de concentración del sustrato en el influente, S_0 ; concentración del sustrato en el efluente, S_e ; así como en la biomasa, concentración de microorganismos en el licor mezclado, X y otros parámetros, temperatura; índice volumétrico de lodos IVL; relación Sustrato/Biomasa, F/M ; oxígeno disuelto, OD; luego a través de modelos matemáticos existentes en la literatura, se determinó los valores numéricos de los coeficientes cinéticos que gobiernan el sistema, con los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Determinar el nivel de tratabilidad biológica de las aguas residuales domésticas en biorreactores aerobios continuos a escala piloto en el distrito de Celendín.

Objetivos específicos

- Obtener condiciones estables de operación en un sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto.
- Determinar la DBO5 del influente (S_0) y efluente (S), tiempo de retención hidráulica (Θ) y concentración de microorganismos del licor mezclado MLVSS (X); en biorreactores aerobios continuos a escala piloto.
- Determinar los coeficientes cinéticos de biorreactores aerobios continuos a escala piloto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Méndez (1985) puso en marcha 5 reactores a escala de laboratorio (10 L), con flujo semibatch (Semi-continuo), completamente mezclados y, con tiempos de retención hidráulico igual al tiempo de retención celular de: 3, 6, 10, 15 y 20 días. Mediante los modelos presentados por Metcalf y Eddy, se obtuvo: $K_d = 0.001$; $Y=0.79$ basados en la DBO. Los valores de K , se reportan, pero no se recomienda el uso, por dar valores extraños (negativos). Utilizando el modelo desarrollado por Eckenfelder y Ford para la demanda de oxígeno, se obtuvo: $a = 0.79 \text{ g O}_2/\text{g SSV}$ y $b = 0.12 \text{ g O}_2/\text{g MLVSS día}$. Los valores de los coeficientes mencionados, son comparados con los valores típicos reportados en la literatura. Los coeficientes a y b , se encuentran dentro del rango reportado mientras que, Y está en el límite superior y K_d se sale del límite inferior. Las comparaciones, se realizaron con el valor de los coeficientes obtenidos, sin ser ajustados por factores de seguridad. (p. 19)

Finamore (1999). En su investigación constantes cinéticas en un sistema de lodos activados a escala laboratorio; determinó los porcentajes de remoción de materia orgánica, la eficiencia de cada etapa, siendo el rango obtenido entre 65 y 90 % para DQO y entre 63 y 88% para DBO₅. Considerando la influencia del clima y el origen del líquido residual a ser tratado, las constantes cinéticas obtenidas $K_S= 35 \text{ mg DBO/l}$,

$k= 0,64 \text{ d}^{-1}$, $Y= 0,39 \text{ mg SSVLM/mg DBO}$ y $k_d= 0,034 \text{ d}^{-1}$ son representativas de un sistema de lodos activados a escala laboratorio alimentado con líquido residual de origen municipal, y operando en condiciones de clima tropical. (p. 15).

De Francisco (2003) ha estudiado el efecto que produce la temperatura en los procesos de depuración biológica por lodos activos, desarrollando la influencia de dicho factor en cada una de las etapas de la línea de agua de una estación depuradora (pretratamiento, decantación primaria, reactor biológico, decantación secundaria); determinó que los efectos de la temperatura en los procesos meramente físicos, son mínimos, únicamente provocados por la variación de la densidad del agua residual. En cambio, la influencia de la temperatura en los rendimientos obtenidos en el reactor biológico y en la posterior decantación, es más acusada, por afectar al crecimiento y desarrollo de los microorganismos responsables de la depuración biológica. Influye en gran parte de los parámetros, tales como la edad del fango, la producción de lodos, etc. Se ha comprobado que el efecto puede ser tal que puede llegar a "congelar" el desarrollo microbiano, inhibiendo el proceso de depuración biológica. (p.32).

Méndez *et al.* (2004). Realizaron el tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio en los laboratorios de la Universidad Agraria la Molina de Lima – Perú. Diseñaron un módulo compuesto por 6 minirreactores. Las aguas residuales fueron suministradas a cada minirreactor mediante un dosificador, el mismo que fue abastecido por medio de una bomba peristáltica. (p.12) Las ecuaciones empleadas fueron deducidas según los procedimientos de Eckenfelder (1970) y Metcalf& Eddy (1998). Con los resultados analíticos obtenidos se determinó las constantes cinéticas de crecimiento biológico, a escala de laboratorio, utilizando el método de lodos activados. Las constantes cinéticas obtenidas empleando un agua residual sintética fueron: $a: 0.8763$ (Parámetro de utilización de oxígeno para la

oxidación de sustrato), b : 0.0744 (Parámetro de utilización de oxígeno utilizado en la respiración endógena), Y : 0.0494 (Coeficiente de producción de biomasa por consumo de sustrato), k_d : 0.00048 d^{-1} (Coeficiente de consumo de biomasa por respiración endógena), k : 0.0025 $h^{-1} \cdot l/mg$ (Constante de velocidad de consumo de sustrato). Estos coeficientes cinéticos; obtenidos son diferentes a los registrados en la literatura.

Chávez (2004), estudió el coeficiente de transferencia de oxígeno y de la potencia del aireador de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria guatemalteca de alimentos, con la finalidad de determinar la potencia óptima a utilizar para proporcionar la cantidad de oxígeno necesaria para el crecimiento de los microorganismos responsables de la degradación biológica. La parte experimental está basada en la determinación de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua a diferentes intervalos de tiempo, después de haberle aplicado aireación, al interrumpir la misma y al reincorporársela de nuevo. Adicional, se realizó un recuento microbiológico, por medio del cual fue posible determinar las tendencias del crecimiento microbiológico al aplicar la aireación por diferentes intervalos de tiempo. A partir del análisis de los resultados obtenidos en la parte experimental se determinó que el coeficiente máximo de transferencia de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de alimentos estudiada es de 4.3 $kg/kg\text{-min}$, tendiendo este coeficiente a disminuir al aumentar la cantidad de microorganismos presentes. Se determinó a su vez el tiempo óptimo de aireación del agua residual de esta planta de tratamiento, siendo éste de 15 a 20 horas, debido a que, en este punto la tasa específica de crecimiento de microorganismos se encuentra en su punto máximo. Para proveer la cantidad de oxígeno necesaria para el tratamiento de esta agua residual es necesario contar con una bomba cuya potencia sea de 2.5HP.

La Norma Técnica Peruana OS 090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, recomienda que para el diseño de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales se debe realizar plantas a escala de laboratorio con una capacidad de 40 L/d ó plantas a escala piloto con una capacidad de alrededor de 40 – 60 m³/d, con la finalidad de determinar las constantes cinéticas y parámetros de diseño (estudios de tratabilidad de las aguas residuales) para diversas condiciones climáticas. (MVCS, 2005, p. 23)

Ramon *et al.* (2007), determinaron la cinética de reacción del tratamiento biológico del agua residual, mediante la construcción y puesta en marcha de un reactor piloto discontinuo de lodos activos, diseñaron un reactor de lodos activos que operó en condiciones discontinuas, cargando el reactor con aguas residual dejando reaccionar durante un periodo de tiempo definido para obtener las condiciones óptimas para el tratamiento del agua residual. El reactor fue construido con una geometría rectangular con material de vidrio y un volumen total de 30 litros, se utilizaron compresores pequeños como sistemas de aireación y para la agitación se construyó un mecanismo por medio de un motor y palas del rodete axial situadas de forma paralelas al eje vertical del agitador y del tanque. Se realizaron ensayos durante 9 horas y en el cual se recolectaron muestras cada hora y media, a estas muestras se le determinaron DBO₅, SSV, SST, OD y SS, con esta información se aplicaron dos planteamientos que permitieran encontrar los coeficientes cinéticos que gobiernan el proceso de degradación y crecimiento biológico, utilizando el modelo de Orozco y de flujo pistón y con los sólidos sedimentables se determinaron las características de sedimentación del sólidos generados durante el proceso.

Varila y Díaz (2008), realizaron el diseño, la construcción, la puesta en marcha y operación de un biorreactor de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio. El modelo seleccionado es una adaptación del propuesto por

Reynolds & Richards (2006), las ecuaciones empleadas fueron deducidas según los procedimientos de Metcalf & Eddy (1998) y Ramalho (2003). El reactor construido contó con un volumen total de 18 litros de capacidad, de los cuales 12 litros correspondieron a la zona de aireación y 6 litros a la zona de sedimentación, dichas zonas separadas por medio de un deflector regulable. El sistema fue evaluado por medio de un agua residual sintética de baja carga y composición conocida durante cuatro semanas con tiempos de retención hidráulica (Θ) de 5, 14, 24 y 36 horas y celular (Θ_c) de 7 días. Durante la evaluación se realizaron diariamente determinaciones de pH, temperatura y oxígeno disuelto, así mismo se determinaron tres veces por semana la DQO en el afluente y efluente, la velocidad de utilización de oxígeno, el índice volumétrico de lodos y los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM). El contenido promedio mensual de materia orgánica en términos de DQO del afluente se encontró en 290 mg/L, mientras que en el efluente se encontró en el intervalo de 31 a 76 mg/L, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO entre 73 y 90%. Los valores de la DQO del efluente y la VUO permanecieron entre 30 - 35 mg/L y 0.3 - 0.4 mg/L.min respectivamente durante las dos últimas semanas de operación del sistema, por lo que se concluye el sistema logró estabilizarse y alcanzar las condiciones de equilibrio. El porcentaje de remoción de la DQO aumenta a medida que incrementan los tiempos de retención hidráulica del sistema, llegando a un 90% para (Θ) mayor a 14 horas. El índice volumétrico de lodos osciló entre 1.2 y 2.3 ml/g, valores que indican que el lodo cultivado es de decantación pobre y presenta el problema denominado lodo filamentoso. Los coeficientes cinéticos de crecimiento biológico obtenidos en esta investigación, representativos para un agua residual sintética de baja carga fueron las siguientes: $k=1.5 \text{ d}^{-1}$, $Y=0,038 \text{ mg SSVLM/mg DBO}$, $k_d=0,1 \text{ d}^{-1}$, $a=0.4612 \text{ mg O}_2/\text{mg DQO}$ y $b=0.6 \text{ d}^{-1}$.

Chose y Galarza (2012) desarrollaron una investigación dirigida a la evaluación de un modelo físico a escala laboratorio para determinar los coeficientes cinéticos de un proceso de lodos activados para las aguas residuales de la ciudad de Huancayo, instalaron un reactor biológico de vidrio a escala de laboratorio conformado por un tanque agitado de 5,6 L y un sedimentador de 5,1 L. Antes de la puesta en marcha se caracterizó el efluente en estudio, colector doméstico se aisló las bacterias degradadoras de la materia orgánica; en la puesta en marcha, se inoculó al reactor en un cultivo de microorganismos denominado consorcio bacteriano, posteriormente se dio inicio con la etapa de aclimatación, que duró aproximadamente tres meses; después de su aclimatación se alimentó el reactor con las mismas aguas residuales. Las actividades posteriores a la etapa de aclimatación fueron: monitoreo diario de temperatura, pH y oxígeno disuelto, para el cual se utilizó sensores conectado directamente a una computadora, los valores promedio de los datos son: 15,4 °C; 7,4 y 2,4 ppm respectivamente; además según el tiempo de residencia del sistema los cuales fueron de 0,6 día; 1,0 día y 1,3 días se realizó el análisis de la DQO en la entrada y salida del sistema y los sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (SSVLM), obteniéndose los siguientes valores promedios respectivamente: 216 ppm, 224 ppm y 230 ppm. La información generada por estos análisis, permitió visualizar el comportamiento de la biomasa frente a la materia orgánica a los distintos tiempos de residencia los cuales se emplearon para determinar los coeficientes cinéticos cuyos valores obtenidos experimentalmente son: $k = 5,99 \text{ días}^{-1}$; $K_s = 226,91 \text{ mg DQO/L}$; $k_d = 0,0161 \text{ días}^{-1}$ y $Y = 0,4078 \text{ mg SSVLM/mg DQO}$. (p.5)

Rojas *et al.* (2012) realizaron la evaluación del arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales hospitalarias, a base de lodos activados. Para ello se tomaron 13 muestras compuestas proporcionales a caudal semanalmente de marzo a junio de

2011. La eficiencia fue evaluada mediante carga orgánica volumétrica (COV), concentración de oxígeno disuelto, tiempo de retención hidráulico (TRH), relación alimento-microorganismo (A/M), así como la eficiencia en la remoción de DBO₅ y DQO. Los resultados mostraron que durante las primeras siete semanas se presentó la etapa de arranque, que coincidió con valores bajos de la COV, oxígeno disuelto, relación A/M y eficiencias de remoción en términos de DBO₅ y DQO, a diferencia del TRH que se mantuvo alto. A partir de la octava semana, la concentración de oxígeno disuelto, la COV y la relación A/M se mantuvieron dentro de los rangos ideales, lo que permitió incrementar la eficiencia de remoción en términos de DBO₅ y DQO. Sin embargo, el TRH siguió aumentando para mantenerse constante, correspondiendo esta etapa a la de estabilización de la planta. (p. 2).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tratamiento biológico

El principio fundamental del proceso biológico es la autopurificación de las aguas, donde los sólidos suspendidos y la materia orgánica disuelta son transformados en materia celular, gases (CO₂) y energía, mediante la acción de microorganismos. (López, 2003, p. 9) Los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos. La fuente de carbono y/o energía se denomina sustrato, por lo que en estos tratamientos la eliminación de contaminantes se conoce como consumo de sustrato. Los procesos de crecimiento de biomasa y de consumo de sustrato están totalmente relacionados, denominándose rendimiento a la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato eliminado. (Ferrer y Seco, 2008, p. 53)

Los microorganismos que forman parte en el tratamiento de aguas residuales son esencialmente los mismos que aquellos que degradan el material orgánico en los ecosistemas de agua dulce (Valdez y Vázquez, 2003, p. 128); para obtener una mejor eficiencia de remoción en el tratamiento biológico, en las plantas de tratamiento a través de reactores biológicos se pretende acelerar y optimizar dicho proceso considerando las características del agua residual (nutrientes y ausencia de compuestos tóxicos), condiciones del sistema (temperatura, pH, concentración de oxígeno adecuado), y tipo de microorganismos que requieren de C, N, H, y en menor proporción; F, S, K, Ca, Mg, Zn, Mo, además de limitar la concentración de algunas sustancias que inhiben su crecimiento, propiciando así una mejor estabilización de la materia orgánica. (López, 2003, p. 32)

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios. (Ramalho, 1991, p. 245)

2.2.2. Microorganismos presentes en el tratamiento aireado

Según Vilasaca, M (2001). Los principales microorganismos que se encuentran en los tratamientos biológicos de depuración son:

- Bacterias. Constituyen la población mayoritaria y más importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las distintas actividades bioquímicas de las bacterias como grupo, les permiten metabolizar la mayor parte de los compuestos orgánicos que se encuentran en las aguas residuales. Son microorganismos heterótrofos, es decir, utilizan la materia orgánica como fuente de carbono. Una característica importante de algunas bacterias es su

capacidad de flocular sedimentando mejor. Se encuentran: cocáceas, pseudomonas, actinomicetus, entre otros.

- Protozoos. Son organismos unicelulares que pueden metabolizar tanto alimentos solubles como insolubles. Reducen la concentración de bacterias y materia orgánica particular y ayudan a que el efluente sea más claro y de mejor calidad. Son los organismos más abundantes de la microfauna en los fangos activados, y pueden llegar a alcanzar valores medios de 5.000 individuos/ml en los reactores biológicos, constituyendo aproximadamente el 5% del peso seco de los sólidos en suspensión del licor mezcla.

Los grupos básicos que pueden observarse en los fangos activados son: Flagelados, amebas (desnuda y arcela), ciliados nadadores libres (paramecio, blepharisma, litonotus), ciliados reptantes (hipotricos, ejm. Aspidisca, Euplotes sp.), ciliados pedunculados (peritricos, ejm Vorticella, Opercularia, Epystilis), suctorias (Podophrya fixa).

- Metazoos, se puede encontrar rotíferos (se alimentan de protozoos y bacterias) y nemátodos
- Hongos
- Algas
- Crustáceos se encuentran en sistemas bien estabilizados utilizando organismos pequeños como fuente principal de alimento, indican efluentes de alta calidad.
- Pequeños Invertebrados inferiores

Las bacterias, hongos y algunos protozoos flagelados son microorganismos descomponedores. Los protozoos y metazoos (rotíferos y nemátodos) son microorganismos consumidores.

Entre la puesta en marcha y la estabilización de la estación depuradora se producen sucesiones en las poblaciones de microorganismos. En la fase inicial dominan las bacterias dispersas y los protozoos que entran con el influente. Aumenta el número de bacterias. Aparecen los ciliados nadadores libres. Los flóculos se van formando y disminuye el número de bacterias libres y de protozoos flagelados. Se desarrollan los ciliados pedunculados y reptantes con estructuras bucales eficaces para la captura de alimento, estos acaban por desplazar a los ciliados nadadores. Más tarde, aparecen los metazoos por encontrarse en el final de la cadena. (p. 5)

2.2.3. Reactor aerobio de flujo continuo sin recirculación de lodos

Es un sistema en el cual el agua va a ser procesada en un tratamiento secundario, en un digestor aeróbico de mezclado completo sin recirculación. Figura 1.

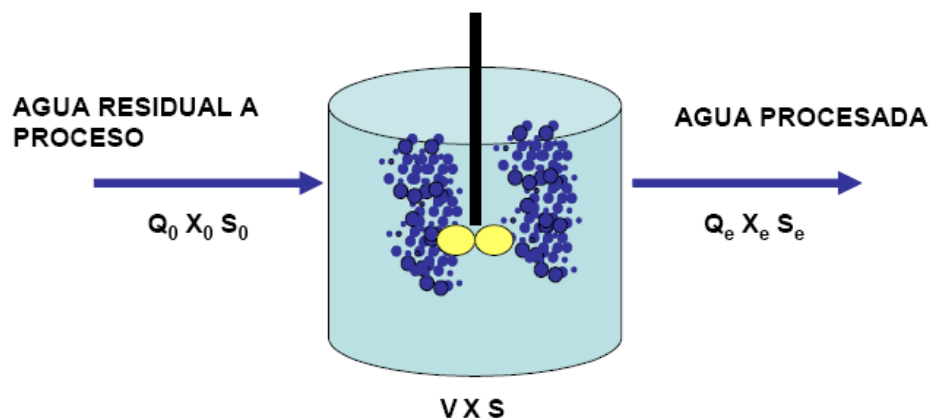


Figura 1. Esquema de un reactor aerobio de flujo continuo sin recirculación de lodos (Crites y Tchobanoglous, 2000, p. 411)

En este tipo de reactor el agua a procesar entra directamente al digestor en donde se asume se tienen las condiciones adecuadas para el crecimiento microbiano como son: pH, temperatura, nutrientes, entre otros, además del oxígeno necesario para que la

ruta de descomposición del material orgánico sea la aerobia. El sustrato contenido en el agua residual es convertido a gases y nuevas células por los microorganismos presentes en el medio. Después de un cierto tiempo, la cantidad de biomasa (sólidos volátiles suspendidos) se incrementa a expensas de la DBO o sustrato que disminuye. (Metcalf y Edy, 1998, p. 365)

2.2.4. Metabolismo bacteriano

El proceso que permite a los microorganismos crecer y obtener energía es complejo, abarca todas las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la célula. Las dos reacciones principales que conforman el proceso metabólico se conocen como: reacciones catabólicas y reacciones anabólicas. Las reacciones catabólicas producen la descomposición de moléculas orgánicas complejas en sustancias simples, junto con la liberación de energía. Las reacciones anabólicas permiten la formación de más moléculas complejas, y generalmente requieren energía. La energía para las reacciones anabólicas se obtiene de las reacciones catabólicas. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p. 403)

Cuando una fuente de alimentación externa se interrumpe, los microorganismos usarán alimento almacenado en ellos mismos para mantenerse con energía; este proceso es llamado catabolismo endógeno. Cada tipo de microorganismo tiene su propio patrón metabólico a partir de agentes reactivos específicos para dar productos finales específicos. (Valdez y Vázquez, 2003, 135)

