

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental



TESIS

Para Optar por el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental

**EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA EN FUNCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICOQUÍMICAS DEL RÍO GRANDE – DISTRITO CELENDÍN**

PRESENTADO POR

Tesista: Bach. EVER ZABALETA VILLANUEVA

ASESORES

Ing. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

Ing. JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO

Cajamarca – Perú

2016



DEDICATORIA

La presente investigación está dedicado a Dios; creador de todo lo que existe por lo cual podemos investigar.

A mis padres Adriano y Rosa quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios.

A mis hermanos y suegros por su paciencia y comprensión.

A mi esposa Evelin, mi hijo Luis Fabrizzio.

A todos mis amigos; en especial a Anita y Manuel por haberme ayudado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO:

A la Ing. Giovana Ernestina CHÁVEZ HORNA y al Ing. Jorge Silvestre LEZAMA BUENO por participar como asesores de esta investigación y por haber aportado ideas y conocimientos muy importantes para su elaboración.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por haber abierto sus puertas para ingresar en ella y poderme realizar como un excelente profesional.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y a todos los docentes por sus enseñanzas impartida, por colaborar en emprender un camino al que llegue hoy.

A la Bachiller Anita Evarista ATALAYA VASQUEZ por haber participado como un apoyo fundamental en todas las etapas de esta investigación.

A todos mis amigos que de alguna u otra manera colaboraron y alentaron con fuerza el desarrollo y culminación de este proyecto.

**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA	i
AGRADECIMINETO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRAC	viii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de la investigación.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Objetivo general de la investigación.....	3
Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Bases teóricas.....	5
2.2.1. Aguas residuales.....	5
2.2.2. Niveles de tratamiento de aguas residuales.....	6
2.2.3. Materia orgánica en aguas residuales.....	6
2.2.4. Contaminación de ríos.....	7
2.2.4.1. Vertido puntual a un río.....	8
2.2.4.2. El río como un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	8
a) Zona de descomposición.....	9
b) Zona de descomposición activa.....	9
c) Zona de recuperación.....	9
d) Zona de agua limpia.....	9
2.2.5. Capacidad de autodepuración de los ríos.....	10
2.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	12
2.2.7. Oxígeno disuelto (OD).....	15
2.2.7.1. Determinación del oxígeno disuelto.....	16
2.2.7.2. OD en los cauces de agua.....	16
2.2.7.3. Modelos de oxígeno disuelto en ríos.....	17
a) Fuentes principales de oxígeno disuelto en los ríos.....	17
b) Modelo de Streeter y Phelps.....	18
c) Constante de desoxigenación.....	20
d) Constante de reoxigenación.....	20
e) Modelo de disminución del oxígeno disuelto.....	22



f) Concentración de saturación de OD.....	22
2.2.8. Cambios biológicos del agua contaminada.....	23
2.2.9. Gasto o caudal.....	25
2.2.10. Velocidad.....	25
2.2.11. Tirante.....	26
2.2.12. Temperatura.....	26
2.3. Bases Legales.....	27
CAPÍTULO III.....	29
MATERIALES Y METODOS.....	29
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	29
3.2. Materiales.....	32
3.3. Tipo de investigación.....	33
3.4. Metodología general aplicada.....	33
3.4.1. Punto de monitoreo.....	33
3.4.2. Frecuencia de monitoreo.....	34
3.4.3. Tamaño, tipo y método recolección de muestra.....	35
3.4.4. Parámetros de campo.....	35
3.4.4.1. Caudal.....	35
3.4.4.2. Tirante y ancho del río.....	38
3.4.4.3. Temperatura.....	38
3.4.4.4. Longitud.....	39
3.4.5. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.4.6. Técnicas de procesamiento de datos para obtener los valores de remoción de la materia orgánica.....	39
CAPÍTULO IV.....	42
RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Temperatura.....	42
4.2. Velocidad.....	43
4.3. Caudal.....	44
4.4. Tirante de agua y ancho del río.....	45
4.5. Longitud.....	46
4.6. Oxígeno disuelto.....	47
4.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	48
4.8. Relación DBO ₅ /OD Por Estaciones de Monitoreo.....	50
4.9. Porcentaje de Remoción de la Materia Orgánica Biodegradable.....	50
4.10. Aplicación de Modelos Matemáticos.....	50
CAPÍTULO V.....	54
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
LITERATURA CITADA.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Composición de las aguas residuales.....	6
Fig. 2 Zonas de autodepuración de un río.....	10
Fig. 3 Diagrama que ilustra la conversión de un residuo orgánico a productos finales y tejido celular residual.....	14
Fig. 4 Ubicación del Proyecto en el distrito de Celendín.....	31
Fig. 5 Selección del tramo recto.....	35
Fig. 6 Calculando el tiempo de recorrido del flotador.....	36
Fig. 7 Medición del ancho del río.....	37
Fig. 8 Medición de la profundidad (Tirante) del río.....	37
Fig. 9 Medición de la temperatura del agua.....	38
Fig. 10 Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.....	42
Fig. 11 Valores del caudal en las estaciones de monitoreo	44
Fig. 12 Valores de OD en las estaciones de monitoreo	47
Fig. 13 Valores de DBO ₅ en las estaciones de monitoreo	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de análisis fisicoquímico 2007 – 2008.....	4
Tabla 2. Valores típicos de la DBO ₅ para aguas de diferente calidad.....	13
Tabla 3. Factor de corrección para concentraciones de saturación de oxígeno disuelto por el efecto de la Salinidad (cloruros) en función a la temperatura.....	18
Tabla 4. Valores de las constantes para el modelo Streeter y Phelps.....	21
Tabla 5. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.....	24
Tabla 6. Localización de las estaciones de monitoreo (EM).....	30
Tabla 7. Tamaño, tipo y método de recolección.....	34
Tabla 8. Técnicas de Recolección de Datos.....	39
Tabla 9. Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.....	42
Tabla 10. Velocidad en (m/s) del agua en las 3 Estaciones de Monitoreo.....	43
Tabla 11. Valores de caudal en las estaciones de monitoreo	44
Tabla 12. Tirante o profundidad de agua en las 16 estaciones de muestre.....	45
Tabla 13. Ancho o espejo de agua en las 16 estaciones de monitoreos.....	46
Tabla 14. Valores de la longitud del río Grande.....	46
Tabla 15. Valores del OD de agua en las 3 estaciones de monitoreo.....	47
Tabla 16. Valores de la DBO ₅ de agua en las 3 estaciones de monitoreo.....	48
Tabla 17. Aplicando el modelo de Streeter y Phelps mediante software Excel.....	51



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Precipitaciones mensuales del distrito de Celendín.....	63
Anexo 2: Resultados de Cloruros por cada Estación de Monitoreo.....	64
Anexo 3: Resultados de DBO ₅ y OD del mes de Octubre.....	65
Anexo 4: Resultados de DBO ₅ y OD del mes de Noviembre.....	66
Anexo 5: Resultados de DBO ₅ y OD del mes de Diciembre.....	67
Anexo 6: Resultados de DBO ₅ y OD del mes de Enero.....	68
Anexo 7: Resultados de DBO ₅ y OD del mes de Febrero.....	69
Anexo 8: Resultados de DBO ₅ y OD del mes de Marzo.....	70
Anexo 9: Toma de muestra para OD EM-002.....	71
Anexo 10: Agregando reactantes a muestras de OD.....	71
Anexo 11: Embalado de muestras para envío a laboratorio.....	72
Anexo 12: Medición de la velocidad superficial EM-003.....	72
Anexo 13: Monitoreo en época de lluvia EM-002.....	73

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Río Grande del distrito de Celendín con la finalidad de conocer la calidad del ecosistema acuático, para lo cual se plantea como Objetivo General de estudio, Evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable presente en el Río Grande del distrito de Celendín luego de su contaminación con aguas residuales; estableciendo tres estaciones de monitoreo (EM) a lo largo de su vertiente, teniendo en cuenta el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos ANA y MINAG (2011); donde se evaluaron por un período de 6 meses con una frecuencia de una vez al mes, las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), materia orgánica (MO) biodegradable, evaluada mediante el ensayo de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para ello se aplicó modelos y fórmulas matemáticas, entre ellas la de Streeter y Phelps, se consideró el monitoreo de las características físicas del río como longitud, temperatura, caudal, ancho y tirante. La hipótesis planteada basada en estudios previos, aduce que “Las características fisicoquímicas del Río Grande permitirán remover el 70% de materia orgánica biodegradable”. Luego del procesamiento de datos obtenidos en Laboratorio Regional del Agua, en Santa Rosa EM-001, los valores promedios de OD es de 4.06 mg/L y de la DBO₅ es de 5.33 mg/L; en Pallac EM-002, los valores promedios de OD es de 2.93 mg/L y de la DBO₅ es de 48.68 mg/L; en Languat EM-003, los valores promedios de OD es de 7,28 mg/L y de la DBO₅ de 5.82 mg/L. Luego se procedió a determinar el porcentaje de remoción de MO la misma que según procesamiento de datos obtenidos en laboratorio tiene un valor de 81.07% y empleando los modelos matemáticos tiene un valor de 77.01%

Palabra clave: Remoción, Materia orgánica

ABSTRAC

This research was conducted in the River Big district Celendín in order to know the quality of the aquatic ecosystem, for which it is the general objective of study, assess the percentage of removal of biodegradable organic matter present in the River Celendín largest district after contamination with wastewater; establishing three monitoring stations (MS) along its side, taking into account the Protocol Quality Monitoring Water Resources ANA and MINAG (2011); where they were evaluated for a period of 6 months with a frequency of once a month, concentrations of dissolved oxygen (DO), biodegradable organic matter (OM), evaluated by assaying the biochemical oxygen demand (BOD₅) for it is he applied mathematical models and formulas, including Streeter and Phelps, monitoring of the physical characteristics of the river as length, temperature, flow, width and tight considered. The hypothesis based on previous studies, argues that "The physico-chemical characteristics allow River Big remove 70% of biodegradable organic matter". After processing data from Regional Water Laboratory in St pink EM-001, the mean values of OD is 4.06 mg/L and BOD₅ is 5.33 mg/L; in Pallac EM-002, the mean values of OD is 2.93 mg/L and BOD₅ is 48.68 mg/L; in Languat EM-003, the mean values of OD is 7.28 mg/L and BOD₅ 5.82 mg/L. He then proceeded to determine the percentage of removal of MO the same as data processing laboratory has a value of 81.07% and using mathematical models has a value of 77.01%

Keyword: Removal, organic matter

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los ríos vienen siendo utilizados como sumideros de grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, entre otros; muchas veces, estos cuerpos receptores son incapaces de absorber y neutralizar la carga de contaminantes, generándose daños irreversibles en su ecosistema (Araujo 2011).

La carga contaminante del agua residual está conformada de materia orgánica, inorgánica y microorganismos; Las aguas residuales urbanas, sin residuos industriales, presentan grandes cantidades de materia orgánica (Suárez 2008).

La contaminación debido a la materia orgánica es a menudo la que produce una mayor perturbación en el ecosistema (mortalidad de peces, olores, efectos ornamentales desagradables), la misma que es producida por la disminución del OD, la materia orgánica en términos de remoción o descomposición biológica puede ser biodegradable y no biodegradable (Carpio 2014). Para poder determinar la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua, existen diferentes técnicas, destacando entre ellas la DBO₅, DQO, entre otras (Morales 2013). En un estudio de remoción de la materia orgánica en ríos se debe considerar necesariamente la DBO₅ para determinar la remoción de la materia orgánica de manera natural mediante las características propias de sus aguas o de determinada características fisicoquímicas, sin ninguna intervención de tratamientos químicos (Villalobos 2009).

El presente estudio consistió en evaluar la calidad orgánica del Río Grande, a razón de que las aguas residuales de la ciudad de Celendín no son tratadas; La ciudad de Celendín cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual no está en funcionamiento, consecuentemente las aguas residuales están siendo vertidas en el Río Grande, sin tratamiento alguno, produciendo una contaminación por materia orgánica, sin embargo este problema viene siendo atenuado por las características fisicoquímicas del Río Grande, estas permiten que la materia orgánica biodegradable sea removida o eliminada del agua, dichos

resultados se evidencian en estudios realizados kilómetros aguas abajo. Los estudios para determinar la remoción o eliminación de la materia orgánica contaminante fueron realizados en el Laboratorio Regional del Agua (Laboratorio de Ensayo Acreditado). Los resultados obtenidos permitieron adoptar modelos como el de Streeter y Phelps y fórmulas matemáticas que se adecuen a las características y realidad del Río Grande.

La evaluación de la remoción, eliminación de la materia orgánica biodegradable de las aguas del Río Grande se realizó en tres estaciones de monitoreo a lo largo de su recorrido (Santa Rosa EM-001, Pallac EM-002, Llanguat EM-003), en cada estación se tomó muestras para la determinación de DBO₅ y OD del mismo modo se evaluaron datos in situ como la temperatura, caudal, tirante, velocidad del agua.

1.1. Problema de la investigación

El agua, es uno de los recursos y componentes ambientales más importantes en nuestro planeta; el hombre a lo largo de la historia siempre ha buscado asentarse donde podía disponer de fuentes de agua dulce (Suarez 2008). La preocupación por el cuidado y protección de las fuentes superficiales de este importante recurso va en aumento, formulando para ello diversas actividades dentro de las cuales podemos mencionar a los estudios de investigación relacionados con sus características físicas, químicas y biológicas (Méndez 2010).

Los parámetros para determinar la calidad del agua de un río son múltiples dentro de los cuales podemos mencionar a la materia orgánica que constituye uno de los principales contaminantes que forman parte significativa de las aguas residuales urbanas que son vertidas a estas fuentes, en la mayoría de los casos sin tratamientos previos (Mancheno 2014), la preocupación de la contaminación de los ríos por el contenido de materia orgánica se debe a que en su descomposición o remoción se hace uso de grandes cantidades de OD y por ende puede producir el deterioro de importantes ecosistemas acuáticos (Suarez 2008).