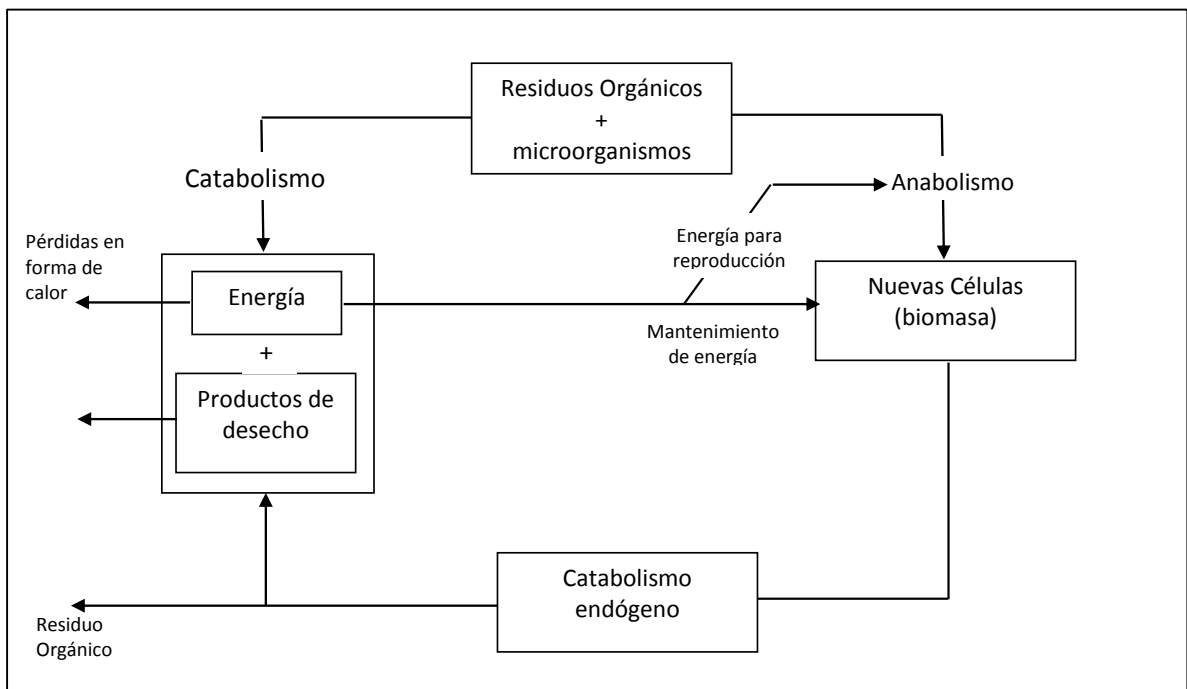


Figura 2. Patrón metabólico generalizado. (Valdez y Vásquez, 2003, p. 125)

2.2.5. Cinética del crecimiento biológico

El estudio de la cinética del tratamiento biológico conduce a determinar la velocidad a la cual los microorganismos degradan un residuo específico y por lo tanto suministran la información básica necesaria para desarrollar el tamaño de los reactores biológicos aerobios a escala real. Es imprescindible conocer la producción de sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado (MLVSS) y el consumo de oxígeno para diseñar los reactores biológicos aerobios. Para obtener modelos matemáticos que conduzcan a la determinación de estos valores se definen los parámetros biocinéticos designados mediante los símbolos K , Y , K_d , a y b ; los que se pretenden determinar en la presente investigación. (Ramalho, 1991, p. 229)

2.2.6. Cinética del reactor biológico continuo

La evaluación de los parámetros se lleva a cabo usando reactores biológicos continuos a escala semi-piloto. Un flujo continuo de agua residual conteniendo una mezcla de

microorganismos se introduce en los reactores y se hace circular aire comprimido dentro del sistema, desde el cual sale continuamente el material que ha reaccionado (agua residual tratada). El lodo biológico (MLVSS) se mantiene en un estado de mezcla completa debido a la agitación proporcionada por el aire soplando en el sistema. Se determina la concentración de sustrato, S , del agua residual (medida como DBO soluble) a intervalos de tiempo seleccionados mediante extracción de muestras para su análisis. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p. 427) La masa de lodo biológico acumulado (MLVSS) se determina asimismo en esos intervalos midiendo la concentración de MLVSS en las muestras extraídas. La DBO del agua residual del reactor continuo opera en régimen estacionario permaneciendo constante (S_e). Esto corresponde generalmente a una concentración baja de sustrato ya que el reactor biológico se proyecta normalmente para consumir la mayor parte de la DBO influente. La concentración de MLVSS en el reactor continuo, operando en condiciones estacionarias, se mantiene constante, el mantenimiento se debe a la purga del lodo de exceso del sistema. (Ramalho, 1991, p. 262)

En la presente investigación se utilizará los modelos matemáticos presentados por Ramalho 1991; presentando en adelante, un extracto de las ecuaciones para la determinación de los coeficientes cinéticos.

2.2.7. Constante de velocidad de consumo de sustrato, k

La determinación de este coeficiente cinético se realiza a partir de un balance de masa en un reactor biológico continuo; por la utilización de la materia orgánica en la degradación aerobia. En función al volumen del reactor, expresando por unidad de masa de MLVSS presente en el reactor, se obtiene la velocidad específica de consumo de sustrato, q .

$$q = \frac{1}{X} \left(\frac{ds}{dt} \right)_a = \frac{S_o - S_e}{X * T_h} = \frac{\text{mg/L de DBO consumida}}{\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de MLVSS} \right) * (d)}$$

Donde:

q: velocidad específica de consumo de sustrato, d⁻¹

X: Concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado MLVSS, mg/L.

S_o: Concentración de la DBO del afluente, mg/L.

S_e: Concentración de la DBO del efluente, mg/L

T_h: Tiempo de residencia hidráulica en el reactor, d.

$\left(\frac{ds}{dt} \right)_a$: valor absoluto de la velocidad del consumo de sustrato debida a la utilización de materia orgánica.

El consumo de sustrato a concentraciones bajas del mismo (correspondiente a valores de la DBO por debajo de 500 mg/L), sigue una cinética de primer orden, aplicable a reactores continuos de mezcla completa. Obteniendo la siguiente expresión:

$$q = \frac{S_o - S_e}{X * T_h} = kS_e$$

Donde:

k: es la constante de velocidad de consumo de sustrato, d⁻¹. L/mg

La velocidad específica de consumo de sustrato, q, es proporcional al consumo de sustrato (cinética de primer orden).

La constante de velocidad de consumo de sustrato, se determina mediante una representación gráfica de $\frac{S_0 - S_e}{X * T_h}$ en función de S_e ; a través de la pendiente de la recta resultante; cuando la recta pasa por el origen significa que el total de la materia orgánica es biodegradable, pero cuando no pasa por el origen, la distancia a la abscisa, S_n corresponde a la concentración de la materia orgánica no biodegradable.

2.2.8. Parámetro de producción celular, Y

Se presenta en el proceso del metabolismo celular, durante la síntesis o aumento de biomasa; representa la producción de lodo biológico por Kg de sustrato total consumido

$$Y = \frac{\text{Kg de MLVSS producidos}}{\text{Kg de sustrato total consumido}}$$

2.2.9. Relación de sustrato consumido en metabolismo energético por sustrato total consumido, a

Se presenta durante la oxidación del sustrato, cuando una parte (generalmente es las dos terceras partes del sustrato consumido) se emplea para las necesidades energéticas, durante el metabolismo energético (anabolismo).

$$a = \frac{\text{Kg de sustrato consumido utilizado para el metabolismo energético}}{\text{Kg de sustrato total consumido}}$$

2.2.10. Parámetros referentes a la respiración endógena

La respiración endógena es la oxidación de la materia celular con objeto de proporcionar energía para el mantenimiento de los microorganismos, cuando el sustrato ha sido consumido.

2.2.11. Coeficiente de respiración endógena, k_d

Se define como la fracción de MLVSS por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena, se expresa en unidades de tiempo⁻¹. Ejemplo $K_d = 0.1 \text{ d}^{-1}$, significa que el 10% del total de MLVSS del reactor continuo, es oxidada por día; coeficiente de descomposición microbiana.

$$K_d = \frac{\text{Kg de MLVSS oxidados}}{d * \text{Kg MLVSS en el reactor}}$$

Por lo tanto, dado un volumen del reactor, V , los Kg de MLVSS oxidados por día son:

$$\frac{\text{Kg}}{d} \text{ de MLVSS oxidados (resp. endóg)} = K_d * (\text{Kg MLVSS en el reactor}) = K_d * X * V$$

2.2.12. Relación de oxígeno gastado por biomasa en respiración endógena, b

Definido como los Kg de oxígeno utilizado por día por Kg de MLVSS en el reactor en el proceso de respiración endógena.

$$b = \frac{\text{Kg } O_2}{d * \text{Kg MLVSS en el reactor}}$$

Por ello, el consumo de oxígeno en la respiración endógena es:

$$\frac{\text{Kg } O_2}{d} (\text{resp. endógena}) = bXV$$

2.2.13. Balance de materia para determinar el consumo energético

En el metabolismo energético se requiere oxígeno para dos fines:

1. Oxidar el sustrato con objeto de proporcionar energía a las células

$$\frac{\text{Kg } O_2}{d} (\text{Oxidación del sustrato}) = a(S_0 - S_e)Q = aS_rQ$$

Donde:

$S_r = (S_0 - S_e)$: Sustrato total consumido

2. En el proceso de respiración endógena

$$\frac{Kg O_2}{d} (resp. endógena) = bXV$$

El consumo total o neto de oxígeno:

$$\frac{Kg O_2}{d} (neta) = aS_rQ + bXV$$

En el consumo total de oxígeno de la fórmula no se incluye el oxígeno utilizado en la nitrificación (DON); debido a que, se trata solamente del metabolismo de compuestos carbonosos.

El oxígeno consumido por día, debe expresarse por unidad de volumen del reactor:

$$VUO * V$$

$$VUO * V = a(S_0 - S_e)Q + bXV$$

VUO: velocidad de utilización del oxígeno

La expresión, también debe expresarse en función a la cantidad de MLVSS, de la siguiente manera:

$$\frac{VUO}{X} = \frac{a(S_0 - S_e)}{X * T_h} + b$$

$$\frac{VUO}{X} = R_{O_2}$$

La expresión R_{O_2} : velocidad específica de consumo de oxígeno; es una medida del consumo de oxígeno por unidad de tiempo y unidad de masa de lodo presente en el reactor; cuyas unidades de medida son $\frac{Kg O_2}{d * Kg de MLVSS}$; reemplazando el término de velocidad de consumo de sustrato, q; se tiene la nueva ecuación:

$$R_{O_2} = aq + b$$

La gráfica de la ecuación es una línea recta, donde la pendiente es el parámetro “a” y la ordenada en el origen es el parámetro “b”.

2.2.14. Balance de materia para la determinación de producción neta de biomasa

Se realiza en el metabolismo celular, en dos fases:

1. Una fracción de sustrato consumida se utiliza en la producción de MLVSS o biomasa consumida por consumo de sustrato

$$\frac{Kg}{d} \text{ de MLVSS producido} = Y(S_0 - S_e)Q = YS_n Q$$

2. Parte de biomasa producida se pierde en respiración endógena o biomasa pérdida en respiración endógena

$$\frac{Kg}{d} \text{ de MLVSS oxidado (resp. endógena)} = K_d X V$$

La producción total o neta:

$$\frac{Kg}{d} \text{ MLVSS (neta)} = \frac{Kg}{d} \text{ de MLVSS prod.} - \frac{Kg}{d} \text{ de MLVSS oxidado (resp. endóg.)}$$

$$\frac{Kg}{d} \text{ MLVSS (neta)} = Y S_r Q - K_d X V = \Delta X$$

La expresión anterior se puede escribir así:

$$\frac{\Delta X/V}{X} = Y \frac{S_0 - S_e}{X * T_h} - K_d$$

Haciendo a la expresión $\frac{\Delta X/V}{X} = \mu$, se expresa en las siguientes

unidades: $\frac{Kg \text{ MLVSS producido}}{d * Kg \text{ MLVSS}}$

μ : velocidad específica de crecimiento de la biomasa, corresponde a la producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor. Y reemplazando el término de la velocidad específica de consumo de sustrato por q; la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\mu = Yq - K_d$$

La representación de esta ecuación es una línea recta, a partir de su pendiente y la ordenada en el origen, se obtiene los parámetros Y y K_d ; de producción de lodo.

2.2.15. Valores típicos de los coeficientes cinéticos

Para aplicar las ecuaciones presentadas es necesario tener valores numéricos disponibles de los coeficientes cinéticos. En la Tabla 1, se presentan los valores usuales de los coeficientes cinéticos.

Tabla 1. Parámetros biocinéticos por diferentes autores

Coefficiente cinético	Unidades	Ramalho 1993	Metcalf y Eddy 1998	Finamore, et al. 1999	Varila y Díaz 2008	Méndez, et al. 2004	Mendez 1985
K	$d^{-1} \cdot L/mg$	0.017 – 0.03	2 - 10	0.64	1.5	0.144	
a	$Kg O_2/Kg DBO_5$ consumida	0.52			0.4612	0.4756	0.79
Y	$Kg LMVSS/Kg DBO_5$ consumida	0.73	0.4 – 0.8	0.39	0.038	0.035	0.79
k_d	d^{-1}	0.075	0.04 – 0.075	0.034	0.1	0.000144	0.001
Ks	$Mg DBO_5/L$		25 - 100	35			
b	$Kg O_2/KgLM VSS \cdot d$				0.6	0.0672	0.12

2.2.16. Límites máximo permisibles para efluentes de PTAR municipales y domésticas

La Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (PCM, 2005, p. 13)

Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano. (MINAM, 2010, p. 1)

2.3. Definición de términos

2.3.1. Biorreactor

Un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. (Valdez y Vázquez, 2003, 292)

2.3.2. Cinética química y biológica

La cinética química es el estudio de la velocidad de las reacciones y la comprensión de los mecanismos de las mismas. La cinética biológica es la cinética enzimática que estudia la velocidad de reacciones catalizadas enzimáticamente. La velocidad de una reacción catalizada por un enzima depende de la concentración de moléculas de sustrato, la temperatura, la presencia de inhibidores, pH del

medio, que afecta a la conformación (estructura espacial) de la molécula enzimática. (Ferrer y Seco, 2008, p. 53)

2.3.3. Tratabilidad biológica

La tratabilidad del agua se evalúa mediante la determinación de sus fracciones orgánicas con diferentes niveles de degradación y de los coeficientes cinéticos que tienen una mayor influencia tanto en la producción de fangos como en las necesidades de oxígeno de un proceso biológico. (Ramalho, 1991, p. 223)

2.3.4. Respiración endógena

Es la autooxidación producida en los organismos debido a los procesos biológicos. Se da cuando se agotan las reservas de alimentos, también se da en microorganismos cuando metabolizan su material celular sin reponerlo, esto provoca su destrucción. (Romero, 2005, p. 479)

2.3.5. Demanda bioquímica de oxígeno

Es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. (MVCS, 2005, p. 4)

2.3.6. Sólidos suspendidos del licor mezclado

Representa la cantidad de microorganismos o biomasa en el tanque de aireación o biorreactor, medidos como masa por unidad de volumen. (MVCS, 2005, p. 5)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

Los biorreactores aerobios continuos a escala piloto, están ubicados en el predio del señor Emiliano Carmona en las laderas de la margen derecha del río Grande, entre las quebradas Cauchamayo y Mutuy, afluentes al río Grande en el caserío de Santa Rosa, del distrito de Celendín (área rural del distrito), departamento de Cajamarca , a una distancia de 2,5 Km con dirección Sur-Este desde el centro de la ciudad, en las coordenadas geográficas $6^{\circ}52'31.04''$: Latitud Sur; y $78^{\circ}7'51.78''$ Longitud Oeste, a una altitud de 2653 msnm, la temperatura máxima 20.9°C mínima $6,7^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa de 77%. (SENAMHI 2017)



Figura 3. Ubicación de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto en relación a la Ciudad de Celendín – Cajamarca- Perú. (Google Earth, 2017)

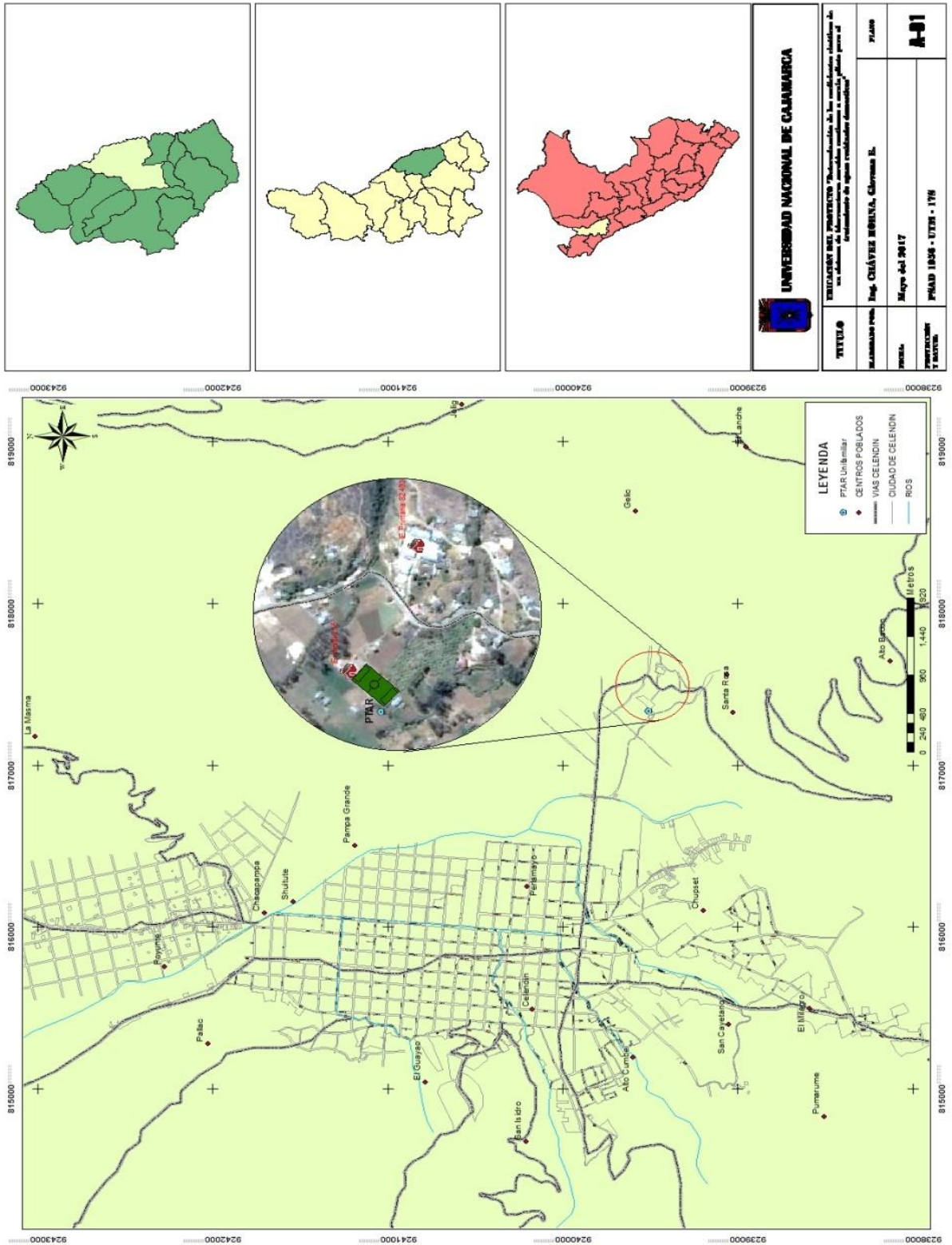


Figura 4. Mapa de ubicación de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto– Caserío Santa Rosa – Celendín

3.2. Vía de Acceso

La vía de acceso es la carretera Celendín – Amazonas a 2,5 Km. desde el centro de la ciudad de Celendín, en el Km. 101, PE 08B se accede por un camino peatonal a 150 m de la carretera.

3.3. Características Meteorológicas

Los datos meteorológicos promedio comprendidos entre los años 2015 – 2017 se muestran en la Tabla2.

Tabla 2. Datos meteorológicos de la ciudad de Celendín

FACTORES	VALOR
Temperatura máxima (anual)	20.9° C
Temperatura media (anual)	14.6° C
Temperatura mínima (anual)	6.7° C
Humedad relativa	77%
Precipitación promedio anual	923 mm/año
Estiaje	Junio a Setiembre
Régimen de lluvias	Diciembre a Marzo.
Dirección de vientos	NW - SE
Cambio térmico	Moderado
Origen de Humedad y Lluvias	Trans amazónicas

Fuente. SENAMHI. 2015 - 2017

3.4. Unidad de análisis, universo y muestra

Población y muestra

La población y muestra son los biorreactores aerobios continuos a escala piloto (R₁, R₂, R₃ y R₄); que operan con las aguas residuales provenientes de la Unidad Básica de Saneamiento– UBS de una familia de 6 habitantes en el caserío de Santa Rosa del distrito de Celendín.

Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde a las aguas en proceso de tratamiento, presentes en los biorreactores aerobios continuos a escala piloto.

Unidad de observación

Son volúmenes de agua residual provenientes de los diferentes puntos de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto. Los que fueron evaluados a través de los parámetros de monitoreo ya sea insitu (parámetros de campo) o en un laboratorio (300 a 1000 mL.; por parámetro y punto de monitoreo).

3.5. Materiales

3.5.1. Material experimental

- Aguas residuales crudas de la UBS.
- 04 biorreactores aerobios continuos a escala piloto ubicados en serie.

3.5.2. Materiales y equipos

Materiales

- Frascos de plástico de 1L.
- Cono immhoff y soporte
- Frascos winkler para OD de 300 mL.
- Frascos de vidrio de 100 mL.
- Probeta de 100 mL, 1000 mL.
- Cooler térmico
- Hielo seco
- Equipo de protección personal (mandil, guantes, mascarilla)
- Ficha de registro, hojas de cadena de custodia

Equipos

- Potenciómetro portátil, marca Hanna
- Turbidímetro,
- Equipo multiparámetro
- Termómetro ambiental de alcohol
- Cámara fotográfica
- Cronómetro

Reactivos

- Agua destilada
- Solución yoduro alcalina
- Solución sulfato de manganeso
- Ácido sulfúrico concentrado

3.6. Diseño de la investigación

El diseño es pre-experimental porque no existe la posibilidad de comparación de grupos. Por lo cual este tipo de diseño consiste en administrar un tratamiento o estímulo en la modalidad de sólo postprueba. (Hernández, S, R. et al, 2006, p. 217)

Consiste en administrar el tratamiento “X”, a un grupo “G” y después aplicar ocho mediciones O1, O2, O3 ... O8 observándolas variables en ocho intervalos de tiempo.