A pesar de la importancia que tiene el recurso agua para la vida, y existiendo escasas fuentes naturales de este recurso para la población de Celendín; el Río Grande no cuenta con el cuidado y protección adecuados de su ecosistema, es utilizado directamente como receptor de las aguas residuales de la población; debido a esta problemática surge la necesidad de determinar la capacidad que tiene este río para eliminar o remover la carga de materia



orgánica biodegradable fenómeno también conocido como capacidad de autodepuración, la misma que será valorado mediante las concentraciones de la DBO_5 .

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable en el Río Grande del distrito de Celendín?

1.3. Objetivo general de la investigación

Evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable presente en el Río Grande del distrito de Celendín.

Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de la DBO_5 en el Río Grande del distrito de Celendín.
- Evaluar las concentraciones de OD en las aguas del Río Grande del distrito de Celendín.
- Valorar los parámetros fisicoquímicos como: temperatura, longitud, caudal y tirante de agua en el Río Grande del distrito de Celendín.

1.4. Hipótesis

Las características fisicoquímicas del Río Grande del distrito de Celendín permitirán remover el 70 % de materia orgánica biodegradable.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

(Perales 2008), en sus estudios realizados en la cuenca del Río Grande del distrito de Celendín, obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados de análisis fisicoquímico 2007 - 2008

Parámetros	Puntos de Monitoreo		
	CHCEL	RGDCEL	SEARGCEL
T (°C)	18.56	17.75	18.55
OD (mg/l)	6.01	4.76	7.22
DBO ₅ (mg/l)	3.4	26.3	5
Q (m ³ /s)	0.04	0.55	3.56

Fuente: Perales 2008.

En lo concerniente a la determinación materia orgánica biodegradable mediante la valoración de la DBO₅ empleando el método de diluciones el estudio llegó a la conclusión que en el punto de vertimiento de la aguas residuales de la ciudad de Celendín el valor promedio de la DBO₅ es de 26.3 mg/L en el punto final, a 80 m antes de la confluencia con el río las Yangas la DBO₅ tiene un valor promedio de 5.0 mg/L.

(Rivera 2015), en investigaciones realizadas para determinar la remoción de la materia orgánica biodegradable en el Río Frio en Colombia, aplicando estudios de cinética de la descomposición de la carga orgánica, mediante métodos diferenciales y logarítmicos determinó que la longitud de influencia de los vertidos orgánicos es de 10 Km concluyendo de este modo que no puede haber una remoción al 100% de materia orgánica si el recorrido es inferior a esta distancia.

En Guatemala (Rivera 2008), en sus estudios realizados en el Río Naranjo determinó los valores de la DBO₅ en tres estaciones de monitoreo y concluyó que en el río Naranjo los valores promedio de la DBO₅ de la primera estación fueron de 8047.96 mg/L y los valores promedio de la DBO₅ en la segunda estación encontró un valor de 536.88 mg/L, aduciendo

que en el trayecto de la primera estación hacia la segunda estación se removió un porcentaje de materia orgánica equivalente al 96.36 %. Concluyendo que a un mayor incremento del caudal con agua no contaminada la concentración de la materia orgánica disminuye.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

El (MVCS 2007), mediante la norma OS 090 define a las aguas residuales como aquellas que han sido usadas por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico, disuelto o en suspensión.

Para (Benítez 2013), las aguas residuales pueden definirse como las provenientes de las diversas actividades humanas y que poseen materiales que no son propios de un agua en condiciones normales, denominados contaminantes, que provocan el deterioro de los cuerpos de agua y la contaminación de aquellos que puedan llegar a ser vertidas sin un tratamiento previo.

Las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual de cada centro urbano varía de acuerdo con los factores externos como: localización, temperatura, origen del agua captada, entre otros; y a factores internos como la población, el desarrollo socioeconómico, el nivel industrial, la dieta en la alimentación, el tipo de aparatos sanitarios, las prácticas de uso eficiente de agua entre otros (Ortega 2015).

- a) **Origen**, las aguas residuales pueden ser originadas por las siguientes causas: excretas principalmente heces; residuos domésticos tales como detergentes, pesticidas, sales, grasas, aceites, entre otros; arrastre de lluvias como el hollín, polvo, cemento, restos vegetales; y por último infiltraciones (fuga de tuberías en mal estado o conexiones defectuosas) (Franquet 2005).
- b) **Composición química**, las aguas residuales domésticas contienen principalmente proteínas, hidratos de carbono, seguido por los lípidos (grasas y aceites), y por último compuestos que incluyen fenoles, insecticidas. Los sólidos pueden ser orgánicos e inorgánicos. (Espigares y Pérez 1985).

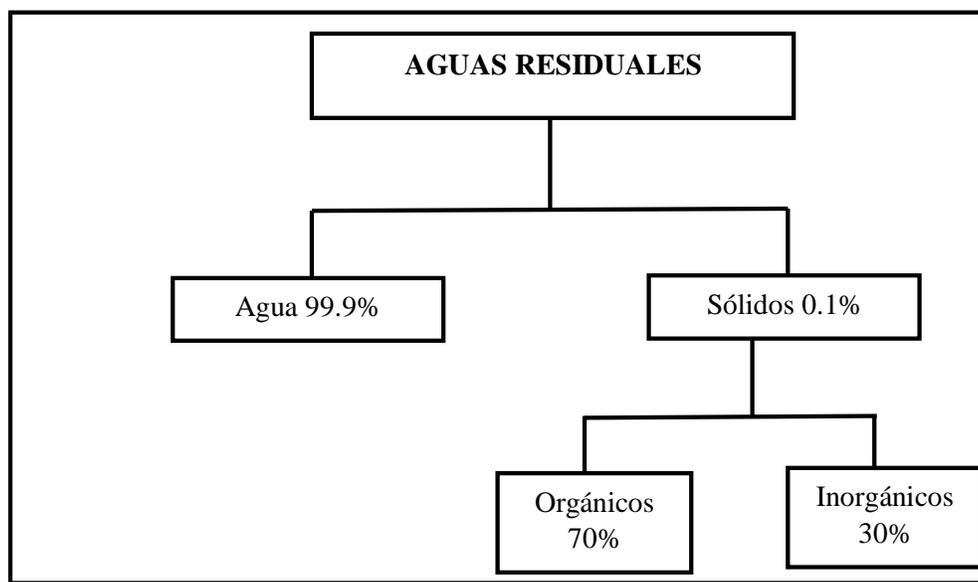


Fig.1 composición de las aguas residuales. **Fuente:** Tebbutt TH. 1997

2.2.2. Niveles de tratamiento de aguas residuales

Sobre los niveles de tratamiento de aguas residuales y calidad de aguas (Ramalho 2003), señala que el grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogenización. El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales.