G	X	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Significado de los símbolos:

Símbolo	Significado
G	Grupo de sujetos (G: el agua en proceso de tratamiento en la Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto).
X	Tratamiento, estímulo o condición experimental: Es el tratamiento que se da al agua residual en la Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto.
O	Medición de los sujetos del grupo (post prueba, que consistió en medir las variables).

3.7. Descripción del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto

Los biorreactores aerobios continuos a escala piloto fueron instalados el año 2013 en el caserío de Santa Rosa en el predio del señor Emiliano Carmona; para tratar las aguas residuales provenientes de una Unidad Básica de Saneamiento (UBS) de una familia de 6 habitantes. El sistema consta de 04 unidades de tratamiento (R₁, R₂, R₃ y R₄) y accesorios; a continuación, se detallan:

3.7.1. Unidad básica de saneamiento (UBS)

La UBS está constituida por un inodoro convencional con arrastre hidráulico cuyo tanque de agua es 6 litros de capacidad, así como un lavatorio de manos y una regadera o ducha para el aseo personal; en un área de 5m² aproximadamente, construida de concreto y puerta de aluminio y vidrio.

3.7.2. Medidor de agua

El medidor de agua con micro medición (aproximación a 0,0001m³), está instalado antes de la tubería de ingreso a la UBS. Con la finalidad de registrar los volúmenes de agua que ingresan hacia el sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto.

3.7.3. Sistema de biorreactores aerobios continuos

El sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto, está formado por 04 reactores biológicos para operación en continuo, ubicados uno después de otro (en serie). El primer biorreactor es de polietileno en forma circular de 550 litros de capacidad efectiva, a continuación 03 biorreactores de concreto simple en forma rectangular de 293, 124 y 97 litros de volumen efectivo respectivamente.

Cuyas dimensiones y configuración se presentan en la Tabla 3, Figuras 5 y 6.

Anexo 1.

Tabla 3. Dimensiones de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto

Reactor	Largo (m)	Ancho (m)	Diámetro (m)	Alto (m)
R1			0.95	1.15
R2	1.20	0.90		0.40
R3	0.57	0.70		0.40
R4	0.57	0.70		0.40

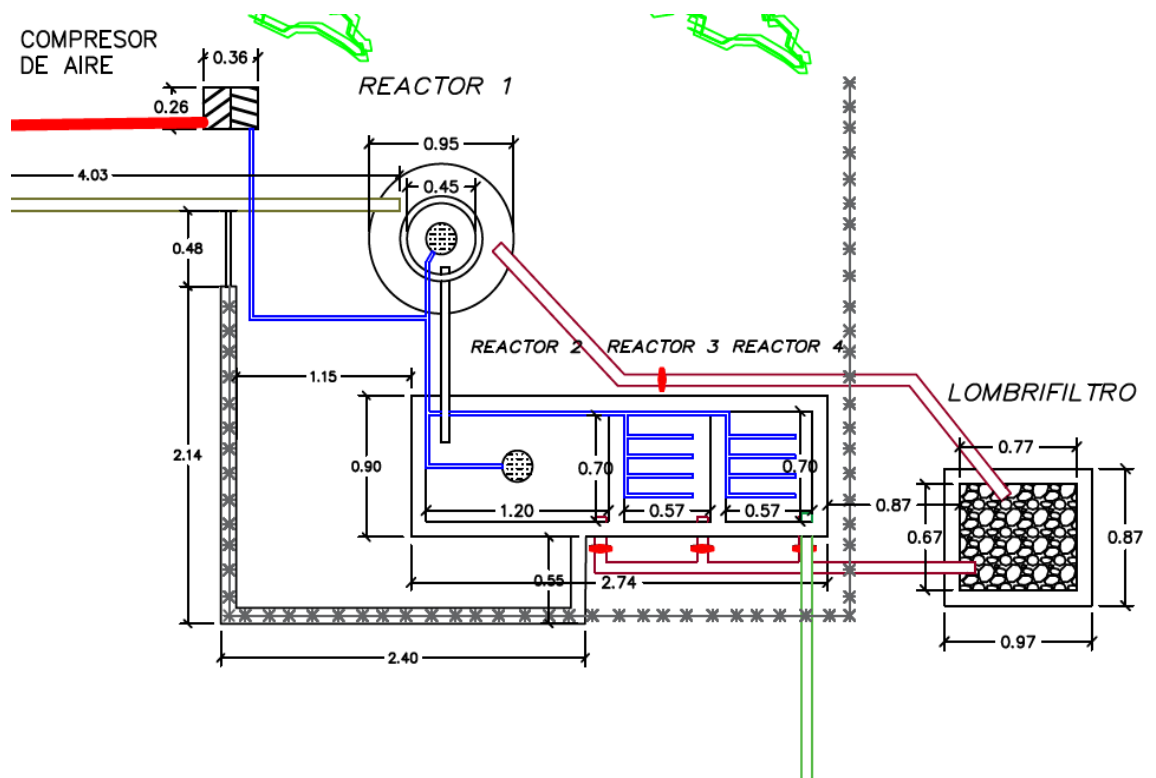


Figura 5. Vista en planta de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto

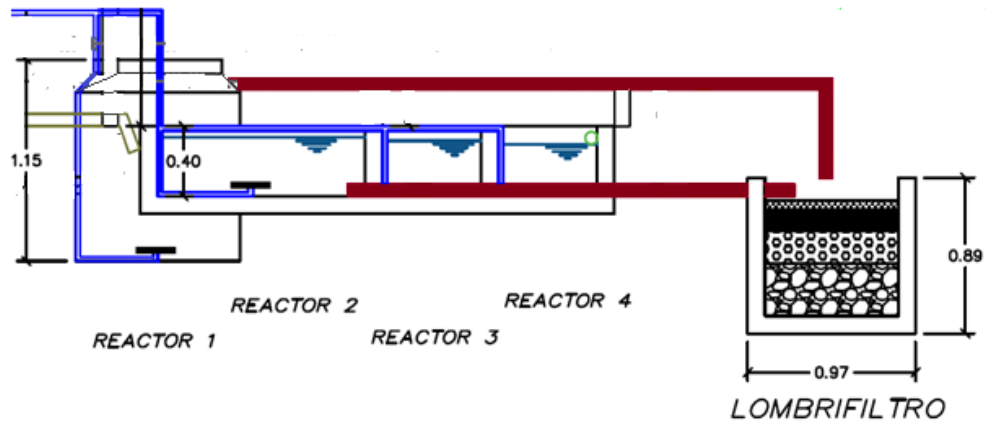


Figura6. Vista en elevación de los biorreactores aerobios continuos a escala piloto.

3.7.4. Sistema de difusión de aire

El sistema de difusión de aire suministra aire atmosférico a los 04 biorreactores para propiciar el tratamiento biológico aerobio y una mezcla completa; está compuesto por:

- **Compresor bomba de aire**, de 90 watts de potencia y con salida de 100 L/min; este motor comprime el aire captado de la atmósfera para la inyección de aire al sistema.
- **Programador digital o timer**, conectado a la energía eléctrica y al compresor bomba de aire; con la finalidad de establecer ciclos de aireación.
- **Red de tuberías**, son mangueras, uniones y codos de material flexible y resistente, conectados a presión para la distribución de aire hacia los biorreactores por medio de los difusores de aire.
- **Difusores de aire**, el primer y segundo biorreactor dotados de 02 platos convencionales de difusión de aire de microburbuja de 9 y 11 pulgadas de diámetro respectivamente, instalados en la parte central y al fondo de cada biorreactor. El tercer y cuarto reactor tienen instalados difusores artesanales, elaborados de manguera resistente agujereada, el detalle se observa en la Figura 5.

3.7.5. Sistema de tratamiento de lodos

El sistema de tratamiento de lodos está compuesto por los siguientes accesorios y partes:

- **Tubería y válvulas de purga.** Los biorreactores están dotados de tuberías para conducir los lodos de desecho hacia el lombrifiltro, la tubería de R₁ es de 4 pulgadas de diámetro y conduce directamente el lodo hacia el lombrifiltro; los biorreactores R₂, R₃ y R₄, están dotados de tuberías de 2 pulgadas de diámetro en la parte inferior para el drenaje de lodos de desecho o purga, a una tubería en común que conduce hacia el lombrifiltro.
- **Lombrifiltro,** se trata de un lecho de secado de lodo; en la parte inferior con capas de grava, arena y en la parte superior humus y una delgada capa de aserrín de madera, además en las dos últimas capas se propicia el crecimiento de colonias de lombriz roja californiana o *Eisenia foétida*.

3.7.6. Techos y coberturas

El sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto, se encuentra protegido del ingreso de aguas de lluvia por un techo aligerado de parantes y armazón de madera y con cobertura de calamina.

3.8. Operación del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto

Para la recolección de datos en la presente investigación, se procedió con la puesta en marcha del sistema de biorreactores aerobios continuos, necesitando un período de aclimatación de aproximadamente 02 meses hasta obtener los parámetros de control constante; y los siguientes requerimientos:

- El proceso de tratamiento es aerobio en cultivo suspendido con mezcla completa y flujo continuo, sin recirculación de lodos.
- Los caudales de agua residual provienen únicamente de la UBS que constituyen el afluente al sistema.
- Los biorreactores se llenaron de acuerdo al caudal de ingreso (afluente), de la siguiente manera: el reactor 1 al 5.5 día, el reactor 2 al 8.8 día, el reactor 3 al 12.7 día y el reactor 4 al 17.6 día; en relación al caudal promedio. En este tiempo se propició el crecimiento de biomasa (MLVSS) en el sistema.
- Completado el volumen de los biorreactores, el caudal de entrada (afluente), es igual al caudal de salida (efluente); despreciando las pérdidas por evaporación e infiltración, debido a los cortos períodos de retención hidráulica y a la cobertura o techo con el que cuenta.
- El biorreactor 1 (R_1), cumple la función de tanque de homogenización, siendo su efluente el afluente al R_2 ; debido a que, no existe en el sistema otro sitio para la toma de muestras.
- El aire atmosférico se abastece a través de una bomba compresora de aire; controlado por un programador digital (timer), los ciclos de encendido y apagado del compresor de aire consta de 20 minutos encendido y 40 minutos de apagado, durante 21 ciclos (completando las 24 horas al día) difundiéndose en forma de microburbujas hacia los 04 reactores biológicos a través de los difusores de aire.
- Las microburbujas de aire generan movimiento del líquido en los reactores biológicos provocando una mezcla completa de los constituyentes y biomasa contenida.
- Se realizaron mediciones constantes (2 veces por semana) de los parámetros como: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos

totales hasta obtener datos homogéneos; así como el caudal de ingreso (afluente), constituyendo las pruebas de funcionamiento.

- Se establecieron los puntos de monitoreo en el efluente de cada biorreactor (R₁, R₂, R₃ y R₄).

3.9. Programa del monitoreo para la obtención de datos

Iniciado el arranque del sistema (datos homogéneos en las pruebas de funcionamiento), se realizó la toma de datos de los reactores biológicos durante los meses de julio, octubre y noviembre, en 08 monitoreos, como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Frecuencia de los parámetros monitoreados

Parámetro	Frecuencia	Reactor (R1)*	Reactor (R2)	Reactor (R3)	Reactor (R4)
DBO, mg/l	2/semana	X	X	X	X
Sólidos suspendidos totales, mg/l	2/semana	-	X	X	X
Sólidos sedimentables	2/semana	X	X	X	X
Sólidos disueltos totales, mg/l	2/semana	X	X	X	X
Oxígeno disuelto, mg/l	2/semana	X	X	X	X
pH	2/semana	X	X	X	X
Conductividad eléctrica, uS	2/semana	X	X	X	X
Turbiedad, NTU	2/semana	X	X	X	X
Cloruro de sodio, mg/l	2/semana	X	X	X	X
Temperatura, °C	2/semana	X	X	X	X
Nitrógeno total, mg/l	1 vez	X	-	-	X
Nitrógeno amoniacal, mg/l	1 vez	X	-	-	X
Coliformes termotolerantes, NMP/100 ml	1 vez	X	-	-	X
Caudal, l/día	4/semana	A la entrada de UBS			

*R₁, funcionó como tanque de homogenización o reunión.

3.10. Técnicas de recopilación de información

El experimento consistió en evaluar la calidad de las aguas residuales en 04 puntos de monitoreo representados como R₁, R₂, R₃ y R₄ siguiendo la programación de la Tabla 4, también se determinó el caudal de ingreso de agua hacia la UBS.

La calidad de las aguas residuales se determinó a través de parámetros de campo y de laboratorio, siguiendo las técnicas descritas en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, así como del Laboratorio Regional del Agua de la Región Cajamarca.

Tabla 5. Técnica de medición por parámetro evaluado

N°	Parámetro	Técnica
1	Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, DBO ₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
2	Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
3	Aniones (Nitrito, Nitrato)	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
4	Amoniaco y Nitrógeno Amoniacal	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D. Ammonia Selective Electrode Method
5	Numeración de Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B2,C,E1. 22 nd Ed. 2012: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
6	Organismo de Vida Libre	Determinación y Cuantificación de Organismos de vida libre en aguas: Algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos
7	Índice volumétrico de lodos, IVL	Prueba de sedimentación, cono imhoff
8	Oxígeno disuelto, OD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 22 nd Ed. 2012: Oxygen. Membrane Electrode Method. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
9	Turbiedad	Instrumental - Fotómetro
10	Sólidos disueltos totales	Instrumental - multiparámetro
11	Cloruro de sodio	Instrumental - multiparámetro
12	pH	Instrumental - Potencial de hidrógeno pHmetro
13	Conductividad eléctrica	Instrumental - Potencial de hidrógeno pHmetro
14	Temperatura	Medición física – Termómetro

Fuente. Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca. 2016

3.11. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

La obtención del nivel de tratabilidad biológica se realizó a través de la obtención de los siguientes aspectos:

- Determinación de la eficiencia en la remoción de constituyentes como son: sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, formas del nitrógeno, coliformes termotolerantes; previa obtención del promedio de los parámetros o constituyentes de todos los monitoreos realizados. Utilizando las siguientes relaciones matemáticas:

$$S = \frac{(S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8)}{8}$$

$$E = \frac{(S_0 - S_e)}{S} * 100$$

Donde:

S: Valor promedio de un determinado constituyente

S1... S8: Valores de un determinado constituyente en los 8 monitoreos

E: Eficiencia en la remoción de un determinado constituyente.

S₀: Valor promedio de un constituyente en el biorreactor afluente.

S_e: Valor promedio de un constituyente en el biorreactor efluente.

- Determinación de los coeficientes cinéticos para los biorreactores R2, R3, R4, se calculó siguiendo el siguiente esquema:

Para R₂: se calculó: R₁ con R₂; donde R₁ afluente y R₂ el efluente

Para R₃: se calculó: R₂ con R₃; donde R₂ afluente y R₃ el efluente

Para R₄: se calculó: R₃ con R₄; donde R₃ afluente y R₄ el efluente

Velocidad de consumo de sustrato, k ; a través de la siguiente relación matemática:

$$q = \frac{S_o - S_e}{X * T} = kS_e$$

La constante de velocidad de consumo de sustrato k , se determinó mediante una representación gráfica de $\frac{S_o - S_e}{X * T}$ en función de S_e ; a través de la pendiente de la recta resultante; cuando la recta pasa por el origen significa que el total de la materia orgánica es biodegradable, pero cuando no pasa por el origen, la distancia a la abscisa, S_n corresponde a la concentración de la materia orgánica no biodegradable.

El coeficiente de respiración endógena, k_d , se obtuvo relacionando en forma gráfica el inverso del tiempo de retención hidráulica (T^{-1}) en función de $(S_o - S_e) * (X * T)^{-1}$, la distancia a la ordenada (cuando $x = 0$), es el coeficiente de respiración endógena, k_d .

El parámetro de producción celular, Y ; está representado por la pendiente de la recta en el procedimiento de la determinación de k_d .

Relación alimento – microorganismos mínima, A/M_{\min} ; se determinó mediante una representación gráfica del índice volumétrico de lodos IVL y $A/M = S_o * X^{-1} * T^{-1}$, a través de una función polinómica; donde el mínimo valor de la curva en la intersección con el eje X es A/M_{\min} .

El parámetro de consumo de oxígeno en la respiración endógena, b ; se determinó mediante una gráfica lineal de: $(S_o - S_e) / X * T, d^{-1}$, y R_r / X , donde R_r es la velocidad de utilización del oxígeno ($VUO * 60 \text{ min} * 24 \text{ horas}$); la distancia

a la ordenada (cuando $x = 0$), parámetro de consumo de oxígeno en la respiración endógena, b.

El parámetro de consumo de oxígeno en la oxidación del sustrato, a; se obtiene a partir de la gráfica anterior, siendo la pendiente de la recta.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caudal diario

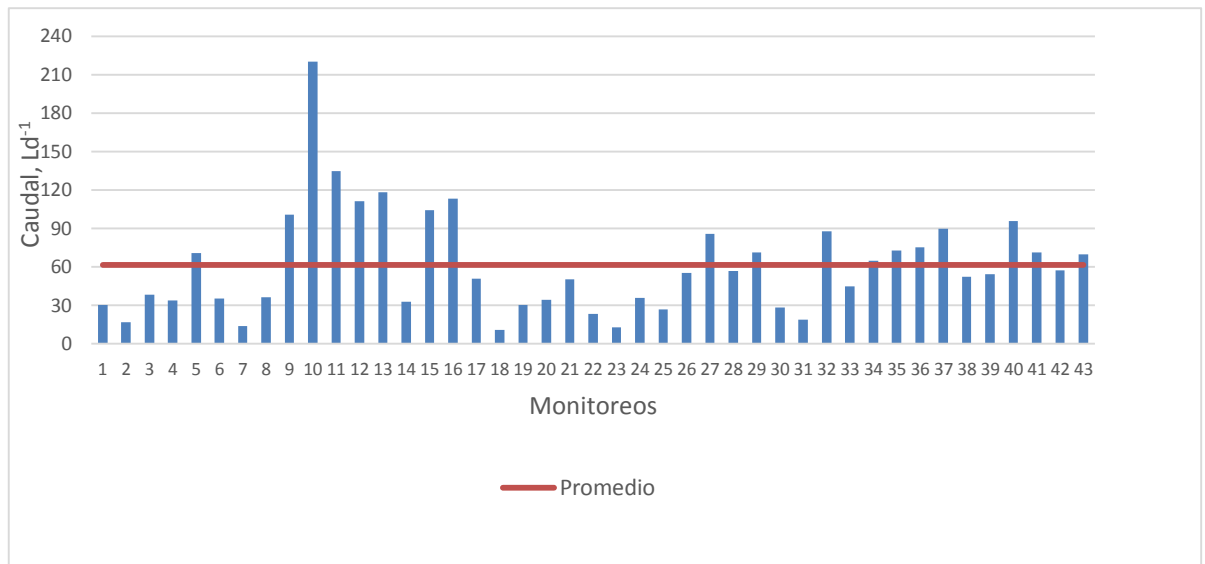


Figura7. Caudal diario y caudal promedio de ingreso a los biorreactores

El caudal promedio, determinado a través del monitoreo es de 61,44 litros por día; con un caudal mínimo de 10,83 l/d y un caudal máximo de 220,1 l/d; estas variaciones se presentan; por las actividades realizadas a nivel de la familia; los mínimos valores se registran en época de sequía cuando los integrantes van en búsqueda de pastos para el ganado a otras áreas; y los máximos valores se registran a fines del mes de julio cuando la familia recibió un promedio de 6 visitantes por las fiestas patrias y patronales en la ciudad de Celendín.

4.2. Temperatura

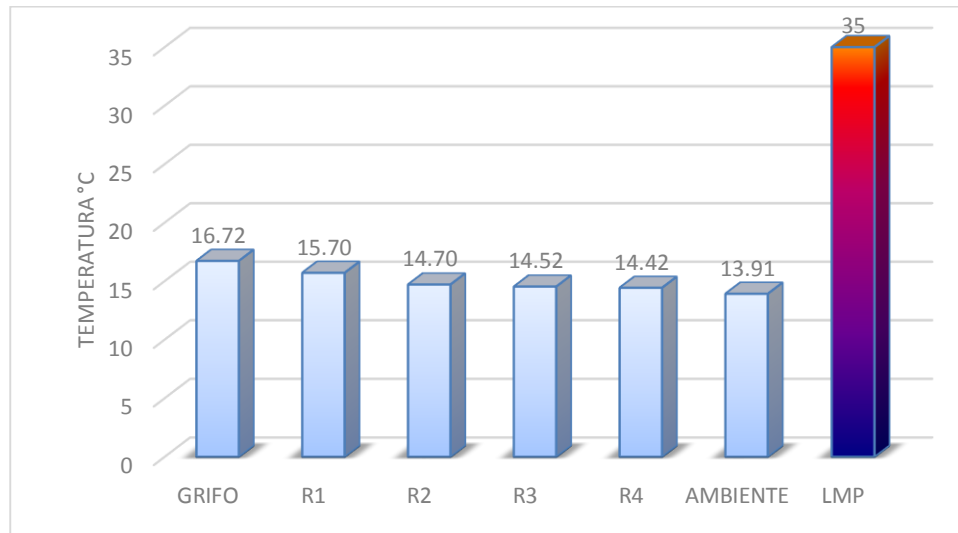


Figura 8. Temperatura promedio del agua en los biorreactores

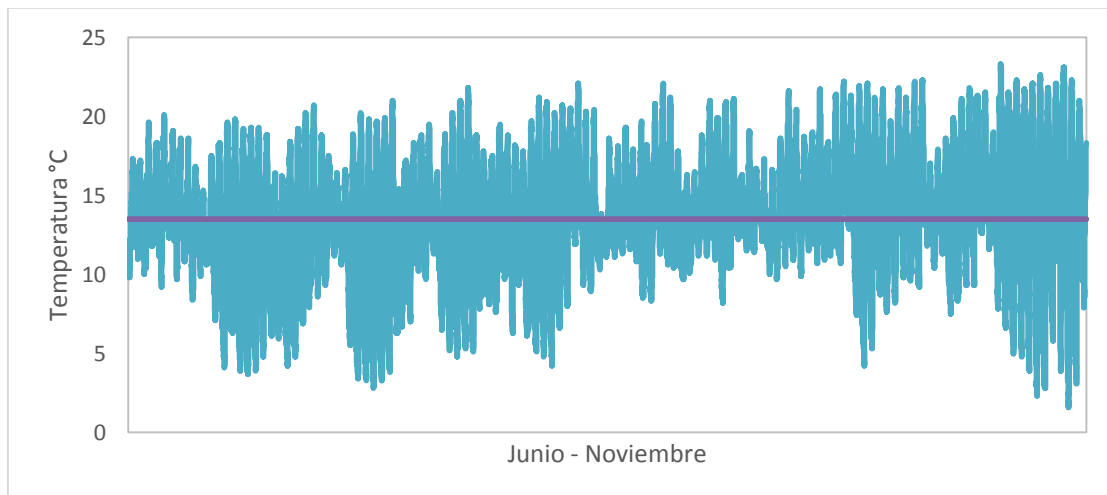


Figura 9. Temperatura ambiental registrada entre los meses de junio – noviembre 2016

Tabla6. Comportamiento de la temperatura ambiental (junio – noviembre 2016)

Factor	Valor
Temperatura Promedio °C	13.5
Temperatura Mínima °C	1.6
Temperatura Máxima °C	23.3
Frecuencia < 13.5°C, %	50.68
Frecuencia < 10°C, %	19.45
Frecuencia < 5°C, %	2.43
Frecuencia > 13.5°C, %	49.27
Frecuencia > 20°C, %	5.79

La temperatura a través del proceso de tratamiento en los reactores biológicos experimenta un descenso gradual desde R₁ a R₄ (figura 8); la temperatura del agua de grifo es mayor a la del ambiente, debido a que, los análisis se realizaron en época de friaje (junio, julio, agosto), pues, el calor específico del agua es mayor que el del aire, la temperatura del agua es mayor que la temperatura ambiente en períodos fríos y menor que la temperatura ambiental en períodos cálidos, como menciona. (Romero, 2005, p. 102) Al permanecer el agua en los reactores R₁, R₂, R₃, R₄; por su ubicación R₁ se encuentra aislado o enterrado en el suelo conservando mayor temperatura, la que va descendiendo a medida que las demás unidades de tratamiento se encuentran expuestas a la temperatura ambiental, influenciadas por las bajas temperaturas que se registran en las madrugadas en estas épocas del año (Figura 9, Tabla 6) (SENAMHI, 2017), también observamos que las temperaturas promedio en los reactores biológicos se encuentran entre 14,31 – 16,30 °C registradas en horas de la mañana (7:30 – 8:20 am. intervalo de monitoreo); estas aseveraciones corresponden con los datos registrados por SENAMHI en la tabla 6, que se tuvo una frecuencia de 50,68% de datos con temperaturas ambientales menores a 13, 5°C (temperatura promedio); temperaturas que no resultan ser las óptimas para el desarrollo biológico de

microorganismos especialmente de bacterias (25 – 35°C), pero mucho mayor a 2°C, temperatura a la cual, las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia orgánica carbonosa dejan de actuar. (Metcalf& Eddy, 1998, p. 86).

En relación a los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (MINAM, 2010), estipula que la temperatura de los efluentes, deberá ser menor a los 35°C. El biorreactor R4, representaría el efluente de sistema de tratamiento quien presenta una temperatura promedio de 14°C.

4.3. Potencial de hidrógeno

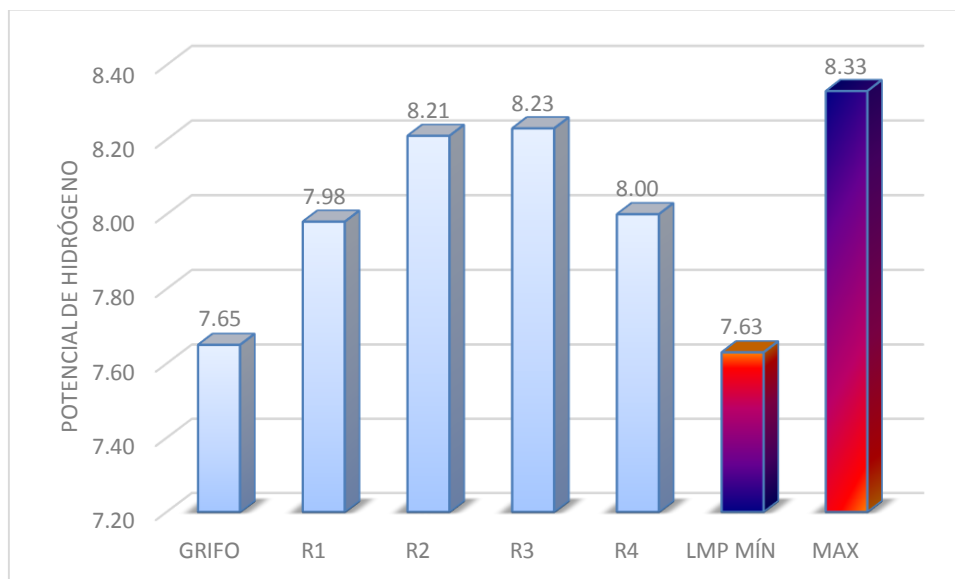


Figura 10. Potencial de hidrógeno promedio en los biorreactores

En relación al pH presentado en cada unidad de tratamiento desde R1 hasta R4, el intervalo es adecuado para la existencia de vida biológica (7,63 – 8,33), como lo menciona, Critesy Tchobanoglous (2000); quien indica que las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante

procesos biológicos que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5. (p. 54)

La tendencia desde R₁ a R₃ es el incremento gradual del pH, pero de R₃ a R₄ tiende a disminuir, según Romero. 2005, en aguas residuales duras, cuando el pH aumenta, puede predominar la alcalinidad por carbonatos e hidróxidos y producirse la precipitación del carbonato de calcio, lo cual impide que el pH siga aumentando. La disminución del pH también puede darse por destrucción de la alcalinidad cáustica por producción bioquímica de CO₂, oxidación bioquímica de sulfuros, por nitrificación y por producción de ácidos orgánicos. A la vez, la oxidación bioquímica de ácidos orgánicos y la destrucción de sales de ácidos orgánicos producen incremento de pH. Procesos que pudieron darse en forma simultánea en la presente investigación.

En relación a los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, presenta que el pH de los efluentes, deberá estar comprendido entre 6,5 – 8,5. El biorreactor R4, efluente de sistema de tratamiento, presenta un pH promedio de 8.24.

4.4. Conductividad eléctrica

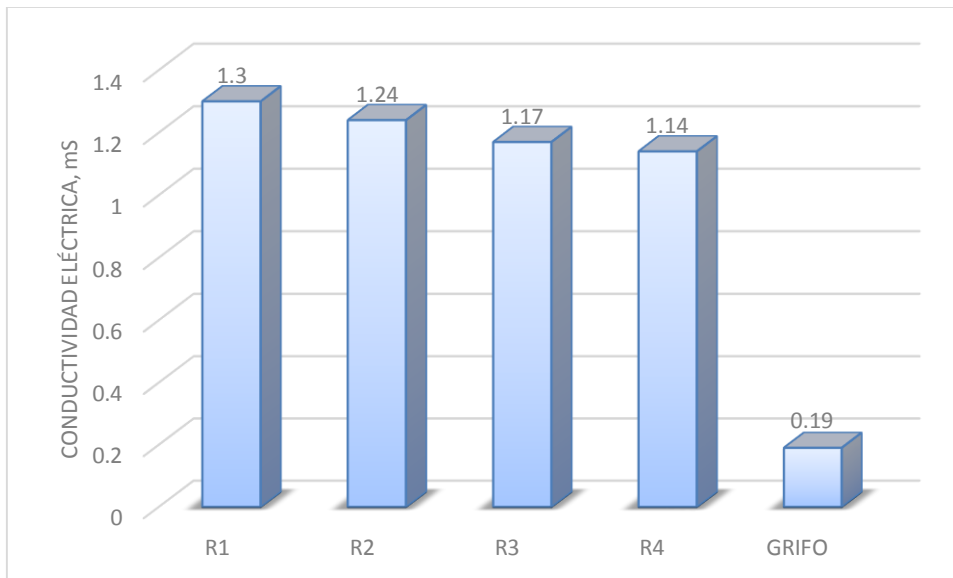


Figura11. Conductividad eléctrica promedio en los biorreactores

Según Crites y Tchobanoglous (2000); indica que la conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento de la conductividad. (p. 62) Para el caso de la presente investigación ocurre que se presenta una disminución gradual de la CE; lo que indica una relación directa con la disminución de iones a través de R₁ hasta R₄.

4.5. Sólidos disueltos totales

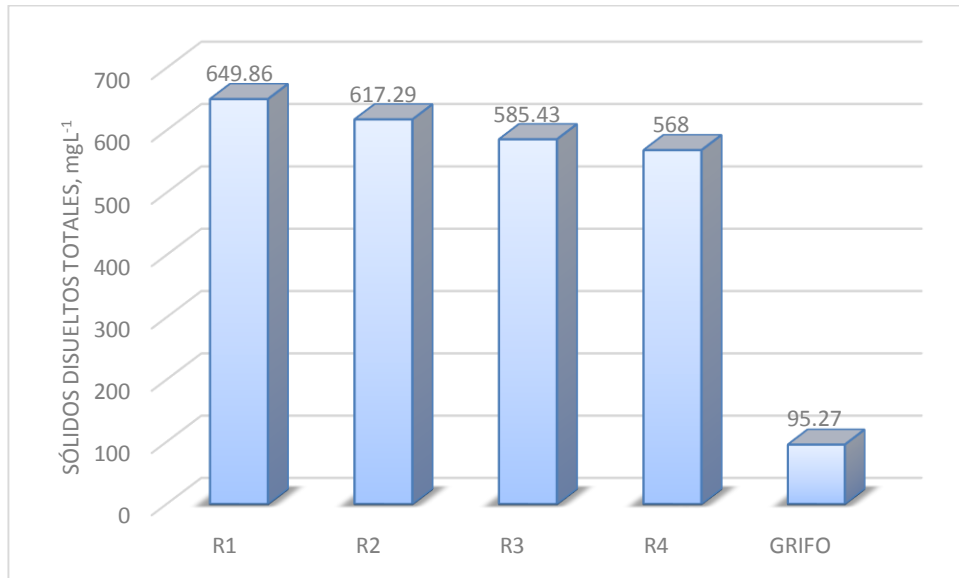


Figura12. Sólidos disueltos totales promedio en los biorreactores

El valor de conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT),

El total de sólidos disueltos es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular (sol coloide). Los componentes químicos más comunes en los TDS son el calcio, fosfatos, nitratos, sodio, potasio y cloruro (Romero. 2009). En la Figura 11 se observa que en la presente investigación la tendencia es la disminución de la concentración de TDS de R1 a R4; quienes a la vez presentan altas concentraciones, debido a la naturaleza de su origen, en las aguas residuales domésticas, específicamente en las excretas humanas es conocida su alta concentración de sales y material orgánico; los que se encuentran en forma de iones o soluciones coloidales; indicando que el sistema de biorreactores recibe únicamente aguas del servicio higiénico.

4.6. Cloruro de sodio

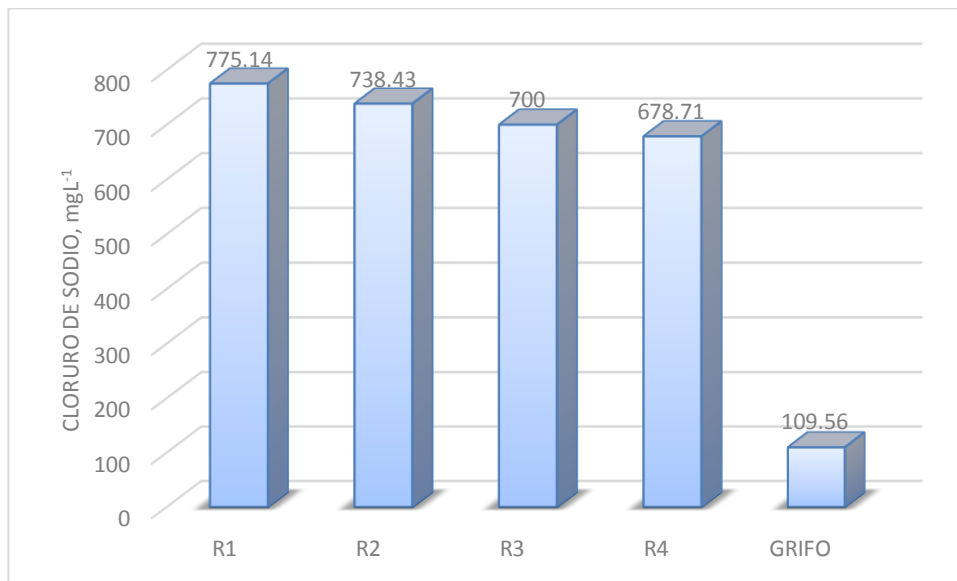


Figura 13. Cloruro de sodio promedio en los biorreactores

En relación a la Figura 13, se observa que la concentración de cloruro de sodio disminuye en forma decreciente. R4 experimenta la mayor disminución de la concentración pese a eso sigue siendo alta, como menciona Romero (2005), los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales no remueven cloruros y por la ingesta diaria de 6 a 9 gramos por persona el incremento de cloruros en las aguas es alta. Concentraciones mayores a 15 000 mg/l de cloruros son tóxicos para el tratamiento biológico convencional. (p.123) Los valores en los biorreactores continuos se encuentran considerablemente inferiores al valor de toxicidad.

4.7. Turbiedad

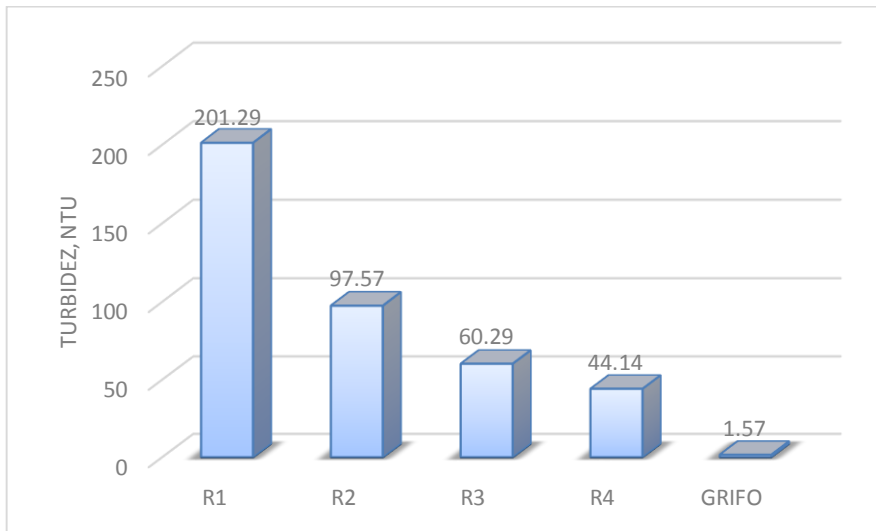


Figura 14. Turbidez promedio en los biorreactores

En relación a los valores promedio de turbidez; se presentan una notable disminución gradual de este parámetro; coincidiendo con Romero (2005), quien menciona que las aguas residuales crudas son en general turbias y en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante de control de calidad. (p. 127)

4.8. Oxígeno disuelto

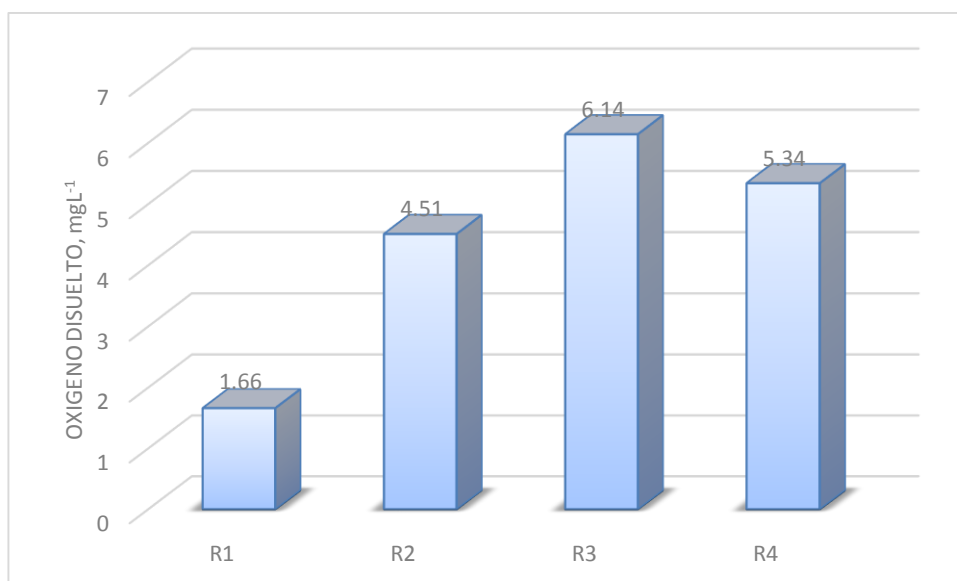


Figura 15. Oxígeno disuelto promedio

Según Romero (2005), menciona que todo proceso aerobio requiere una concentración de oxígeno disuelto mayor de 0,5 mg/l; la cantidad de oxígeno que se transfiere al agua residual, en un tanque de aireación de un proceso de lodos activados, debe ser suficiente para satisfacer la demanda de la masa microbial existente en el sistema de tratamiento y para mantener un residual de oxígeno disuelto generalmente del orden de 2 mg/l. (p. 135)

En la Figura 15 se observa que los niveles de OD son mayores a 0,5 mg/l en los 4 reactores en promedio, en R₁ es inferior a 2mg/l; probablemente se deba a que, al ser el primer reactor recibe las aguas residuales crudas y la mayor concentración de sustrato por lo que la demanda de oxígeno es alta. Luego se incrementa progresivamente hasta R₃ con valores de hasta 6,14 mg/l en promedio; y disminuye a 5,34 mg/l en R₄; pudiendo deberse a una demanda adicional de oxígeno por el proceso de nitrificación, ya que, el tiempo de retención es mayor a 6 días, tiempo suficiente para ejercer una demanda adicional de oxígeno por la formación de nitratos, coincidiendo con Romero (2005).

4.9. Sólidos sedimentables

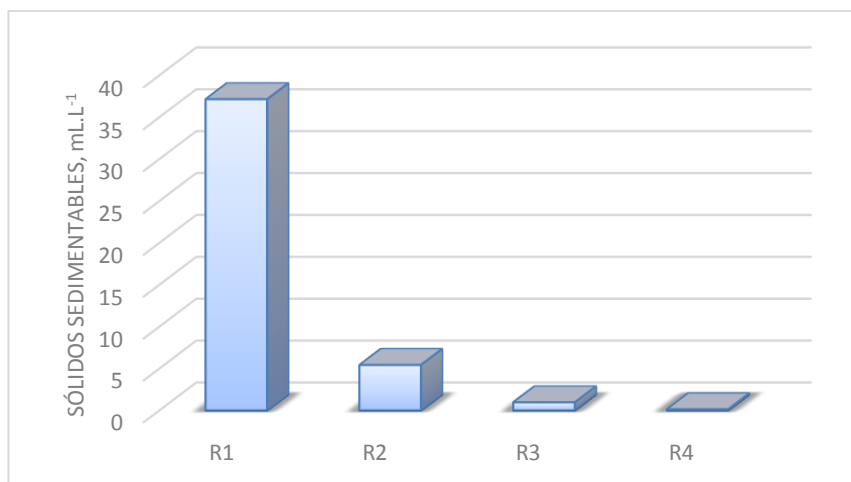


Figura 16.Sólidos sedimentables promedio en los biorreactores

Según Crites y Tchobanoglous (2000), los sólidos sedimentables es la cantidad de sólidos acumulados en la parte inferior del cono imhoff en un tiempo de 60 minutos. (p. 165); Romero (2005), agrega que representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple (p. 208)

En la Figura 16, se presenta los niveles de sólidos sedimentables; donde podemos apreciar la alta disminución de sólidos sedimentables desde R₁ a R₄. Al no contar con unidades y/o procesos de pretratamiento, R₁, estaría haciendo las veces de sedimentador y de un tanque de homogenización, es así que se presentan las más altas concentraciones de sólidos sedimentables, disminuyendo en las demás unidades de tratamiento, pero en menor proporción respecto a R₁.