2.2.3. Materia orgánica en aguas residuales

La materia orgánica en aguas residuales para (Ramalho 2003), se constituye básicamente de proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %) grasas y aceites (8 a 12 %). La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas. Dada su rápida descomposición no es usual encontrarla en otro tipo de aguas. Además de proteínas, carbohidratos, grasas y aceites. (Benítez 2013), aclara que las sustancias orgánicas de las aguas residuales urbanas están constituidas mayoritariamente por materia fecal, siendo la contribución diaria de DBO₅ por parte de un adulto de 39 a 42 g de los cuales 10.3 g corresponden a orina, entre 24.7 y 30.6 g a materia

fecal y de 2.0 a 3.5 g a material de limpieza anal. Además también contiene hidratos de carbono (celulosa, almidón, y azúcares), grasas y jabones, detergentes sintéticos, proteínas y sus productos de descomposición; así como hidróxido de amonio y sales amoniacaes procedentes de la descomposición de complejos orgánicos nitrogenados, (Cubillos 1970) agrega que la concentración de materia orgánica en los ríos aumenta por vertimientos de aguas residuales domésticas.

Biodegradabilidad de la materia orgánica, (Benítez 2013), Se sabe que gran parte de las sustancias que transporta el agua residual, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica (como carbohidratos, lípidos y proteínas), una parte importante es biodegradable. (Hernandez 1992), Esta propiedad es la que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción; Dependiendo de las características de los compuestos orgánicos y de la capacidad de que éstos puedan ser degradados, determinan o condicionan en gran medida la viabilidad de un tratamiento biológico de un efluente determinado. La materia orgánica biodegradable puede dividirse en dos grupos: rápidamente biodegradable y lentamente biodegradable.

(Rosenkranz 2013), Asevera que la materia fácilmente biodegradable estaría formada por las moléculas de pequeño tamaño (ácido acético, glucosa, etanol, entre otros.) que a medida que son degradadas por los microorganismos, da como resultado final el aumento de la población al ser utilizadas como fuente de alimentación. La materia lentamente biodegradable está formada por moléculas de gran tamaño en cuyo proceso de degradación están involucradas las enzimas extracelulares liberadas por los microorganismos que las hidrolizan convirtiéndolas en materia de fácil degradación.

2.2.4. Contaminación de ríos

Para (Carpio 2014), los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos urbanos. Gracias a los volúmenes de agua que transportan y al movimiento de las mismas, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas entre otros. Que reciben. Sin embargo, al insertar en un cauce una alta concentración de materia orgánica se debe

tener en cuenta los procesos de descomposición de esta carga contaminante la cual necesitará de OD para iniciar las reacciones químicas de descomposición de la materia.

(Rodríguez 1983), Se habla de contaminación del agua por materia orgánica cuando la cantidad depositada supera la capacidad de autodepuración del cauce en el que fue depositada y en la cual los microorganismos no pueden efectuar sus funciones de descomposición por la ausencia de oxígeno. Es allí cuando se habla que el cuerpo de agua está contaminado; la mejor medida para determinar la carga contaminante en un cuerpo de agua es el oxígeno disuelto (OD), en agua, o la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅).

2.2.4.1. Vertido puntual a un río

(Suarez 2008), el agua residual es portadora de materia orgánica, inorgánica y microorganismos. A estos contaminantes, una vez vertidos al curso de agua, pueden verse sometidos a los siguientes fenómenos físicos:

- Parte de los elementos pasan a depositarse en el fondo como consecuencia de su diferencia de densidad con el agua, no pudiendo ser arrastrados por la corriente. Son sólidos decantables. Pueden ser productos orgánicos o inorgánicos.
- Otros, orgánicos e inorgánicos, debido a la corriente y a su densidad similar a la del agua, permanecen en suspensión en la masa del agua.
- Hay elementos que llegan a la superficie y se concentran en ella al cabo de un cierto tiempo (como las grasas, detergentes y flotantes) debido a su baja densidad.

2.2.4.2. El río como un sistema de tratamiento de aguas residuales

Según (Romero 2004), un río, en condiciones normales, es un ecosistema hídrico que transporta oxígeno disuelto y soporta una flora y fauna acuática que incluye desde las bacterias y el plancton (vida animal y vegetal pequeña que nada o flota libremente en el agua), hasta las larvas de moscas y las diferentes especies de peces. El río tiene tramos lentos y rápidos sujetos a mayor o menor reaireación y, en general, no transporta un caudal tan excesivamente grande como para que por simple dilución sea capaz de absorber la carga contaminadora a que está sometido. En forma descriptiva se puede pensar que cuando un río, en condiciones normales, se le aplica una descarga de aguas residuales domésticas, sin

ningún tratamiento, se presenta una división arbitraria del río en cuatro zonas, las que se describen a continuación:

a) **Zona degradada**, es la zona inmediata a la incorporación de las aguas contaminadas al río. Es el área con mayores concentraciones de contaminantes. En esta zona inicia la descomposición de las aguas residuales, la disminución de OD. El agua se vuelve gris, disminuye progresivamente las especies de organismos y proliferan las bacterias. Surgen los depósitos de lodos en el fondo del río y el crecimiento de lamas biológicas sobre las piedras, especialmente de *Sphaerotilus natans* el límite de la zona se supone cuando el OD se reduce al 40%, en general a un nivel de OD de 3 a 4 mg/l, considerándose este valor el límite crítico para los peces (Suarez 2008).

b) **Zona de descomposición**, el oxígeno desciende a los niveles mínimos, pudiendo llegar a cero. Se pueden desprender gases (metano, hidrógeno, nitrógeno, sulfuro de hidrogeno y otros de mal olor, entre otros). Pueden aparecer espumas en la superficie. La vida acuática se reduce a las bacterias anaerobias y a unas pocas especies de protozoos anaerobios como los *Bonodiae*. El agua se vuelve negra, surgen problemas de lodos. Eventualmente, se cumplirá el ciclo de descomposición cuando la reaireación satisfaga el proceso de desoxigenación y aparezca nuevamente OD. Arbitrariamente se considera que la zona termina cuando el nivel del OD es igual de nuevo al 40% de saturación (Romero 2004).

c) **Zona de recuperación**, en esta zona aumento del oxígeno, agua más clara, reaparición de la vida acuática macroscópica, disminución de hongos y aparición de algas. Es posible encontrar nitratos, sulfatos, fosfatos y carbonatos, aparecen peces resistentes. Continúa la recuperación de OD, se considera que la zona termina cuando se restablece el contenido normal de OD del Río (Romero 2004).

d) **Zona de agua limpia**, en esta zona se pueden encontrar peces útiles para la pesca; sin embargo pueden quedar bacterias patógenas resistentes y compuestos metálicos no alterados por los procesos bioquímicos existentes (Suarez 2008).

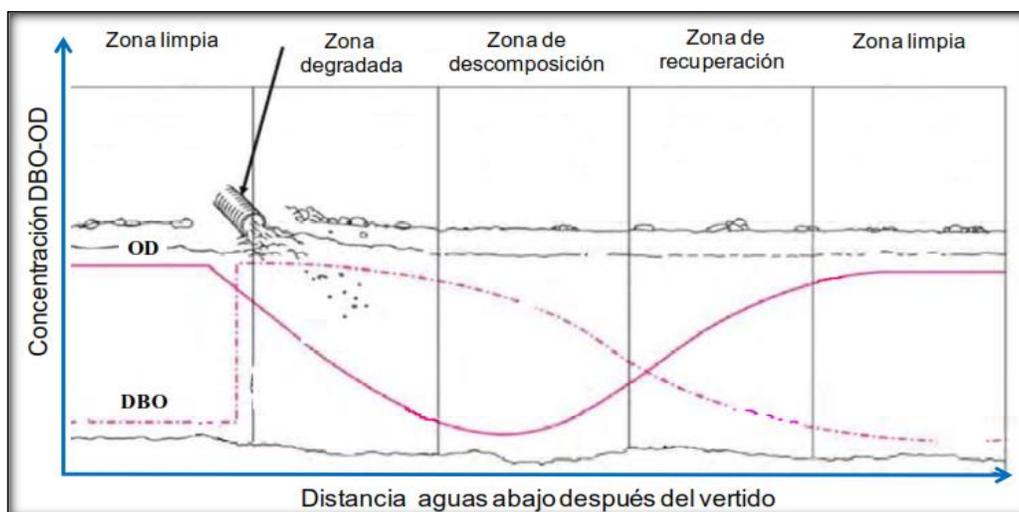


Fig. 2 zonas de autodepuración de un río. Fuente: Monte, 2013.

2.2.5. Capacidad de autodepuración de los ríos

(Mocoroa 2013), para referirse al tema de remoción o descomposición de la materia orgánica en ríos, nos habla de la capacidad de autodepuración de los ríos y lo describe como sigue: la autodepuración es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tiene lugar en los ríos de modo natural que cumplen la función de la degradación de la materia orgánica presente de manera natural o la incorporada a un cauce, ya sea por los escurrimientos o la degradación antropogénica de forma deliberada. Esto lo realizan principalmente bacterias aerobias, que consumen materia orgánica en presencia mayormente de oxígeno disuelto además, las plantas acuáticas asimilan algunos componentes en forma de nutrientes y están presentes otros procesos como el fotoquímico y la dilución. La autodepuración es un proceso controlado por el oxígeno por lo que la capacidad autodepuradora de un río se mide por el balance de OD.

Al respecto (Gil 2005) menciona que los ríos tienen una capacidad limitada de absorber y eliminar la contaminación de los vertidos que reciben; esto es debido a la utilización de la materia orgánica del vertido por las bacterias presentes en el río, de modo que en su actividad mineralizan la materia putrescible de los vertidos, y a su vez las bacterias son fagocitadas por los protozoos y éstos a su vez por organismos superiores. Cuando la capacidad de un río de eliminar la contaminación vertida sobre él, la autodepuración, es rebasada, el río comienza a presentar signos de contaminación, como son turbidez, malos olores. El índice general de contaminación utilizado para seguir el proceso de

autodepuración de un río es la concentración de oxígeno disuelto, que disminuirá bruscamente en el punto del vertido, para después de alcanzar un mínimo gradualmente, tender hacia la concentración correspondiente a la saturación.

(Mocoroa 2013), indica que la capacidad de autodepuración depende principalmente de los siguientes factores:

- Caudal, que permite la dilución del vertido y facilitará su posterior degradación
- Turbulencia, que favorece la disolución del oxígeno atmosférico al cauce, favoreciendo la actividad microbiana.
- Temperatura.
- Cantidad y naturaleza de los contaminantes.
- Periodicidad de las descargas.

Existen varias teorías que explican los procesos de autodepuración natural de las aguas en los ríos; una de ellas indica que el proceso de autodepuración en los ríos puede analizarse a través de la vida acuática, evaluando parámetros como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno. Porque la diversidad de los seres que viven en el agua, toman el oxígeno disuelto en el agua para desarrollar sus procesos biológicos (Marín y Correa 2010).

La teoría de la oxidabilidad de la materia orgánica, en corrientes de agua, para su auto purificación fue desarrollada por (Streeter y Phelps 1925), en el estudio sobre la contaminación y purificación natural del río Ohio. Ésta teoría servirá de base para el estudio de la calidad del agua en ríos y su autodepuración.

Principios

Para el análisis del fenómeno de autodepuración de las corrientes de agua según (Rivera 2008), se establecen los siguientes principios:

- La capacidad de un río para recibir y oxidar las aguas residuales depende de sus recursos de oxígeno.
- El fenómeno de la purificación natural de los ríos se da en condiciones ideales.

- Las condiciones de análisis del fenómeno purificación natural del río se establecen en condiciones estables de flujo permanente.
- El estado de equilibrio que determina la condición momentánea de la corriente cambia constantemente, es decir, se plantean dos momentos: la real y la condición momentánea.
- La condición de un río contaminado en cualquier momento, es el resultado de un equilibrio entre los contaminantes transportados por el río y los procesos de degradación.
- La oxidabilidad de la materia orgánica se fundamenta en la ley de la reacción química de primer orden que indica que “la tasa de oxidación bioquímica de la materia orgánica es proporcional a la concentración de la sustancia no oxidada, medido en términos de oxidabilidad”.

2.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

(Romero 1999), define a la DBO₅ como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras se estabiliza la materia orgánica putrescible bajo condiciones aeróbicas, y que el ensayo de DBO a cinco días es uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales, esencialmente, la DBO₅ es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable (biodegradabilidad), bajo condiciones aerobias, en un período de 5 días y 20 °C; del mismo modo especifica que en aguas residuales domésticas el valor de la DBO a 5 días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable, la DBO₅, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimientos de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables. Además debe garantizar que se suministran las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, así que se deben proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacterial tales como Nitrógeno y Fosforo y eliminar cualquier sustancia toxica en la muestra.

Tabla. 2 Valores típicos de la DBO₅ para aguas de diferente calidad.

TIPO DE AGUA	DBO ₅ mg/L
Agua potable	0.75 a 1.5
Agua poco contaminada	5 a 50
Agua potable negra municipal	10 a 400
Residuos industriales	500 a 10000

Fuente: Remenieras 2000.

(Tchobanoglous 2000) Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. Tres actividades más o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular; este tercer proceso es llamado respiración endógena. Los tres procesos se definen por las siguientes reacciones químicas.