4.10. Sólidos suspendidos volátiles

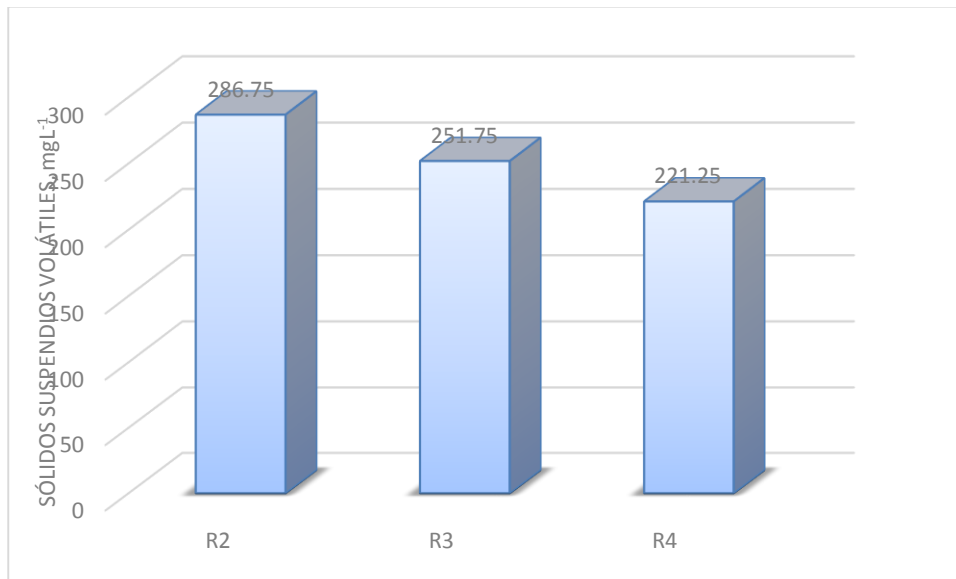


Figura 17. Sólidos suspendidos volátiles promedio

Según Ramirez, Sandoval y Moeller (2008), los sólidos suspendidos volátiles, o también llamados sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado, indican la cantidad aproximada de microorganismos en el tanque de aireación. (p. 56); por tanto, observamos que, en el R2 existe mayor actividad biológica, que va

disminuyendo en forma decreciente hacia el reactor R4; debido a que, el sustrato cada vez se hace más limitante y por lo tanto disminuye el crecimiento celular de microorganismos.

4.11. Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días

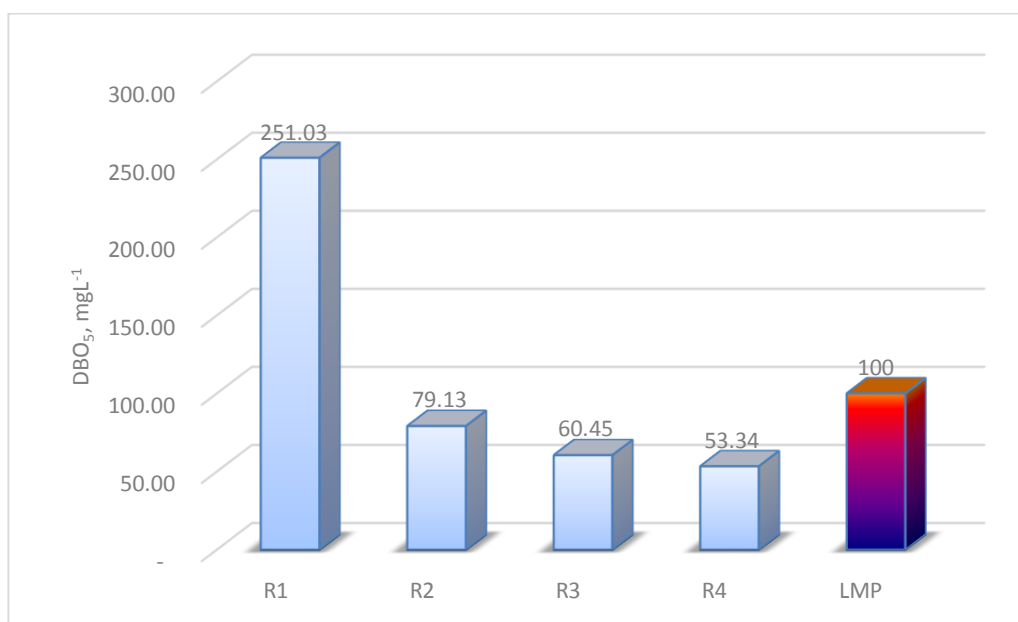


Figura 18. Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días promedio

La demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, proporciona la información relativa al funcionamiento de la planta como es la eficiencia de remoción de la DBO₅, también se obtiene la información de carga orgánica (alimento), altas remociones de DBO₅, indican que la planta funciona bien; bajas remociones denotan que existe problemas en la planta. (Ramirez, Sandoval y Moeller, 2008, p. 64). En el sistema de tratamiento de biorreactores continuos, se presenta una marcada remoción de DBO₅ de R₁ a R₂; así mismo se observa un descenso de DBO₅ de R₂ a R₃ a R₄ (Figura 18); en forma gradual correspondiendo a los siguientes porcentajes de remoción: 68,48; 23,61 y 11,76% respectivamente; haciendo una remoción total de 78,75%.

El límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, para DBO_5 de los efluentes, deberá ser menor a 100 mg/L. El biorreactor R4, efluente de sistema de tratamiento presenta una DBO_5 promedio de 47,68 mg/L.

4.12. Compuestos de nitrógeno

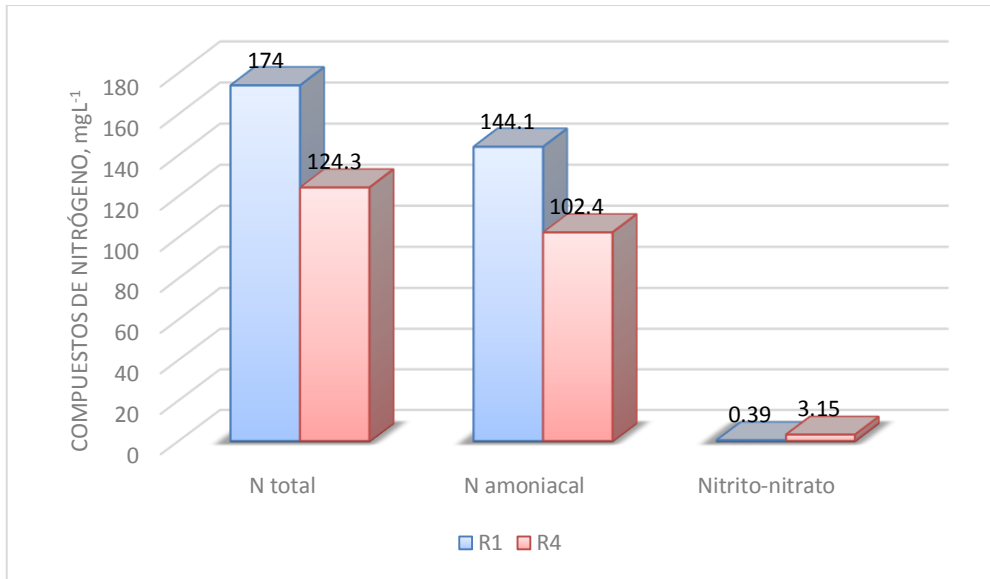


Figura 19. Nitrógeno total, amoniacal, nitritos/ nitratos en el afluente y efluente

Los datos de nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos; un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir adición de nitrógeno para su adecuada biodescomposición. En el ciclo de nitrógeno la forma predominante del nitrógeno en aguas residuales domésticas frescas es el nitrógeno orgánico, las bacterias rápidamente descomponen el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, si el medio es aerobio, en nitritos y nitratos. Se considera nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno existente en solución como amoniaco o como ion amonio, dependiendo del pH de la solución, el amoniaco produce una solución básica cuando se disuelve en agua; sin embargo, a $\text{pH} < 9$ predomina el ión amonio. La forma tóxica del nitrógeno amoniacal es la no ionizada

NH₃; la forma iónica NH₄⁺ no es tóxica. Por tanto, a pH bajo, una concentración relativamente alta de nitrógeno amoniacal total puede no ser tóxica. (Romero, 2005, p. 176). Se analizó tres compuestos intercambiables del nitrógeno donde observamos que el nitrógeno no sería limitante para el crecimiento microbológico ya que existe su disponibilidad; así mismo, se observa la rápida bioconversión del nitrógeno total (que puede ser en su mayoría orgánico) a nitrógeno amoniacal que resulta prevaleciente hasta R₄, deduciendo que se trataría en su mayoría de la forma iónica (NH₄⁺) la cual no es tóxica; ya que el pH en los biorreactores aerobios continuos no superan en ninguno el valor de 9. Así mismo se observa una mínima bioconversión a nitritos-nitratos pese a que las condiciones de oxígeno disuelto en los reactores son favorables para ello.

4.13. Coliformes termotolerantes

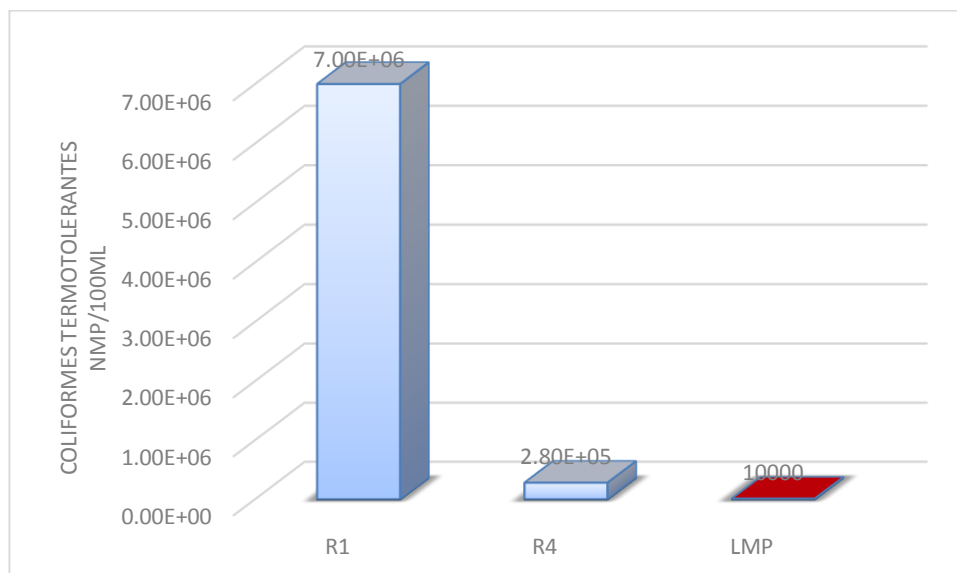


Figura 20. Coliformes termotolerantes en el afluente y efluente

Según MINAN (2009), los sistemas aireados de tratamiento remueven desde 0 – 1 ciclo log₁₀, que equivale al 90%. En los biorreactores aerobios continuos se ha

logrado una remoción de coliformes termotolerantes del 96%; pero pese a ello se requeriría un proceso de desinfección del efluente (p. 17)

El límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, para coliformes termotolerantes de los efluentes, deberá ser menor a 10 000 NMP/100mL. (MINAM, 2010, p.2) El biorreactor R4, efluente de sistema de tratamiento presenta un valor mucho mayor, requiriendo desinfección adicional.

4.14. Organismos de vida libre

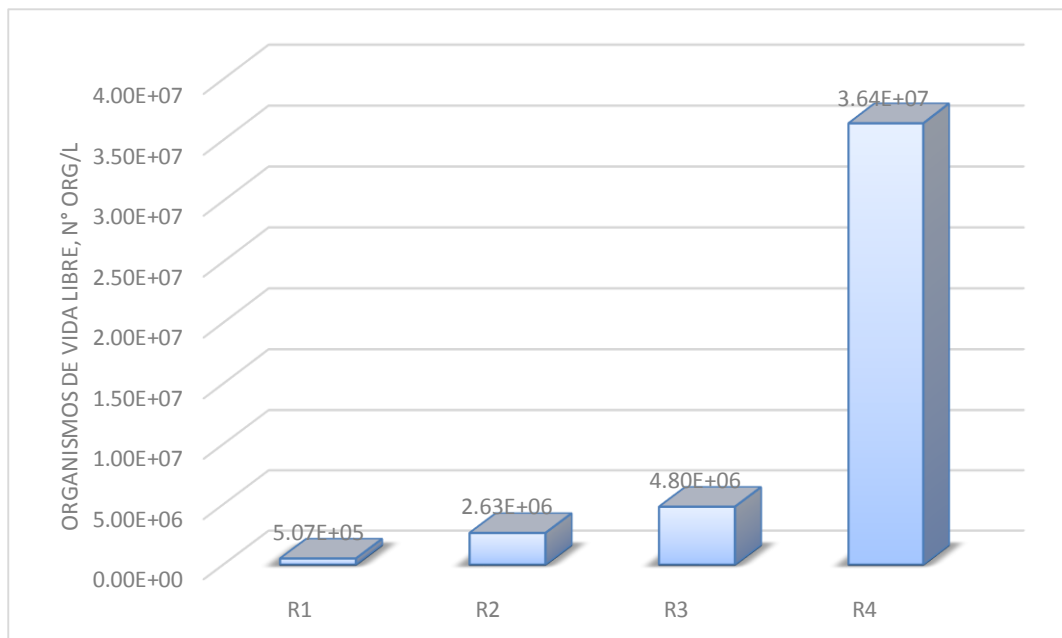


Figura 21. Organismos de vida libre

Según Bvsde.Paho (2005), los organismos de vida libre son aquellos organismos que pueden vivir en un medio sin requerir de otros organismos. Por ejemplo, las microalgas que realizan fotosíntesis para alimentarse, los microorganismos saprófitos que se alimentan mediante la descomposición de la materia orgánica, también se tiene a protozoos, hongos, nemátodos, caracoles; aunque algunos son de interés en la salud pública por ser conocidos como portadores de enfermedades, o por las toxinas que

producen; así mismo pueden causar en plantas de tratamiento de aguas turbiedad, color, olor en efluentes finales. (p. 4)

Como puede observarse en la Figura 21, con los organismos de vida libre se da una situación inversa, a los coliformes termotolerantes, se presenta un crecimiento de dos ciclos logarítmicos; de R1 a R4, implicando un incremento de aproximadamente 72 veces el número de organismos libres; infiriendo que como las bacterias son las que realizan casi exclusivamente la remoción de la DBO y forman el nivel trófico inferior de la cadena alimenticia; pasan a ser fuente de otros protozoarios y rotíferos, siendo el papel más importante de los protozoarios actuar como agente limpiador alimentándose de bacterias, dando un efluente con baja DBO y sólidos suspendidos y ayuda a remover patógenos; coincidiendo con (Ramirez, Sandoval y Moeller, 2008, p. 76).

4.15. Eficiencia de remoción de los constituyentes

En la Tabla 7, se presenta la eficiencia de remoción de constituyentes en los 04 biorreactores aerobios continuos, al que le estamos denominando eficiencia total; y posteriormente, en la Tabla 8, la eficiencia de remoción de constituyentes relacionando el biorreactor R₁ como afluente y R₂ como efluente.

Tabla 7. Eficiencia total en la remoción de constituyentes

Parámetro/Constituyente	Entrada R ₁	Salida R ₄	Eficiencia (%)
Sólidos sedimentables, mL/L	30.2	0.1	99.67
Sólidos disueltos totales, mg.L ⁻¹	649.86	568	12.6
Cloruro de Sodio, mg.L ⁻¹	775.14	678.71	12.44
Turbiedad, NTU	201.29	44.14	78.07
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ , mg.L ⁻¹ .	251.03	53.34	78.75
Demanda química de oxígeno, DQO, mg.L ⁻¹ .	847.29	186.81	77.95
Nitrógeno amoniacal, mg. L ⁻¹ .	144.1	102.4	28.94
Nitrógeno total, mg.L ⁻¹	174	124.3	28.56
Coliformes termotolerantes, NMP/100 mL	7000000	280000	96

Tabla 8. Eficiencia en la remoción de constituyentes del biorreactor R₁ a R₂

Parámetro/Constituyente	R ₁	R ₂	Eficiencia (%)
Sólidos sedimentables, mL/L	30.2	4.07	86.52
Sólidos disueltos totales, mg.L ⁻¹	649.86	617.29	5.01
Cloruro de Sodio, mg.L ⁻¹	775.14	738.43	4.74
Turbiedad, NTU	201.29	97.57	51.53
Demanda bioquímica de oxígeno, mg.L ⁻¹ .	251.03	79.13	68.48
Demanda química de oxígeno, mg.L ⁻¹ .	847.29	302.86	64.26

La tratabilidad biológica implica lograr altas eficiencias en la remoción de la fracción orgánica de las aguas residuales domésticas (Finamore, 1999, p. 4), representada por la DBO₅ y DQO. En la Tabla 7; se observa que, en lo referente a parámetros orgánicos se encuentra eficiencias superiores al 77%; indicando un alto porcentaje de remoción de materia orgánica; al mismo tiempo un porcentaje superior al 90% en remoción de coliformes termotolerantes (MINAM, 2009, p. 17); también se alcanzan altos valores en la remoción de sólidos sedimentables, turbiedad; desde R₁ a R₄; determinando la eficiencia total en los 04 biorreactores. Pero al relacionar el cálculo de la eficiencia entre R₁ y R₂ en la Tabla 8, observamos que la mayor remoción de constituyentes se realiza en R₂ superior al 64% para los parámetros de materia orgánica; del 77% que se presenta en la totalidad de los 04 biorreactores; concluyendo que en el primer biorreactor se remueve la materia orgánica rápidamente biodegradable, quedando remanente una pequeña fracción a remover en los siguientes biorreactores constituida por materia más lentamente biodegradable.

4.16. Coeficientes cinéticos

Los valores de los coeficientes cinéticos se determinaron para los biorreactores R₂, R₃ y R₄; para lo cual se explicó previo que R₁ se considera el afluente a R₂ y así sucesivamente para los demás biorreactores. Los coeficientes cinéticos obtenidos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Coeficientes cinéticos por biorreactor

COEFICIENTE CINÉTICO	R ₂	R ₃	R ₄
Velocidad de consumo de sustrato, k; d ⁻¹	0.028	0.002	0.004
Concentración de materia orgánica no biodegradable, S _n ; mgL ⁻¹	2.66	1.14	1.8
Parámetro de producción celular, Y; mg MLVSS producido/mg sustrato consumido	0.0856	2.7718*	2.3703*
Coefficiente de respiración endógena, k _d ; d ⁻¹	-0.1986	-0.3946	-0.6164
μ _m ; d ⁻¹	0.0024	0.0049	0.0092
A/M _{min} ; mgL ⁻¹ sustrato/mgL ⁻¹ biomasa. D	0.44	0.32	0.54
Relación oxígeno consumido en metabolismo energético; a, mgO ₂ /mgDBOr	3.2723	1.6294	0.9343
Kg de oxígeno utilizado por día por Kg de MLVSS en el reactor en el proceso de respiración endógena, b, d ⁻¹	0.4095	0.0801	0.0316

(*) Estos valores son inapropiados, no serán tomados en cuenta.

Realizando la comparación de los coeficientes cinéticos encontrados con los presentados por Ramalho. (1991), Mendez et. al.(2004), Mendez (1985) y Finamore (1999); identificamos que los valores obtenidos en la presente investigación son diferentes en la mayoría de los parámetros; indicando que: los valores de los autores se obtuvieron a nivel de laboratorio; además el suministro de agua residual fue aguas residuales domésticas donde las concentraciones de los constituyentes se encuentran diluidos por los diversos usos del agua (lavado, limpieza, entre otros); mientras que en la presente investigación la fuente de agua residual es netamente del servicio higiénico con elevadas concentraciones de constituyentes de origen fecal. Otro factor preponderante es la diferencia de climas, generalmente se tiene estudios en climas tropicales donde la mayor temperatura favorece el crecimiento de la biomasa y con ello la velocidad de las reacciones; en cambio la presente investigación se ejecutó en los climas locales, donde la temperatura ambiental varió entre los 1,6 – 23.3°C, para una temperatura media 13,5°C. (SENAMHI, 2016). Así mismo la temperatura registrada en horas de la mañana en los reactores varían entre

los 14,31 – 16,30°C; temperaturas que no resultan ser las óptimas para el desarrollo biológico de microorganismos especialmente de bacterias (25 – 35°C), pero mucho mayor a 2°C, temperatura a la cual, las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia orgánica carbonosa dejan de actuar. (Metcalf& Eddy, 1998, p. 104)

En cuanto a la constante de velocidad de consumo de sustrato, k ; el valor obtenido para R_2 (0,028 d^{-1}), es mayor que en R_3 y R_4 (0,002 y 0,004 d^{-1}); en R_2 la materia orgánica presente es más abundante en concentración ($R_1=244,98$; $R_2=73,14$; $R_3=56,36$ y $R_4=47,68$ mg/L); adicionalmente; los valores obtenidos de la concentración de materia orgánica no biodegradable, S_n ; son: 2,66; 1,14 y 1,8 mg/L de R_2 a R_4 respectivamente, son relativamente bajos; indicándonos que existe una baja concentración de materia no biodegradable en relación al contenido de materia biodegradable.

En relación al coeficiente “ a ”, referido a la relación sustrato consumido en metabolismo energético; $a = \text{mg O}_2 \text{ consumido} / \text{mg DBO}_r$; se observan valores altos para los 03 biorreactores (deduciendo que la demanda de oxígeno, necesaria para dotar de energía para crecimiento celular, es alta), pero el mayor consumo de oxígeno se observa en R_2 (3,2723) y es decreciente para R_3 y R_4 (1,6294; 0,9343 respectivamente); siendo contradictorio con los valores bajos obtenidos para el coeficiente k . Es de suponer que la demanda alta de oxígeno se debe a los largos tiempos de retención hidráulica en cada uno de los biorreactores ($R_1=5,5$; $R_2=8,8$; $R_3= 12,7$ y $R_4=17,6$) días; se generan procesos de nitrificación para tiempos de retención mayores de 5 a 7 días coincidiendo con Crites y Tchobanoglous (2000).

Los valores del coeficiente de respiración endógena, k_d obtenidos son: -0,1986; -0,3946 y -0,6164 en el orden de R_2 a R_4 ; representando altos valores negativos;

incidiendo en que, el sistema operó en una fase de decaimiento endógeno que podría deberse a los largos períodos de retención hidráulica, en la que hay alta depredación o aniquilamiento de los microorganismos entre sí, para utilizar sus productos como fuente de energía coincidiendo con Metcalf y Edy (1998).

El coeficiente b , representa la demanda de oxígeno para la respiración endógena; que en este caso resultan valores aproximados o están en el rango obtenido por Varila y Díaz (2008), Méndez, et al.(2004) y Mendez (1985) con valores de R_2 a R_4 de: 0.4095; 0.0801 y 0.0316Kg de oxígeno utilizado por día por Kg de MLVSS respectivamente; indicando que la demanda de oxígeno para respiración endógena es relativamente baja, en relación a los altos valores del coeficiente de decaimiento endógeno.

El coeficiente de producción celular Y , obtenido en R_2 (0,0856mg MLVSS producido/mg sustrato consumido) es bajo pero cercano a los valores obtenidos por Méndez, *et al.* (2004) y Varila y Díaz (2008); mientras que los valores obtenidos en R_3 y R_4 son mayores a 1; valores no adecuados por posibles errores en el proceso.

Los coeficientes obtenidos indican que las velocidades de las reacciones son más lentas que las obtenidas en otras regiones del mundo; al ser un tanto diferentes a las citadas por otros autores; además se obtiene que las velocidades de reacción en R_2 son mayores que en R_3 y R_4 , debido a que en R_2 la materia orgánica se encuentra en mayor concentración y está más biodisponible a los microorganismos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- El nivel de tratabilidad biológica de las aguas residuales alcanzado en el sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto fue superior al 70% referente al contenido de materia orgánica; y superior al 90% en el contenido de coliformes termotolerantes; convirtiéndose en una tecnología favorable para la zona rural.
- Se alcanzaron condiciones estables de DBO_5 de 244,98; 73,14; 56,36 y 47,68 mg/l; de R_1 a R_4 respectivamente con tiempos de retención hidráulica de $R_1=5,5$; $R_2=8,8$; $R_3= 12,7$ y $R_4=17.6$ días; así mismo los valores de MLVSS 286,75; 251,75; 221,25 mg/L respectivamente desde R_2 a R_4 , para caudales promedio del afluente de 61,44 L/día.
- Para las condiciones estables en los biorreactores aerobios continuos a escala piloto se obtuvieron los principales coeficientes cinéticos de tratabilidad biológica, desde R_2 a R_4 así: velocidad de consumo de sustrato, k ; d^{-1} 0,028; 0,002; 0,004; parámetro de producción celular, Y ; mg MLVSS producido/mg sustrato consumido 0,0856; respiración endógena, k_d ; d^{-1} ; -0.1986; -0.3946; -0.6164.
- Los coeficientes cinéticos determinados en el sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto reflejan una baja velocidad en las reacciones biológicas, en comparación a las obtenidas en otras regiones del mundo, influenciado por las bajas temperaturas que se presentan en la zona en estudio, por la naturaleza de las aguas utilizadas en el experimento (UBS) (altas concentraciones de materia orgánica, cloruros, nitrógeno amoniacal), reduciendo las reacciones biológicas; sugiriendo la

repetición del experimento con el agua residual sedimentada (tratamiento primario) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín

- La mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica (DBO_5), se realiza en R_2 con una eficiencia mayor a 64% de un 77% de eficiencia total en los 04 biorreactores; sugiriendo realizar el experimento solamente para un biorreactor en serie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bvsde.paho (2005). Calidad del agua. Consultado 15 junio 2018. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/018790/018790-02.pdf>.

Chávez Paredes, M. (2004), determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales como parámetro para el dimensionamiento del equipo de aireación de un biodigestor aeróbico. Tesis de Pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. 66p.

Chocce Curo, R., & Galarza Soto, R. Á. (2012). Determinación de los coeficientes cinéticos del proceso de degradación aerobia en el tratamiento biológico del efluente doméstico de Agua de las Vírgenes El Tambo – Huancayo. Universidad Nacional del Centro del Perú. 61p.

Crites, R y Tchobanoglobus, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá – Colombia. Mc Graw Hill. 775p.

De Francisco Díaz, J (2003). Efecto de la temperatura en los procesos de depuración biológica por lodos activos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 552 p.

Eckenfelder (1970). Water pollution control. Ed. Mc Graw - Hill. México.

Ferrer, J y Seco A. (2008). Tratamientos biológicos de aguas residuales. Universidad Politécnica de Valencia. México. Alfaomega. 184p.

Finamore, et al. (1999). “Constantes cinéticas en un sistema de lodos activados a escala laboratorio” XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Caracas, Venezuela. 7 pág.

Google Earth Pro (2017).

Hernandez S, R.et al.(2006). Metodología de la investigación. 4 ed. México D.F. Mc Graw Hill Interamericana. 882 p.

INEI (2017). “Compendio de proyecciones estadísticas”. Perú.

López, R. (2003). Aguas residuales municipales y biodiscos. Elementos básicos, caracterización, tratamientos, reusos. México D.F. UNAM. 422p.

Méndez, et al. (2004). “Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio”. Revista del instituto de investigación figmmg. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 10 pag.

Méndez, G. (1985). “Cinética del tratamiento biológico de aguas residuales para reuso en irrigación de áreas verdes de la ciudad universitaria”. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterey. México. 124 pag.

Metcalf y Eddy. (1998). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3 Ed. España. Mc Graw Hill. 1459p.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE); ANA (Autoridad nacional del Agua, PE). (2011). Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos del ANA – DGCRH. (En línea). Consultado 23 abr. 2015. Disponible en: <http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm.../2011-PROTOCOLO-ANAPeru.pdf>.

MINAN. (2009). “Tratamiento y reuso de aguas residuales”. Consultado el 8 de junio del 2018. Disponible en <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2005). “Norma OS 090 Diseño de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú.

PCM. (2005). Ley General del ambiente. Ley N° 28611. 56 p. Disponible en http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_n-28611.pdf

Ramalho, R. (1991). Tratamiento de aguas residuales. 2 Ed. Quebec – Canadá. Reverté. 704 p.

Ramirez, Sandoval y Moeller. (2008). “Tratamiento de aguas residuales”. SEMARNAT. México.

Ramon, J. Gualdron, I y Maldonado, J (2007). Determinación de los coeficientes cinéticos y estequiométricos del proceso de degradación aerobia en el tratamiento biológico del agua residual en reactores discontinuos. Universidad de Pampolona. Colombia. 9p.

Rojas López, C, Castillo González, E, Leal Ascencio, M, Galicia Sánchez, M (2012), Evaluación del arranque de una planta de lodos activados en Xalapa, Veracruz. Universidad Veracruzana, México. 5 p.

Romero, J. (2009). Calidad del agua. 3 Ed. Bogotá – Colombia. Escuela Colombiana de ingeniería. 484 pág.

Romero, J. (2005). Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 2 Ed. Bogotá – Colombia. Escuela Colombiana de ingeniería. 1242p.

SENAMHI. (2017). Registro de datos meteorológicos de la Estación Meteorológica Celendín. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Valdez y Vázquez. (2003). “Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales” Fundación ICA. AC. México. 341 pág.

Varila Quiroga, J y Fabio Eduardo Díaz López (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. Universidad el Bosque. Bogota. Colombia. 8 p.

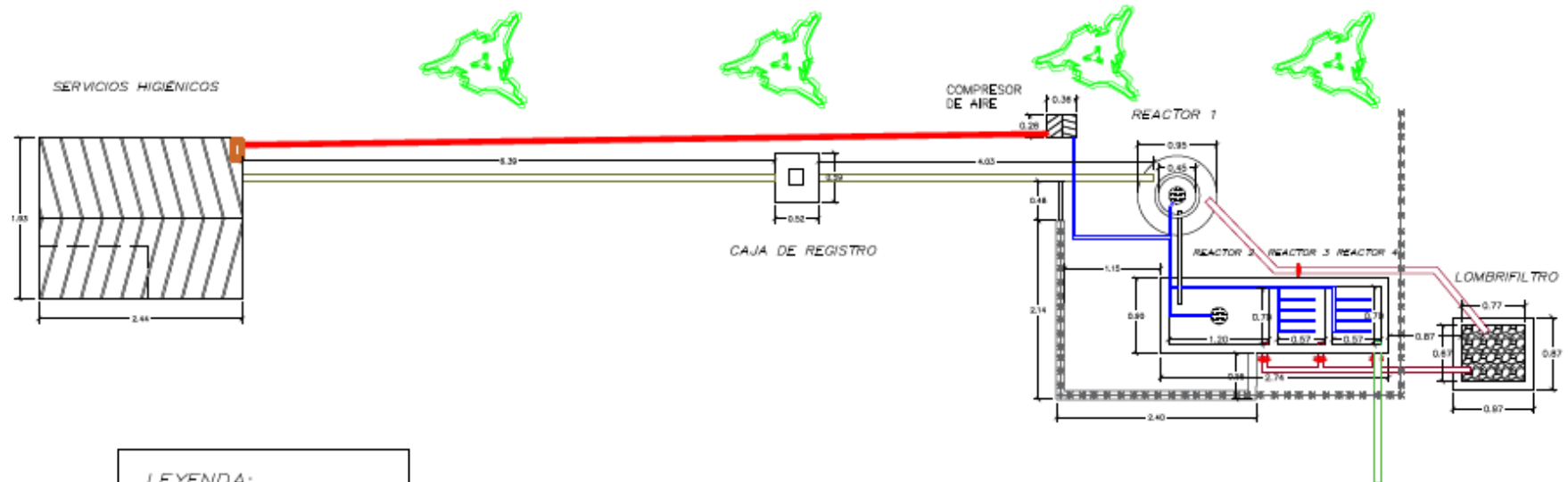
Varila y Díaz. (2008). “Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio”. Revista de Tecnología - JournalofTechnology. Colombia. 8 pág.

Vilaseca Vallvé, M (2001). Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. Universidad Politécnica de Catalunya.

ANEXOS

Anexo 1

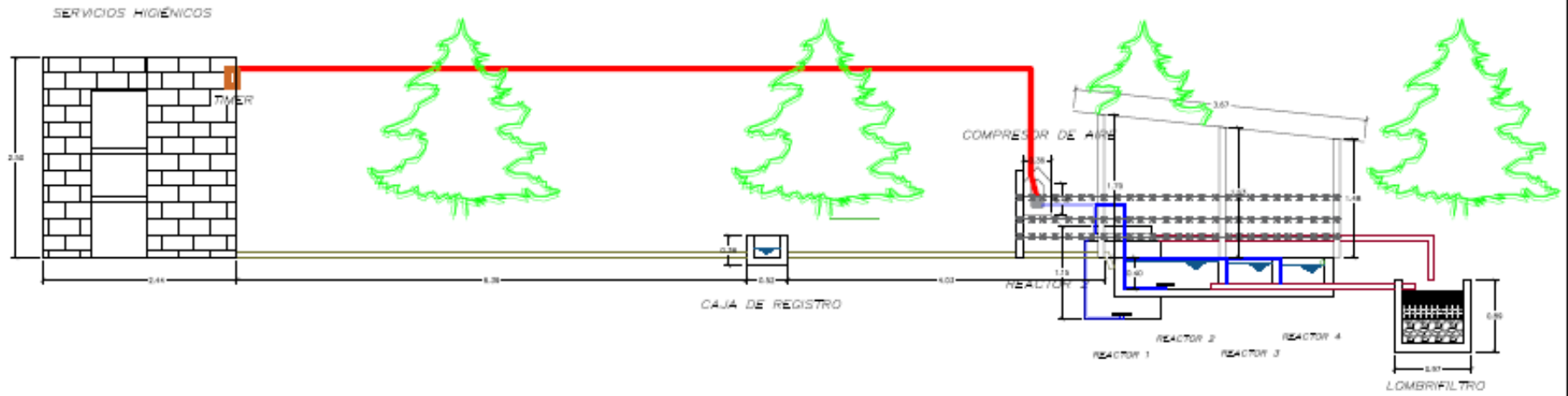
Planos del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto



LEYENDA:

	Tubería de entrada
	Tubería de salida
	Tubería de aireación
	Tubería de purga de lodos
	Cerco de pías
	Red eléctrica
	Timer digital

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POST-GRADO				
ASESOR: Dr. Ing. Glicerio Eduardo Torres Comanza		TESISTA: Ing. Giovana Emestha Chávez Herra		
PLANO: Vista en planta del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto				
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	PROVINCIA: CELENDÓN	DISTRITO: CELENDÓN	CASERIO: SANTA ROSA	LÁMINA: VP-1
ELABORADO POR: Elmer W. Castilla Rojas		ESC.: 1/5000	FECHA: 14/04/2017	



LEYENDA:

	Tubería de entrada
	Tubería de salida
	Tubería de aireación
	Tubería de purga de lodos
	Cerco de paja
	Red eléctrica
	Timer digital
	Nivel del agua

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POST-GRADO				
ASESOR: Dr. Ing. Oliverio Eduardo Torres Cornejo		AYUDANTE: Ing. Giovana Emelina Chávez Maza		
PLANO: Vista en elevación del sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto				
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	PROVINCIA: CAJANDON	DISTRITO: DELIZACION	CANTON: SANTA ROSA	LAMINA: VB-2
ELABORADO POR: Eimer W. Casillo Rojas	ESCALA: 1/3000	FECHA: 14/04/2017		

Anexo 2

Registro fotográfico



Foto 1. Biorreactores aerobios continuos a escala piloto, vista panorámica



Fotos 2 y 3. Medidor de agua, control de caudal al ingreso de los biorreactores



Foto 3. Bomba compresora



Foto 4. Difusos de aire



Foto 5 y 6. Biorreactor R1



Foto 7, 8 y 9. Biorreactores R₂, R₃ y R₄



Foto 10 y 11. Lombrifiltro para el manejo de lodos



Foto 11 y 12. Toma de muestras para envío a laboratorio



Foto 12. Medición de pH Muestras

Foto 13. Muestras laboratorio



Foto 14. Evaluación de oxígeno disuelto, preservación de muestras en campo



Foto 15 y 16. Personal de laboratorio regional del agua midiendo el oxígeno disuelto

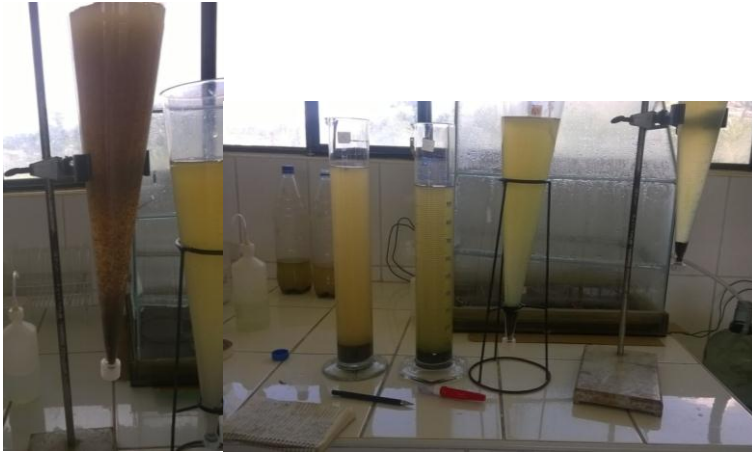


Foto 17 y 18. Determinación de sólidos sedimentables a nivel de laboratorio



Foto 19. Medición de turbiedad en laboratorio

Anexo 3

Resultados de análisis en el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1016457

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención: -

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 457 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 18 de Octubre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos.

El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Bigo. Juan V. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CEP 7395

Cajamarca, 26 de Octubre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016457

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **18.10.16** Hora: **07:58 a 07:38**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestra** N° Frascos x muestra **02**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO		Fecha y Hora			
Parámetro de Campo	Unidad	R1	R2	R3	R4
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	6.73	6.76	6.75	6.74
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	15.5	15	14.8	15
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-

Nota: **No se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 457 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1016457**
 Fecha y Hora de Recepción **18.10.16** **11:20** Inicio de Ensayo **18.10.16** **12:00**
 Fecha Término de Ensayo **25.10.16** **15:00** Reporte Resultado **26.10.16** **15:30**
 Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **53**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 26 de Octubre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° IE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1016457

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente			R 1	R 2	R 3	R 4
Código Laboratorio			1016457-01	1016457-02	1016457-03	1016457-04
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	245	195	171
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	2.6	216.0	84.5	64.8	56.1

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,E, 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ingnited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservan en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 26 de Octubre de 2016.



Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 3 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016468

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención: -

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendin - Cajamarca.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 468 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 21 de Octubre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos.

El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Bigo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 31 de Octubre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016468

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **21.10.16** Hora: **07:46 a 07:34**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestra** N° Frascos x muestra **02**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO			Fecha y Hora			
Parámetro de Campo	Unidad	R1	R2	R3	R4	
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	8.33	8.37	8.39	8.48	
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-	
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-	
(*) Temperatura (T)	°C	15.8	15	15	15	
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-	
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-	

Nota: **No se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 468 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1016468**
 Fecha y Hora de Recepción **21.10.16** **11:50** Inicio de Ensayo **21.10.16** **12:00**
 Fecha Término de Ensayo **28.10.16** **15:00** Reporte Resultado **31.10.16** **15:30**
Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **53**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 31 de Octubre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016468

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	R 1	R 2	R 3	R 4	-	-
Código Laboratorio	1016468-01	1016468-02	1016468-03	1016468-04	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra	Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	203	176	155
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	568.0	104.0	95.0	71.3

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,E, 22 nd Ed, 2012: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed, 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 31 de Octubre de 2016.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N°15 - 054

INFORME DE ENSAYO N° IE 1016478

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención: -

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la **Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendin - Cajamarca.**

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 478 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 25 de Octubre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos. El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Juan V. Díaz Saenz
Bigo. Juan V. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 02 de Noviembre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° 12 - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1016478

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI: **40432609**
 Dirección: **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto: **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito: **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: **25.10.16** Hora: **07:30 a 08:00**
 Tipo de Muestreo: **Puntual**
 Número de Muestra: **04 Muestra** N° Frascos x muestra: **02**
 Ensayos solicitados: **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra: **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO

Parámetro de Campo	Unidad	Fecha y Hora			
		R1	R2	R3	R4
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	8.06	8.43	8.57	8.42
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	16	15.9	15.8	14.5
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-

Nota: **No se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC - 461** Cadena de Custodia: **CC - 478 - 16**
 N° Orden de Trabajo: **1016478**
 Fecha y Hora de Recepción: **25.10.16 11:30** Inicio de Ensayo: **25.10.16 12:10**
 Fecha Término de Ensayo: **02.11.16 15:00** Reporte Resultado: **02.11.16 15:30**
 Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C): **22** Humedad Relativa (%): **53**
 Presión atmosférica (mmHg): **554**



Cajamarca, 02 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1016478

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente			R 1	R 2	R 3	R 4
Código Laboratorio			1016478-01	1016478-02	1016478-03	1016478-04
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	271	232	212
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	249.0	66.0	42.6	35.1

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,E, 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ingried at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA, NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 02 de Noviembre de 2016.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016485

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención:

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la **Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.**

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 485 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 28 de Octubre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos.

El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Juan V. Díaz Saenz
Blgo. Juan V. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016485

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **28.10.16** Hora: **10:50 a 11:00**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestra** N° Frascos x muestra **02**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO		Fecha y Hora					
Parámetro de Campo	Unidad	R1	R2	R3	R4		
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	7.92	8.58	8.63	8.51		
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-		
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-		
(*) Temperatura (T)	°C	15.9	14.5	14.3	14.3		
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-		
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-		

Nota: No se realizaron parámetro de campo.

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 485 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1016485**
 Fecha y Hora de Recepción **28.10.16 16:00** Inicio de Ensayo **28.10.16 16:20**
 Fecha Término de Ensayo **04.11.16 15:00** Reporte Resultado **07.11.16 15:30**
Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **53**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016485

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	R 1	R 2	R 3	R 4	-	-
Código Laboratorio	1016485-01	1016485-02	1016485-03	1016485-04	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra	Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	370.0	328.0	256.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	138.0	64.8	35.4	26.4

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.E, 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ingñited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA, NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1016486

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención:

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la **Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.**

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 486 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 28 de Octubre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos. El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Bigo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.