Oxidación

Mat. Orgánica biodegradable + O₂ + bacterias → CO₂ + H₂O + NH₃ + otros productos finales + energía..... (Ecuación 1)

Síntesis

Mat. Orgánica biodegradable + O₂ + bacteria + energía → Tejido celular..... (Ecuación 2)

Respiración endógena

Tejido celular + 5O₂ → 5CO₂ + NH₃ + 2H₂O..... (Ecuación 3)

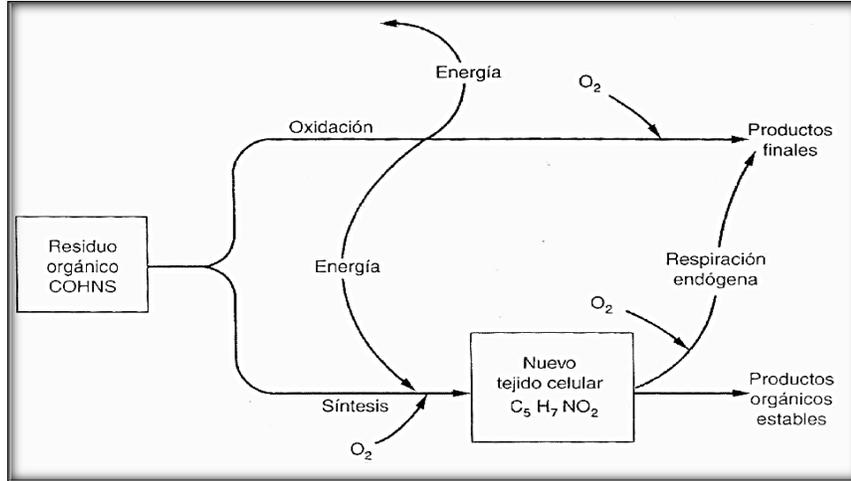


Fig. 3 Diagrama que ilustra la conversión de un residuo orgánico a productos finales y tejido celular residual. **Fuente:** Tchobanoglous, 2000

Modelo de reacción para la DBO, (Tchobonoglous 2000). Menciona que la velocidad a la cual se ejerce la DBO se expresa mediante un modelo matemático que supone que la cantidad de materia orgánica remanente está gobernada por una reacción de primer orden así

$$DBO_r = DBOU e^{-k_1 t}$$

La cual para un mejor entendimiento y siguiendo con el formato en las fórmulas la reemplazamos por la siguiente ecuación propuesta por (Metcalf y Eddy 1995); del mismo modo hacemos referencia a las demás fórmulas para la DBO y los valores que puede recibir k_1

$$L_t = L_0 e^{-k_1 t} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4})$$

La ecuación anterior representa a la cantidad de DBO presente en el instante t.

En tanto que, la cantidad de DBO eliminada en el instante t es:

$$y_t = L_0(1 - e^{-k_1 t}) \dots\dots\dots(\text{Ecuación 5})$$

La DBO a 5 días es:

$$y_5 = L_0(1 - e^{-5k_1}) \dots\dots\dots(\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

L_t : DBO remanente o que queda en el instante t

L_0 : DBO ultima o total

K_1 : constante de reacción

y_t : DBO eliminada en el instante t

y_5 : DBO₅

Para el caso de aguas contaminadas o aguas residuales, un valor típico para k_1 (en base e , a 20 °C) es de $0,23d^{-1}$ recomendado por (Tchobonoglous 2000) para el caso de datos de aguas contaminadas o aguas residuales obtenido de laboratorio

2.2.7. Oxígeno disuelto (OD)

La determinación de OD es muy importante en Ingeniería Ambiental por cuanto es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un medio particular. La determinación de OD sirve como base para cuantificar la DBO₅, aerobividad de los procesos de tratamiento, tasas de aireación en los procesos de tratamiento, aeróbico y grados de polución de los ríos. El OD se presenta en cantidades variables y bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y es, por ello, un factor muy importante en la autodepuración de los ríos (Romero 2009).

Así mismo la OD será dependiente de la temperatura. Aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno. Por esto, una descarga de agua caliente puede significar la disminución del OD a niveles por debajo del límite necesario para algunas formas de vida (García 2002). La solubilidad de oxígeno como la de cualquier otro gas en el agua, depende de la presión atmosférica imperante en cada sitio, y su contenido en sales disueltas (cloruros), en términos generales, la solubilidad del oxígeno en el agua es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la concentración de sales disueltas (Sawyer 1978).

Según (Rodríguez 1983), las fuentes de oxígeno en un río pueden clasificarse en cuatro grupos que son: OD procedentes de afluentes, reaeración, fotosíntesis y OD potencial. La

reaireación, es una fuente de oxígeno que depende de la dilución y difusión, en donde la dilución es el proceso mediante el cual el oxígeno atmosférico entra en el agua en forma de oxígeno no disuelto en la interface aire-agua, mientras que la difusión está dado por la turbulencia; la fotosíntesis, es el proceso mediante el cual las plantas verdes fundamentalmente las algas desprenden oxígeno; el oxígeno disuelto potencial, se encuentra en forma de nitratos que puede actuar como fuente de oxígeno cuando el OD ha desaparecido.

2.2.7.1. Determinación del oxígeno disuelto, Para (Romero 2009), el método más usado es de la modificación del nitrato al método de winkler, el cual es el más indicado para eliminar la interferencia producida por nitritos presentes en la muestra. Los nitritos constituyen la interferencia más común en efluentes tratados biológicamente y en muestras incubadas para análisis de DBO₅. El método se basa en el hecho de que el oxígeno oxida el ion Mn^{++} a un estado superior de valencia en condiciones alcalinas y en que el manganeso en estados superiores de valencia es capaz de oxidar el ion I^- a yodo libre I_2^0 en condiciones acidas. La cantidad de yodo liberado se mide en solución estándar de tiosulfato de sodio y es equivalente a la cantidad de oxígeno disuelto originalmente presente en la muestra. La interferencia causada por los nitritos se evita con el uso de nitrato de sodio.

2.2.7.2. OD en los cauces de agua, (Gil 2005), las aguas en su discurrir por los cauces naturales, en ausencia de perturbaciones artificiales, alcanzan concentraciones de oxígeno disuelto próximo a la concentración en equilibrio con la vida acuática, los microorganismos vivos consumen el oxígeno disuelto a la vez las plantas verdes sumergidas durante el día suministran oxígeno, produciéndose la reoxigenación. Una de las primeras manifestaciones del efecto de la contaminación orgánica de las aguas es la disminución brusca de la concentración de OD en el lugar de los vertidos, debido a que el oxígeno es utilizado, y por último retirado del medio, por los microorganismos que proliferan en las aguas contaminadas impidiendo el desarrollo de la vida de las especies superiores. No solo por el déficit de oxígeno sino también por la insalubridad que acarrea la comunidad microbiana resultante.

Los cauces naturales que reciben vertidos urbanos disminuyen bruscamente la concentración de OD, a partir del lugar del vertido contaminante a causa de las materias putrescibles

incorporadas volviéndose el medio anóxico con proliferación de peligrosas bacterias anaeróbicas (Mitchell *et al.* 1991).

El movimiento de las aguas en su discurrir reoxigena las aguas de modo que la carga contaminante vertida disminuye por oxidación y por decantación, teniendo la concentración de OD a recuperar la saturación, a la vez que se degrada la carga microbiana denominándose a este proceso autodepuración. Por todo lo indicado se consigna la importancia de la medida del OD como variable indicadora de la salud global del río y de su habilidad para mantener y propagar un sistema ecológicamente equilibrado. (Torres 2013).