La válidez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 1 de 4



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016486

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **28.10.16** Hora: **10:50 a 11:00**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **30 Muestra** N° Frascos x muestra **01**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal de Laboratorio**

(*) DATOS DE CAMPO		Fecha y Hora					
Parámetro de Campo	Unidad	-	-	-	-	-	-
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	-	-	-	-	-	-
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-	-	-
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	-	-	-	-	-	-
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-	-	-
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	-

Nota: **Se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 486 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1016486**
 Fecha y Hora de Recepción **28.10.16** **16:00** Inicio de Ensayo **28.10.16** **16:20**
 Fecha Término de Ensayo **04.11.16** **15:00** Reporte Resultado **07.11.16** **15:30**
 Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **53**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016486

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			R ₂ - 1	R ₂ - 2	R ₂ - 3	R ₂ - 4	R ₂ - 5	R ₂ - 6
Código Laboratorio			1016486-01	1016486-02	1016486-03	1016486-04	1016486-05	1016486-06
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Oxígeno Disuelto en Campo	mgO ₂ /L		7.17	7.16	7.15	7.08	7.03	6.93

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			R ₂ - 7	R ₂ - 8	R ₂ - 9	R ₂ - 10	-	-
Código Laboratorio			1016486-01	1016486-02	1016486-03	1016486-04	-	-
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Oxígeno Disuelto en Campo	mgO ₂ /L		6.82	6.79	6.76	6.74	-	-

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			R ₃ - 1	R ₃ - 2	R ₃ - 3	R ₃ - 4	R ₃ - 5	R ₃ - 6
Código Laboratorio			1016486-01	1016486-02	1016486-03	1016486-04	1016486-05	1016486-06
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Oxígeno Disuelto en Campo	mgO ₂ /L		6.99	6.95	6.89	6.86	6.85	6.83

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			R ₃ - 7	R ₃ - 8	R ₃ - 9	R ₃ - 10	-	-
Código Laboratorio			1016486-01	1016486-02	1016486-03	1016486-04	-	-
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Campo					
Oxígeno Disuelto en Campo	mgO ₂ /L		6.8	6.78	6.76	6.73	-	-



Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 3 de 4

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA VERIFICACIÓN Y LA FIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016486

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			R ₄ - 1	R ₄ - 2	R ₄ - 3	R ₄ - 4	R ₄ - 5	R ₄ - 6
Código Laboratorio			1016486-01	1016486-02	1016486-03	1016486-04	1016486-05	1016486-06
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Campo					
Oxígeno Disuelto en Campo	mgO ₂ /L		5.04	5.01	4.99	4.96	4.94	4.92

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			R ₄ - 7	R ₄ - 8	R ₄ - 9	R ₄ - 10	-	-
Código Laboratorio			1016486-01	1016486-02	1016486-03	1016486-04	-	-
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 2	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Campo					
Oxígeno Disuelto en Campo	mgO ₂ /L		4.90	4.89	4.89	4.87	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ / L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O ₂ G, 22 nd Ed. 2012: Oxygen Membrane Electrode Method.

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (°) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.



Cajamarca, 07 de Noviembre de 2016.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 4 de 4



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 116507

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención: -

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la **Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.**

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 507 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 08 de Noviembre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos.

El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Juan V. Diaz Saenz
Bigo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 16 de Noviembre de 2016.

La válidez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116507

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **08.11.16** Hora: **07:48 a 08:06**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestra** N° Frascos x muestra **02**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO

Parámetro de Campo	Unidad	Fecha y Hora			
		R1	R2	R3	R4
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	8.06	8.42	8.51	8.39
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	16	14.8	14.5	14.5
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-

Nota: **Se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 507 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1116507**
 Fecha y Hora de Recepción **08.11.16** **12:00** Inicio de Ensayo **08.11.16** **14:50**
 Fecha Término de Ensayo **15.11.16** **15:00** Reporte Resultado **16.11.16** **15:30**
Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **53**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 16 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116507

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	R 1	R 2	R 3	R 4		
Código Laboratorio	1016507-01	1016507-02	1016507-03	1016507-04		
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra	Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	392.0	357.0	315.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	367.0	84.7	61.1	54.9

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.E. 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 16 de Noviembre de 2016.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° 12 - 04

INFORME DE ENSAYO N° IE 1116521

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención:

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 521 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 11 de Noviembre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos. El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Bigo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE
CSP 7265

Cajamarca, 18 de Noviembre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1116521

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI: **40432609**
 Dirección: **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto: **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito: **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: **11.11.16** Hora: **07:18 a 07:38**
 Tipo de Muestreo: **Puntual**
 Número de Muestra: **04 Muestra** N° Frascos x muestra: **02**
 Ensayos solicitados: **Fisicoquimicos**
 Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra: **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO				Fecha y Hora			
Parámetro de Campo	Unidad	R1	R2	R3	R4		
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	8.09	8.47	8.44	8.35		
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-		
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-		
(*) Temperatura (T)	°C	16.8	16	16	16		
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-		
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-		

Nota: **Se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC - 461** Cadena de Custodia: **CC - 521 - 16**
 N° Orden de Trabajo: **1116521**
 Fecha y Hora de Recepción: **11.11.16 11:15** Inicio de Ensayo: **11.11.16 12:10**
 Fecha Término de Ensayo: **17.11.16 15:00** Reporte Resultado: **18.11.16 15:30**
 Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C): **22** Humedad Relativa (%): **53**
 Presión atmosférica (mmHg): **554**



Cajamarca, 18 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116521

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente			R 1	R 2	R 3	R 4
Código Laboratorio			1116521-01	1116521-02	1116521-03	1116521-04
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	297.0	283.0	227.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	141.3	57.5	46.9	44.6

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,E. 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 18 de Noviembre de 2016.



Cód: RT1-5-10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 3 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro INE-E-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1116533

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención: -

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 533 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 15 de Noviembre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos. El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Bigo. Juan W. Díaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 24 de Noviembre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116533

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **16.11.16** Hora: **07:30**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestra** N° Frascos x muestra **02**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO		Fecha y Hora					
Parámetro de Campo	Unidad	R1	R2	R3	R4	-	-
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	8.19	8.53	8.57	8.49	-	-
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-	-	-
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	15	13.3	13	13.2	-	-
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-	-	-
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	-

Nota: **Se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 533 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1116533**
 Fecha y Hora de Recepción **15.11.16** **12:30** Inicio de Ensayo **15.11.16** **15:30**
 Fecha Término de Ensayo **23.11.16** **15:00** Reporte Resultado **24.11.16** **15:30**
 Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **53**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 24 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



Registro N° 12 - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1116533

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente			R 1	R 2	R 3	R 4
Código Laboratorio			1116533-01	1116533-02	1116533-03	1116533-04
Matriz de Agua			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción			doméstica	doméstica	doméstica	doméstica
Localización de la Muestra			Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	255.0	215.0	210.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	138.0	63.4	51.3	44.9

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,E. 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA, NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 24 de Noviembre de 2016.



Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 3 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 116545

Razón Social /Usuario: GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Dirección: Jr. Jose Galvez N° 707
Ciudad: Cajamarca
Atención:

Presente:

Anexo al presente me permito remitir a usted el Informe con resultados de Ensayos realizados a la(s) muestra(s) de agua(s) procedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Unifamiliar - MSABP- Caserío Santa Rosa - Distrito Celendín - Cajamarca.

De acuerdo con la cadena de custodia N° CC. 545 -16, se recepcionan las muestras en las instalaciones de nuestro laboratorio el día 18 de Noviembre de 2016, para la determinación de parámetros Físicoquímicos. El informe contiene la descripción de fecha/hora y punto de recepción de muestras, Métodos de ensayo, resultados de laboratorio y observaciones generales.

Sin otro particular de momento, nos es grato reiterarle un cordial saludo.

Atentamente

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Bigo. Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE
CBP 7395

Cajamarca, 25 de Noviembre de 2016.

La validez de los resultados es aplicable sólo a las muestras analizadas

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 - Rev: N°04

Página: 1 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 116545

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**
 N° RUC/DNI **40432609**
 Dirección **Jr. Jose Galvez N° 707**
 Persona de contacto **-**
 Ciudad/Provincia/Distrito **Cajamarca**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **18.11.16** Hora: **07:36 a 07:54**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestra** N° Frascos x muestra **04**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**

(*) DATOS DE CAMPO				Fecha y Hora			
Parámetro de Campo	Unidad	R1	R2	R3	R4		
(*) Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	8.26	8.61	8.61	8.52		
(*) Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	-	-	-	-		
(*) Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	-	-	-	-		
(*) Temperatura (T)	°C	14.3	12.0	11.9	12.0		
(*) Cloro Libre (Cl)	mg/L	-	-	-	-		
(*) Turbidez	NTU	-	-	-	-		

Nota: **Se realizaron parámetro de campo.**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 461** Cadena de Custodia **CC - 545 - 16**
 N° Orden de Trabajo **1116545**
 Fecha y Hora de Recepción **18.11.16** 11:30 Inicio de Ensayo **18.11.16** 11:55
 Fecha Término de Ensayo **24.11.16** 15:30 Reporte Resultado **25.11.16** 15:00
 Condiciones Ambientales de Trabajo
 Temperatura ambiental (°C) **22** Humedad Relativa (%) **52**
 Presión atmosférica (mmHg) **554**



Cajamarca, 25 de Noviembre de 2016.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116545

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	R 1	R 2	R 3	R 4		
Código Laboratorio	1116545-01	1116545-02	1116545-03	1116545-04	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	doméstica	doméstica	doméstica	doméstica	-	-
Localización de la Muestra	Efluente Reactor 1	Efluente Reactor 2	Efluente Reactor 3	Efluente Reactor 4	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Sólidos Volátiles	mg/L	2.5	-	261.0	228.0	224.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	142.5	60.2	53.8	48.1
Nitrogeno Amoniacal	mg NH ₃ -N/L	0.017	144.1	-	-	102.4
Nitrogeno total	mg N/L	0.017	174.0	-	-	124.3
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/L	0.064	0.39	-	-	3.15
(*) Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	70x10 ⁵	-	-	28x10 ⁴
(*) Organismos de Vida Libre (protozoarios)	N° Org/L	1	507000	2625450	4801650	36366800

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Sólidos Volátiles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,E, 22 nd Ed. 2012: Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Aniones (Nitrito, Nitrato)	mg/L	EPA 300.1, Rev1, 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.
Amoniacal y Nitrogeno Amoniacal	mgNH ₃ /L mg/NH ₃ -N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D. Ammonia Selective Electrode Method
(*) Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B2,C,E1, 22 nd Ed. 2012: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
(*) Organismo de Vida Libre	N° Org/L	Determinación y Cuantificación de Organismos de vida libre en aguas: Algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nemátodos

CONSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa

LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.



Cajamarca, 25 de Noviembre de 2016.

Cód: RT-1.5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04

Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorioodelagua@regioncajamarca.gob.pe FON0: 599000 anexo 1140

Anexo 4

Resultados tabulados

Caudal, L/d

Fecha	Caudal
17-jun	30.61299333
20-jun	17.02333333
21-jun	38.28
27-jun	33.80833333
28-jun	70.8
12-jul	35.36
18-jul	13.84
19-jul	36.26
24-jul	100.806
25-jul	220.1
26-jul	134.94
31-jul	111.434
01-ago	118.42
02-ago	32.83
04-ago	104.45
07-ago	113.38
12-ago	50.9075
15-ago	10.82666667
22-ago	30.66
23-ago	34.3
24-ago	50.3
26-ago	23.325
28-ago	12.885
02-sep	35.956
17-sep	26.70333333
05-oct	55.56666667
17-oct	85.79583333
18-oct	56.95
20-oct	71.275
21-oct	28.2
21-oct	19.1
24-oct	87.79333333
25-oct	44.9
27-oct	65.025
28-oct	72.72
07-nov	75.365
08-nov	90
10-nov	52.2
11-nov	54.5
14-nov	95.8
15-nov	71.3
17-nov	57.485
18-nov	69.65
Promedio	61.43799984

Temperatura, °C

FECHA Día-Mes- Año	REACTOR BIOLÓGICO				GRIFO	AMBIENTE	HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4			
28-jun-16	16.00	15.20	15.00	14.90		14.10	11:15 - 11:40
12-jul-16	15.20	15.00	14.80	14.70	17.80	17.80	10:40 - 10:59
26-jul-16	16.20	15.00	14.70	14.50	19.00	17.00	10:54 - 11:13
18-oct-16	15.50	15.00	14.80	15.00	17.20	12.40	7:31 - 7:49
21-oct-16	15.80	15.00	15.00	15.00	16.00	15.30	7:33 - 7:49
25-oct-16	16.00	15.90	15.80	14.50	15.50	13.80	7:32 - 8:12
28-oct-16	15.90	14.50	14.30	14.30	20.20		10:26 - 10:41
08-nov-16	16.00	14.80	14.50	14.50	16.00	12.50	7:48 - 8:21
11-nov-16	16.80	16.00	16.00	16.00	16.00	14.00	7:18 - 7:56
15-nov-16	15.00	13.30	13.00	13.20	14.50	11.00	7:21 - 8:03
18-nov-16	14.30	12.00	11.85	12.00	15.00	11.20	7:32 - 8:20
Promedio	15.70	14.70	14.52	14.42	16.72	13.91	

Potencial de hidrógeno, pH

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO				GRIFO	HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4		
28-jun-16	7.50	7.50	7.50	7.50		11:15 - 11:40
12-jul-16	8.17	8.37	8.09	7.46	7.74	10:40 - 10:59
26-jul-16	8.42	8.35	8.27	7.11	7.71	10:54 - 11:13
18-oct-16	6.73	6.76	6.75	6.74	6.7	7:31 - 7:49
21-oct-16	8.33	8.34	8.59	8.48	7.86	7:33 - 7:49
25-oct-16	8.06	8.43	8.57	8.42	7.82	7:32 - 8:12
28-oct-16	7.92	8.58	8.63	8.51	7.69	10:26 - 10:41
08-nov-16	8.06	8.42	8.51	8.39	7.79	7:48 - 8:21
11-nov-16	8.09	8.47	8.44	8.35	7.29	7:18 - 7:56
15-nov-16	8.19	8.53	8.57	8.49	7.98	7:21 - 8:03
18-nov-16	8.26	8.61	8.61	8.52	7.88	7:32 - 8:20
Promedio	7.98	8.21	8.23	8.00	7.65	

Sólidos sedimentables, mL/L

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO			
	R1	R2	R3	R4
28-jun-16	10	0.3	0.1	0.01
12-jul-16	12	0.3	0.1	0.01
26-jul-16	13.1	0.8	0.05	0.01
18-oct-16	18.50	1.10	0.08	0.01
21-oct-16	52.00	2.00	0.02	0.01
25-oct-16	90.00	6.00	0.90	0.30
28-oct-16	11.10	2.15	3.00	0.50
08-nov-16	34.00	1.60	0.50	0.10
11-nov-16	25.50	13.00	1.80	0.01
15-nov-16	43.00	14.00	0.40	0.05
18-nov-16	23.00	3.50	1.00	0.10
Promedio	30.20	4.07	0.72	0.10

Conductividad eléctrica, mS

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO				GRIFO	HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4		
18-oct-16						
21-oct-16	1.32	1.25	1.17	1.13		7:33 - 7:49
25-oct-16	1.24	1.21	1.15	1.14	0.16	7:32 - 8:12
28-oct-16	1.27	1.20	1.15	1.11	0.19	10:26 - 10:41
08-nov-16	1.25	1.19	1.13	1.10	0.20	7:48 - 8:21
11-nov-16	1.25	1.20	1.14	1.10	0.22	7:18 - 7:56
15-nov-16	1.38	1.27	1.21	1.16	0.20	7:21 - 8:03
18-nov-16	1.40	1.33	1.27	1.24	0.20	7:32 - 8:20
Promedio	1.3	1.24	1.17	1.14	0.19	

Sólidos disueltos totales, mg/L

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO				GRIFO	HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4		
18-oct-16						
21-oct-16	658.00	625.00	583.00	564.00	83.60	7:33 - 7:49
25-oct-16	618.00	603.00	572.00	557.00	81.60	7:32 - 8:12
28-oct-16	636.00	599.00	573.00	553.00	94.10	10:26 - 10:41
08-nov-16	623.00	597.00	562.00	549.00	98.20	7:48 - 8:21
11-nov-16	624.00	598.00	568.00	551.00	109.20	7:18 - 7:56
15-nov-16	689.00	634.00	607.00	583.00	99.80	7:21 - 8:03
18-nov-16	701.00	665.00	633.00	619.00	100.40	7:32 - 8:20
Promedio	649.86	617.29	585.43	568.00	95.27	

Cloruro de sodio, mg/L

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO				GRIFO	HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4		
18-oct-16						
21-oct-16	777.00	736.00	685.00	663.00	94.40	7:33 - 7:49
25-oct-16	737.00	726.00	689.00	679.00	92.60	7:32 - 8:12
28-oct-16	752.00	712.00	679.00	654.00	107.10	10:26 - 10:41
08-nov-16	741.00	709.00	671.00	654.00	112.40	7:48 - 8:21
11-nov-16	736.00	705.00	670.00	650.00	129.90	7:18 - 7:56
15-nov-16	833.00	768.00	734.00	698.00	114.30	7:21 - 8:03
18-nov-16	850.00	813.00	772.00	753.00	116.20	7:32 - 8:20
Promedio	775.14	738.43	700.00	678.71	109.56	

Turbiedad, NTU

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO				GRIFO	HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4		
18-oct-16						
21-oct-16	243	48	41	34	0	7:33 - 7:49
25-oct-16	366	273	89	59	4	7:32 - 8:12
28-oct-16	123	69	69	44	1	10:26 - 10:41
08-nov-16	181	73	65	44	4	7:48 - 8:21
11-nov-16	153	63	52	38	0	7:18 - 7:56
15-nov-16	191	79	55	47	2	7:21 - 8:03
18-nov-16	152	78	51	43	0	7:32 - 8:20
Promedio	201.29	97.57	60.29	44.14	1.57	

Oxígeno disuelto, mg/L

FECHA Día-Mes- Año	REACTOR BIOLÓGICO				HORA DE REGISTRO
	R1	R2	R3	R4	
28-jun-16	0.00	4.32	2.71	0.51	
12-jul-16	0.00	2.87	1.87	0.00	
26-jul-16	0.00	0.78	1.14	0.00	
18-oct-16	1.68	4.16	6.77	5.87	
21-oct-16	1.89	4.43	6.54	5.95	7:33 - 7:49
25-oct-16	3.04	4.64	7.12	6.29	7:32 - 8:12
28-oct-16	2.00	5.32	6.84	5.18	10:26 - 10:41
08-nov-16	1.52	5.36	6.42	5.17	7:48 - 8:21
11-nov-16	1.07	4.84	6.32	6.00	7:18 - 7:56
15-nov-16	0.90	3.36	5.00	4.04	7:21 - 8:03
18-nov-16	1.17	4.00	4.09	4.20	7:32 - 8:20
Promedio	1.21	4.01	4.98	3.93	

Sólidos suspendidos volátiles, mg/L

FECHA Día-Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO		
	R2	R3	R4
28-jun-16	80.00	147.00	65.00
12-jul-16	99.00	152.00	34.00
26-jul-16	45.00	137.00	79.00
18-oct-16	245.00	195.00	171.00
21-oct-16	203.00	176.00	155.00
25-oct-16	271.00	232.00	212.00
28-oct-16	370.00	328.00	256.00
08-nov-16	392.00	357.00	315.00
11-nov-16	297.00	283.00	227.00
15-nov-16	255.00	215.00	210.00
18-nov-16	261.00	228.00	224.00
Promedio	228.91	222.73	177.09

Demanda bioquímica de oxígeno, mg/L

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO				HORA
	R1	R2	R3	R4	
28-jun-16	211.50	92.30	71.80	65.20	
12-jul-16	150.00	49.00	29.30	42.50	
26-jul-16	440.00	144.00	113.00	97.60	
18-oct-16	216.00	84.50	64.80	56.10	7:31 - 7:49
21-oct-16	568.00	104.00	95.00	71.30	7:33 - 7:49
25-oct-16	249.00	66.00	42.60	35.10	7:32 - 8:12
28-oct-16	138.00	64.80	35.40	26.40	10:26 - 10:41
08-nov-16	367.00	84.70	61.10	54.90	7:48 - 8:21
11-nov-16	141.30	57.50	46.90	44.60	7:18 - 7:56
15-nov-16	138.00	63.40	51.30	44.90	7:21 - 8:03
18-nov-16	142.50	60.20	53.80	48.10	7:32 - 8:20
Promedio	251.03	79.13	60.45	53.34	

Demanda química de oxígeno, mg/L

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO			
	R1	R2	R3	R4
28-jun-16	761	261	207	225
12-jul-16	514	280	186	181
26-jul-16	2087	338	230	229
07-sep-16	824.87	247.22	106.22	97.52
12-oct-16	581.39	395.04	267.09	197.52
25-oct-16	581.39	395.04	267.09	197.52
09-nov-16	581.39	203.74	249.70	180.13
Promedio	847.29	302.86	216.16	186.81

Índice Volumétrico de lodos, mL/g

FECHA Día-Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO		
	R2	R3	R4
18-oct-16	4.49	0.41	0
21-oct-16	9.85	0.11	0.01
25-oct-16	22.14	3.88	1.42
28-oct-16	5.81	9.15	1.95
08-nov-16	4.08	1.4	0.32
11-nov-16	43.77	6.36	0.04
15-nov-16	54.9	1.86	0.24
18-nov-16	13.41	4.39	0.45
Promedio	19.81	3.45	0.55