2.2.7.3. Modelos de oxígeno disuelto en ríos. (Romero 2004), este autor aborda este tema como se presenta a continuación: Las reacciones y el movimiento de un residuo, al ser descargados sobre un recurso hídrico, son el resultado de su transporte hidrodinámico y de las transformaciones físicas, y biológicas causadas por la biota, como son la sedimentación, el crecimiento de las plantas, la oxidación, la respiración y la fotosíntesis.

a) Fuentes principales de oxígeno disuelto en los ríos

En resumen, se puede afirmar que los modelos más usados para simular OD en ríos suponen que el OD es el resultado de diversos procesos de autodepuración:

- Reaireación atmosférica
- Fotosíntesis y respiración vegetal
- Demanda béntica de oxígeno

(Vernier 1911) citado por (Valdez y Vázquez 2003), enfatizaron que las concentraciones de saturación oxígeno disuelto en agua, a varias temperaturas y valores de salinidad, se muestran en tabla 3.

Tabla 3. Factor de corrección para concentraciones de saturación de oxígeno disuelto por el efecto de la Salinidad (cloruros) en función a la temperatura

T °c	Constante, r						
1	0.08796	8	0.06916	15	0.05602	22	0.04754
2	0.08485	9	0.06697	16	0.05456	23	0.04662
3	0.08184	10	0.06478	17	0.05328	24	0.04580
4	0.07911	11	0.06286	18	0.05201	25	0.04498
5	0.07646	12	0.06104	19	0.05073	26	0.04425
6	0.07391	13	0.05931	20	0.04964	27	0.04361
7	0.07135	14	0.05757	21	0.04854	28	0.04296

Fuente: Vernier, 1911.

b) Modelo de streeter y phelps. Este modelo publicado en 1925, También llamado Modelo de Disminución de Oxígeno, predice los cambios en el déficit de oxígeno como una función de la DBO₅ ejercida y de la reaireación de la corriente. Cuando el agua que contiene materia orgánica biodegradable está expuesta al aire, absorbe oxígeno de la atmósfera para reemplazar el oxígeno disuelto que se consume en satisfacer la DBO₅. Los procesos de desoxigenación y reoxigenación ocurren simultáneamente. Si la velocidad de desoxigenación es más rápida que la velocidad de reoxigenación, se incrementa el déficit de oxígeno. Si el contenido de oxígeno es cero, no se pueden mantener condiciones aerobias y se presentarán condiciones sépticas, lo que concuerda con el aumento de la velocidad de degradación de la materia orgánica (Suarez 2008).

$$D_t = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} * \left[e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t} \right] + D_0 e^{-k_2 t} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 7)}$$

Dónde:

D_t = déficit de OD para el tiempo t, mg/L

L_0 = DBO_{UC} inicial, t = 0, mg/L

L = DBO ultima remanente

t = tiempo de flujo, d

K_1 = constante de desoxigenación, base e, d⁻¹

K_2 = constante de reaireación, base e, d⁻¹

D_0 = déficit inicial de OD, mg/L

El punto crítico (punto de déficit máximo de OD, punto de concentración mínima de OD) ocurrirá cuando el tiempo de flujo sea $t = t_c$. Para este punto, las tasas de desoxigenación y reaeración son iguales, el déficit de OD no cambia:

$$D_C = \frac{k_1}{k_2} * L_0 e^{-k_1 t_c} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 8)}$$

Dónde:

D_C = déficit crítico de OD, mg/L

t_c = tiempo para el cual se alcanza el déficit crítico (D_c)

El valor de t_c puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{1}{k_1(f-1)} * \ln \left\{ f \left[1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right] \right\} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 9)}$$

Dónde:

t_c : Tiempo critico (días⁻¹)

k_1 : Tasa de desoxigenación (días)

f : factor de autodepuración (k_2/k_1)

D_0 : Déficit inicial de oxígeno (mg/L)

L_0 : Carga inicial como DBOu (mg/L)

La distancia al punto crítico:

$$x_c = v t_c \dots\dots\dots \text{(Ecuación 10)}$$

Donde

x_c : distancia critica

v : velocidad de flujo en río

t_c : tiempo critico

c) **Constante de desoxigenación** (k_1), (Romero 2004) nos presenta la siguiente fórmula para determinar k_1

$$k_1 = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_B}{L_A}$$

Dónde:

K_1 : Constante de desoxigenación, base neperiana, d^{-1}

L_A : DBO_U en el punto A

L_B : DBO_U en el punto B

ΔT : Tiempo de flujo entre A y B

A : punto localizado aguas arriba, para un monitoreo de aguas relativamente limpia.

B : Punto localizado aguas abajo de una fuente puntual de contaminación orgánica, para monitoreo de aguas bien mezcladas

Si el valor negativo de K_1 es debido al incremento de la contaminación ocurrido entre A y B; para obtener K_1 positivo se puede suponer que B es aguas arriba y A aguas abajo

d) **Constante de reoxigenación** (k_2) según (O'Connor y Dobbins 1956)

$$k_2 = \frac{(D_f v)^{1/2}}{H^{3/2}}$$

Dónde:

K_2 : constante de reaireación, base neperiana, d^{-1}

D_f : coeficiente de difusión molecular del oxígeno en agua, igual a $1,76 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{día}$ a 20°C

V : velocidad media del flujo del río, m/d

H : profundidad media del Flujo, m

La variación del coeficiente de difusión molecular (D_f) de la ecuación anterior a la temperatura del agua del río (18°C) la estimamos como:

$$D_f(18^\circ\text{C}) = D_f(20^\circ\text{C}) * \theta = 1,760 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{d} * 1,037^{18-20}$$

Dónde:

$D_f(20\text{ °C}) = 1,760 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{d}$ coeficiente de difusión molecular a 20 °C

$\theta = 1,037^{18-20}$ factor de corrección de la temperatura a (18° C)

El valor de las constantes se puede obtener, para diferentes temperaturas, por las siguientes ecuaciones:

$$k_{1T} = k_{1(20^\circ\text{C})} (1.047)^{T-20} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 11)}$$

$$k_{2T} = k_{2(20^\circ\text{C})} (1.024)^{T-20} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 12)}$$

Dónde:

k_{1T} = constante de desoxigenación, base neperiana a T °C

k_{2T} = constante de reaireación, base neperiana a T °C

La aplicación del modelo de Streeter y Phelps requiere un programa continuo e intensivo de monitoreo del río, en condiciones conocidas de cargas orgánicas e hidrológicas de flujo permanente, el modelo debe calibrarse mediante comparación de los perfiles de OD calculados con los perfiles determinados realmente en el río. Una vez calibrado, el modelo sirve para proyectar y visualizar posibles condiciones futuras para diferentes cargas contaminantes y distintas magnitudes de caudales. Algunos valores citados para las constantes del modelo a 20 °C, se incluyen en la (tabla 4).