Nitrógeno amoniacal, mg/L

FECHA Día- Mes-Año	REACTOR BIOLÓGICO	
	R1	R4
18-nov-16	144.1	102.4

Nitrógeno total, mg/L

Fecha	R1	R4
18-nov-16	174	124.3

Nitrito – Nitrato

Fecha	R1	R4
18-nov-16	0.39	3.15

Coliformes termotolerantes, NMP/100 mL

Fecha	R1	R4
18-nov-16	7000000.00	280000.00

Organismos de vida libre, org/L

Fecha	R1	R2	R3	R4	HORA
18-nov-16	5.07E+05	2.63E+06	4.80E+06	3.64E+07	7:32 - 8:20

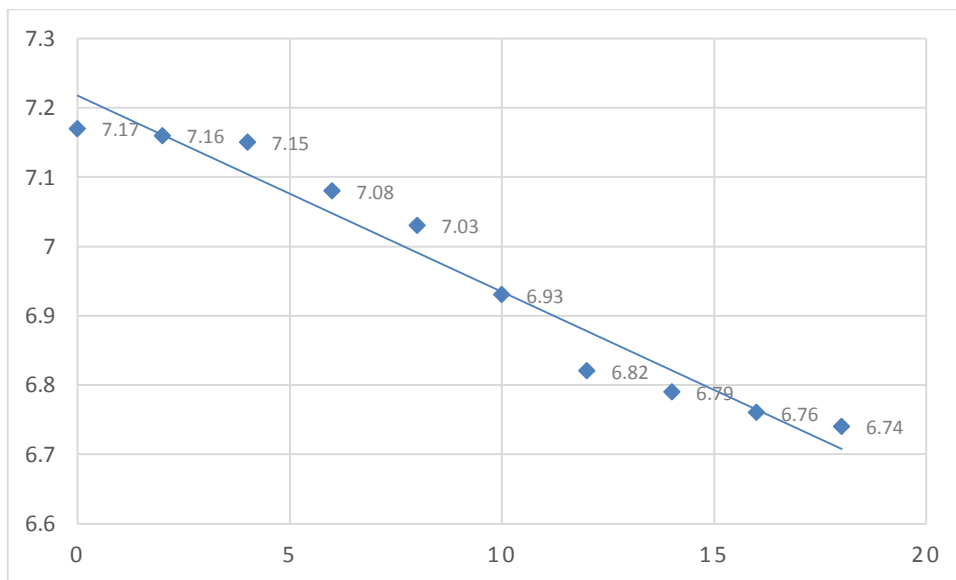
Anexo 5

Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno (VUO)

Oxígeno disuelto por minuto, mg/L

TIEMPO, min	R2	R3	R4
0	7.17	6.99	5.04
2	7.16	6.95	5.01
4	7.15	6.89	4.99
6	7.08	6.86	4.96
8	7.03	6.85	4.94
10	6.93	6.83	4.92
12	6.82	6.8	4.9
14	6.79	6.78	4.89
16	6.76	6.76	4.89
18	6.74	6.73	4.87

VUO para el biorreactor 2, R₂

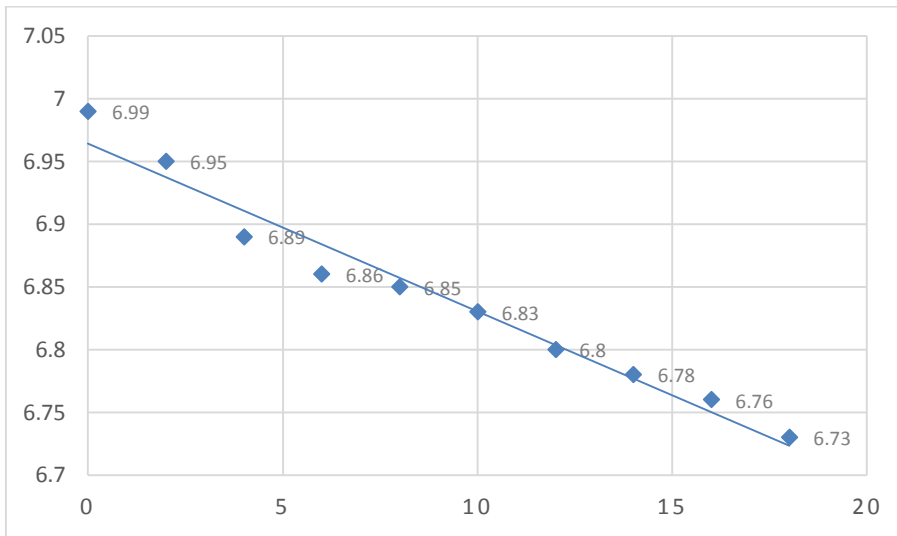


DE LOS PARES ORDENADOS

(2; 7.16) (16; 6.76)

$$\begin{aligned}
 \text{VUO} &= \frac{(6.76-7.16)}{(16-2)} = 0.02857143 \text{ mg/l.min} \\
 &= 41.1428571 \text{ mg/l.día} \\
 &= 0.04114286 \text{ Kg/l.día}
 \end{aligned}$$

VUO para el biorreactor 3, R₃

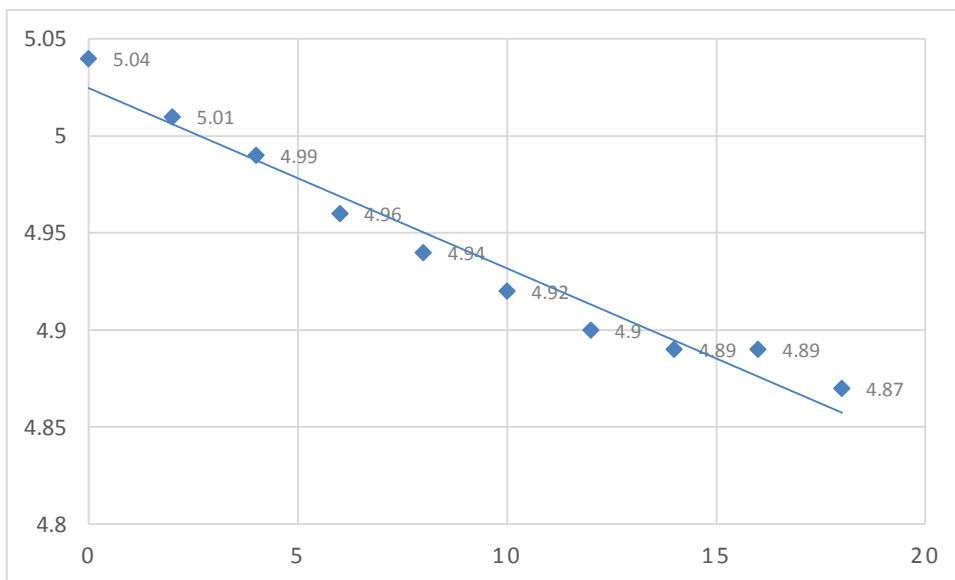


DE LOS PARES ORDENADOS

(10; 6.83) (18; 6.73)

$$\begin{aligned} \text{VUO} &= \frac{(6.73-6.83)}{(18-10)} && = 0.0125 \text{ mg/l.min} \\ &&& = 18 \text{ mg/l.día} \\ &&& = 0.018 \text{ Kg/l.día} \end{aligned}$$

VUO para el biorreactor 4, R₄



DE LOS PARES ORDENADOS

(4; 4.99) (14; 4.89)

$$\begin{aligned} \text{VUO} &= \frac{(4.89-4.99)}{(14-4)} && = 0.01 \text{ mg/l.min} \\ &&& = 14.4 \text{ mg/l.día} \\ &&& = 0.0144 \text{ Kg/l.día} \end{aligned}$$

Anexo 6

Determinación de los coeficientes cinéticos

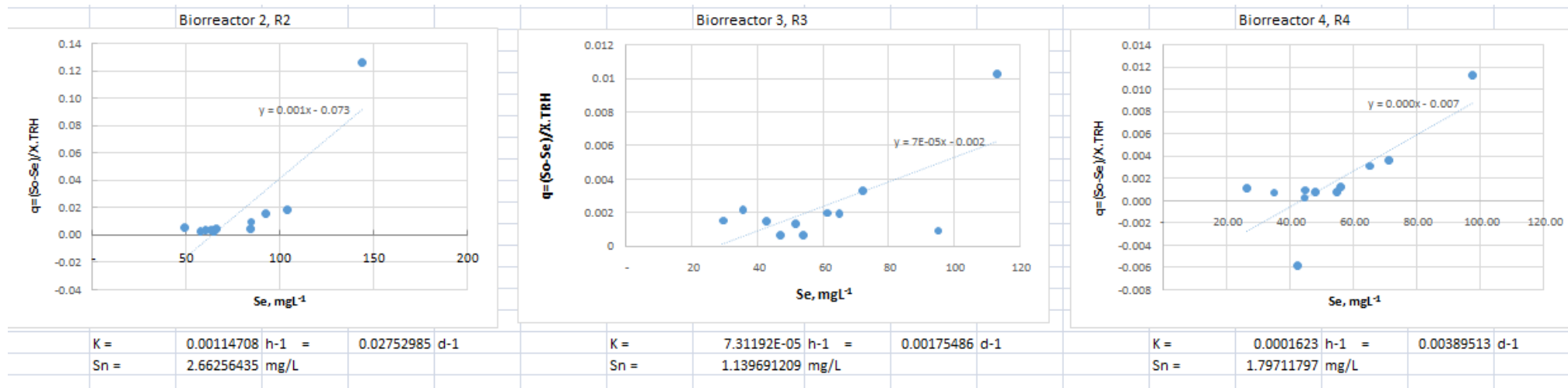
Tabla. Resumen de parámetros para la determinación de los coeficientes cinéticos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FECHA	So, mgL-1			Se, mgL-1			X, mgL-1			Q	
	R2	R3	R4	R2	R3	R4	R2	R3	R4	L.d ⁻¹	L.h ⁻¹
28-jun-16	211.50	92.30	71.80	92.30	71.80	65.20	80.00	147.00	65.00	70.8	2.95
12-jul-16	150.00	49.00	29.30	49.00	29.30	42.50	99.00	152.00	34.00	35.36	1.47333333
26-jul-16	440.00	144.00	113.00	144.00	113.00	97.60	45.00	137.00	79.00	134.94	5.6225
18-oct-16	216.00	84.50	64.80	84.50	64.80	56.10	245.00	195.00	171.00	56.95	2.37291667
21-oct-16	568.00	104.00	95.00	104.00	95.00	71.30	203.00	176.00	155.00	54.8	2.28333333
25-oct-16	249.00	66.00	42.60	66.00	42.60	35.10	271.00	232.00	212.00	44.9	1.87083333
28-oct-16	138.00	64.80	35.40	64.80	35.40	26.40	370.00	328.00	256.00	72.72	3.03
08-nov-16	367.00	84.70	61.10	84.70	61.10	54.90	392.00	357.00	315.00	90	3.75
11-nov-16	141.30	57.50	46.90	57.50	46.90	44.60	297.00	283.00	227.00	54.5	2.27083333
15-nov-16	138.00	63.40	51.30	63.40	51.30	44.90	255.00	215.00	210.00	71.3	2.97083333
18-nov-16	142.50	60.20	53.80	60.20	53.80	48.10	261.00	228.00	224.00	69.65	2.90208333

13	14	15	16	17	18	19	20	21
R2	V, L		TRH, h			TRH, d		
	R3	R4	R2	R3	R4	R2	R3	R4
293.00	124.00	97.00	99.3220339	42.0338983	32.8813559	4.13841808	1.75141243	1.3700565
293.00	124.00	97.00	198.868778	84.1628959	65.8371041	8.2861991	3.50678733	2.74321267
293.00	124.00	97.00	52.1120498	22.0542463	17.252112	2.17133541	0.91892693	0.718838
293.00	124.00	97.00	123.476734	52.2563652	40.8779631	5.14486392	2.17734855	1.70324846
293.00	124.00	97.00	128.321168	54.3065693	42.4817518	5.34671533	2.26277372	1.77007299
293.00	124.00	97.00	156.614699	66.2806236	51.8485523	6.52561247	2.76169265	2.16035635
293.00	124.00	97.00	96.69967	40.9240924	32.0132013	4.02915292	1.70517052	1.33388339
293.00	124.00	97.00	78.1333333	33.0666667	25.8666667	3.25555556	1.37777778	1.07777778
293.00	124.00	97.00	129.027523	54.6055046	42.7155963	5.37614679	2.27522936	1.77981651
293.00	124.00	97.00	98.6255259	41.7391304	32.6507714	4.10939691	1.73913043	1.36044881
293.00	124.00	97.00	100.961953	42.7279253	33.4242642	4.20674803	1.78033022	1.39267767

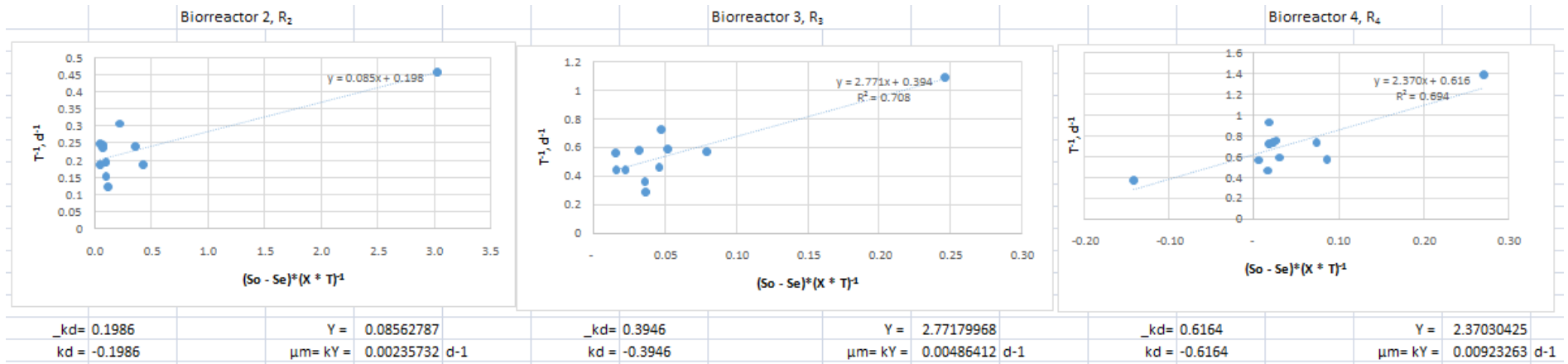
Determinación de la velocidad de consumo de sustrato (K, d^{-1}) y concentración de materia orgánica no biodegradable ($S_n, mg/L$)

MUESTREO	Se, mg/L			q=(So-Se)/X.TRH		
	R2	R3	R4	R2	R3	R4
1	92.30	71.80	65.20	0.0150	0.0033	0.0031
2	49.00	29.30	42.50	0.0051	0.0015	-0.0059
3	144.00	113.00	97.60	0.1262	0.0103	0.0113
4	84.50	64.80	56.10	0.0043	0.0019	0.0012
5	104.00	95.00	71.30	0.0178	0.0009	0.0036
6	66.00	42.60	35.10	0.0043	0.0015	0.0007
7	64.80	35.40	26.40	0.0020	0.0022	0.0011
8	84.70	61.10	54.90	0.0092	0.0020	0.0008
9	57.50	46.90	44.60	0.0022	0.0007	0.0002
10	63.40	51.30	44.90	0.0030	0.0013	0.0009
11	60.20	53.80	48.10	0.0031	0.0007	0.0008



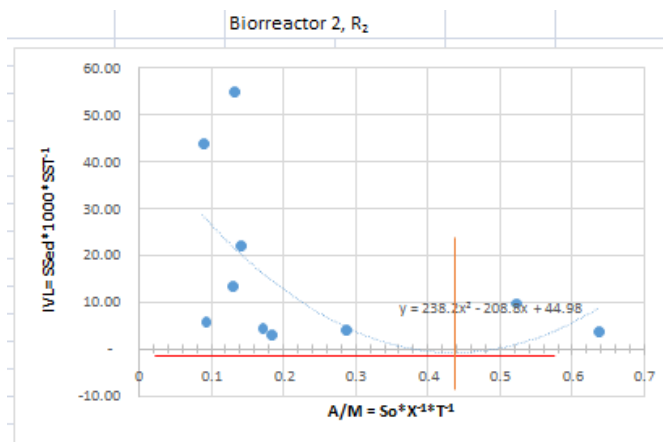
Determinación del coeficiente de decaimiento endógeno (k_d , d^{-1}) y parámetro de producción celular (Y)

FECHA	$(S_o - S_e)/X * T$			$1/T$		
	R2	R3	R4	R2	R3	R4
28-jun-16	0.36	0.08	0.07	0.24163823	0.57096774	0.72989691
12-jul-16	0.12	0.04	-0.14	0.12068259	0.28516129	0.36453608
26-jul-16	3.03	0.25	0.27	0.46054608	1.08822581	1.39113402
18-oct-16	0.10	0.05	0.03	0.1943686	0.45927419	0.5871134
21-oct-16	0.43	0.02	0.09	0.18703072	0.44193548	0.56494845
25-oct-16	0.10	0.04	0.02	0.15324232	0.36209677	0.4628866
28-oct-16	0.05	0.05	0.03	0.24819113	0.58645161	0.74969072
08-nov-16	0.22	0.05	0.02	0.30716724	0.72580645	0.92783505
11-nov-16	0.05	0.02	0.01	0.18600683	0.43951613	0.56185567
15-nov-16	0.07	0.03	0.02	0.24334471	0.575	0.73505155
18-nov-16	0.07	0.02	0.02	0.23771331	0.56169355	0.71804124

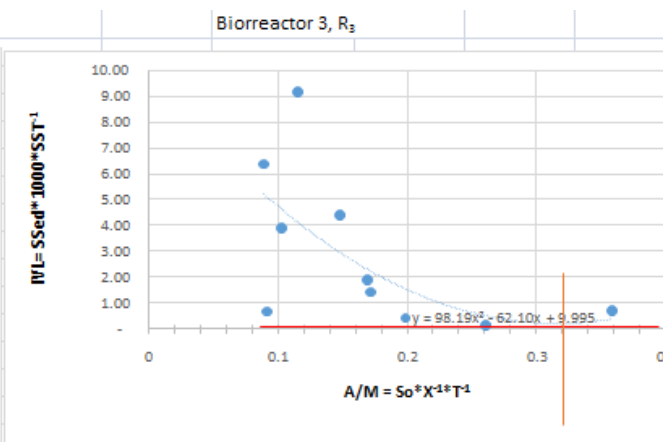


Determinación de la relación sustrato/microorganismos mínima (A/M_{\min})

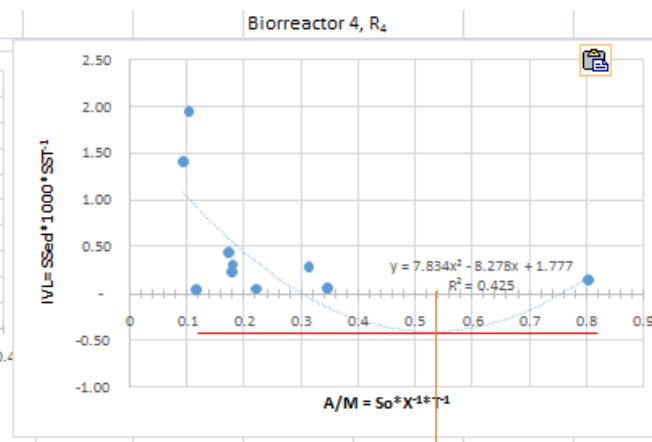
FECHA	A/M = S_o/XT			IVL = $1000*SS(mL.L-1)/SST(mg.L-1)$		
	R2	R3	R4	R2	R3	R4
28-jun-16	0.63883106	0.3585056	0.80625535	3.75	0.68	0.15
12-jul-16	0.18285241	0.09192699	0.31414433	3.03	0.66	0.29
18-oct-16	0.17136171	0.19901882	0.22248508	4.49	0.41	0.06
21-oct-16	0.52331747	0.2611437	0.34625873	9.85	0.11	0.06
25-oct-16	0.14080198	0.10301029	0.09301401	22.14	3.88	1.42
28-oct-16	0.09256858	0.11585995	0.10366817	5.81	9.15	1.95
08-nov-16	0.28757749	0.17220114	0.17997054	4.08	1.40	0.32
11-nov-16	0.08849416	0.08930098	0.11608384	43.77	6.36	0.04
15-nov-16	0.13169243	0.16955814	0.17956259	54.90	1.86	0.24
18-nov-16	0.129786	0.14830681	0.17245812	13.41	4.39	0.45



A/M min = 0.44



A/M min = 0.32



A/M min = 0.54

Determinación del sustrato consumido en el metabolismo energético(a) y oxígeno utilizado por biomasa en decaimiento endógeno (b)

FECHA	Rr/X, d-1			(So - Se)/X.t, d-1		
	R2	R3	R4	R2	R3	R4
28-jun-16	0.51	0.12	0.22	0.36	0.08	0.07
26-jul-16	0.91	0.13	0.18	3.03	0.25	0.27
18-oct-16	0.17	0.09	0.08	0.10	0.05	0.03
21-oct-16	0.20	0.10	0.09	0.43	0.02	0.09
25-oct-16	0.15	0.08	0.07	0.10	0.04	0.02
28-oct-16	0.11	0.05	0.06	0.05	0.05	0.03
08-nov-16	0.10	0.05	0.05	0.22	0.05	0.02
11-nov-16	0.14	0.06	0.06	0.05	0.02	0.01
15-nov-16	0.16	0.08	0.07	0.07	0.03	0.02
18-nov-16	0.16	0.08	0.06	0.07	0.02	0.02