Tabla 4. Valores de las constantes para el modelo Streeter y Phelps

TIPO DE RÍO	f=(k ₁ /k ₂)	k ₂ ,d ⁻¹	k ₁ ,d ⁻¹	v,m/s	PROFUNDIDAD (m)
Muy lento	1,25- 1,5	0,05-0,1	0,03-0,08	0,03-0,2	3-6
Velocidad baja	1,5-2	0,1-1,0	0,05-0,7	0,03-0,2	0,9-3
Velocidad moderada	2-3	1-5	0,5-2,5	0,2-0,6	0,6-1,5
Rápidos	3-5	1-10	0,2-2,3	0,6-1.8	0,6-3,0

Fuente: Romero 2004.

e) Modelo de disminución del oxígeno disuelto

(Gil 2005), nos presenta el siguiente modelo para déficit de oxígeno. Déficit de oxígeno, es igual a la concentración de O₂ en equilibrio (concentración de saturación) menos la concentración real a la temperatura local

$$D = ODS_{CS} - C \dots\dots\dots (Ecuación 13)$$

Dónde:

ODS_{CS}: Concentración de O₂ en equilibrio (Concentración de saturación)

C : Concentración de O₂ real a la temperatura local

f) Concentración de saturación de OD

(Romero 2004) la concentración de saturación de oxígeno disuelto, en agua expuesta a presión normal de 760 mm Hg, se puede calcular mediante la ecuación de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), ignorando el efecto de la salinidad.

$$ODS = 14.652 - 0.41022T + 0.007991T^2 - 0.000077774T^3$$

Dónde:

ODS: concentración de saturación de OD

T : temperatura, °C

Para corregir el valor de ODS a diferentes altitudes, se puede usar la fórmula de Halley:

$$P = 760e^{-E/8005}$$

Dónde:

P: Presión atmosférica a la elevación E, mm Hg

E: elevación, msnm

El valor de saturación de oxígeno disuelto corregida será:

$$ODS_c = ODS \left(\frac{P}{760} \right)$$

El valor de saturación de oxígeno disuelto corregida por salinidad será:

$$ODS_{CS} = ODS_c - (r * cc)$$

Dónde:

$O_{DS_{CS}}$: concentración de saturación corregida por salinidad (cloruros)

r : constante en función a la temperatura (ver tabla 3)

cc : concentración de cloruros (datos obtenidos de laboratorio para cada EM) ver anexo 2

2.2.8. Cambios biológicos del agua contaminada

(Russell 2006) El cambio en los niveles de oxígeno en la corriente conlleva cambios en el medio acuático. Muchos de estos cambios son reversibles, pero algunos otros no. Dichos cambios no sólo afectan a la química sino también a la biología y a la ecología de la corriente de agua.

Cuando el contenido de oxígeno disminuye más y cae hacia cero, Los depósitos bentónicos se forman en el fondo del río, y el agua del río torna del gris oscuro al negro. La liberación de H_2S y algo de exceso de NH_3 es continua, causando el olor a «huevos podridos» asociado con las condiciones anaeróbicas.

El río está esencialmente «muerto» hasta que el carbono se consume hasta el punto donde la re-aireación de la superficie puede empezar a suministrar oxígeno al río o hasta que los efluentes del río que aportan oxígeno disuelto producen una dilución suficiente para cambiar las condiciones anaeróbicas. En este punto, el río puede empezar a recuperarse, pero la ecología ha cambiado. Al final, la recuperación puede ser completa, exceptuando la diversidad de especies, ya que habrá menos especies corriente abajo de las aguas recuperadas.

(Suarez 2008), la MO provoca el consumo de oxígeno de los ríos y crea olores y gustos desagradables, sobre todo en condiciones sépticas. Los peces y la mayor parte de la vida acuática se asfixian por falta de oxígeno y la concentración de éste, combinada con otras condiciones determina, en los ríos, la vida o la muerte de los peces. Algunas especies de peces no pueden sobrevivir en aguas que contienen 3 mg/L de oxígeno disuelto, mientras que otras especies pueden no verse afectadas, ni siquiera levemente, por la misma cantidad. La carpa es capaz de sobrevivir en aguas con sólo 1 mg/L de oxígeno. El déficit de oxígeno causado indirectamente por la materia orgánica se considera como el factor más importante en la contaminación de los ríos.

Tabla 5. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.

[OD] mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de
8-12	Buena	especies de peces y otros organismos acuáticos
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: Goyenola 2007.

Según (Russell 2006), los cambios biológicos que se presentan en el agua contaminada son

- Pérdida de especies acuáticas.
- El desarrollo de depósitos anaerobios contribuye a una mayor degradación del agua.
- El agua se vuelve negra.
- Desarrollo de organismos bentónicos y gusanos del lodo.
- Agotamiento total del oxígeno de los nitratos y, a continuación, de los sulfatos.
- Desarrollo de sulfuro de hidrogeno y condiciones anaeróbicas, recuperación extremadamente lenta de la corriente.
- Condiciones de toxicidad que pueden persistir mucho tiempo después de la recuperación. Desarrollo de una recuperación gradual, pero la pérdida del hábitat y algunas recuperaciones no se producirán hasta que se elimine la fuente de contaminación.

2.2.9. Gasto o caudal

(Ramírez 2005), Cuando se mide el agua que pasa por un riachuelo o río, por una tubería, por una sección normal de una corriente de agua, o cuando se mide el volumen del agua que produce un pozo o la que entra a o sale de una planta de tratamiento, en una unidad de tiempo, se conoce como caudal.

El caudal se define, entonces, como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo. Para cuantificar el caudal de agua se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = A * V$$

Dónde:

Q : Caudal o Gasto (m³/s).

A : Área de la sección transversal (m²).

V : Velocidad media del agua en la sección hidráulica (m/s).

(Rivas y Chuquilin 2012) demuestran que en los meses de avenidas (lluvia) existe una mayor autodepuración, por el aumento notable del caudal del afluente.

2.2.10. Velocidad

(Rosgen 1994), La velocidad de los hilillos de agua varía considerablemente a lo largo del cauce, pero también en cada punto de la sección mojada, tanto de una orilla hacia la otra como del fondo a la superficie. La velocidad depende también de la pendiente, la profundidad y la rugosidad del lecho, las irregularidades de los márgenes, entre otros. La mayor rapidez se da en la zona superficial, por encima de los puntos más profundos.

La velocidad del agua en un conducto se define como:

$$v = d / t$$

Dónde:

v : velocidad

d : distancia

t : tiempo

2.2.11. Tirante

(Sánchez 2011), Es la distancia vertical desde el punto más bajo de la plantilla del canal hasta la superficie libre del líquido transportado. Los caudales de ríos y quebradas, pueden ser estimados generando primero una relación caudal-altura para un punto estable a lo largo del curso de agua usando un aforador en una serie de condiciones de caudal bajo, medio y

alto. Cada vez que se desee medir el caudal, todo lo que se necesita hacer es medir la profundidad del flujo (tirante) en el punto designado del curso de agua. Luego, la altura es convertida en el caudal del río usando la relación caudal-altura.

2.2.12. Temperatura

En estudios de polución de ríos, estudios limnológicos y en la identificación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario para obtener buenos resultados (Romero1999).

(Tchobanoglous 2000), la temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existan en un cuerpo de agua receptor. Las instalaciones industriales que usen fuentes de agua superficial para los sistemas de enfrentamiento tienen particular interés en la temperatura del agua captada. Además el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en la velocidad de las reacciones bioquímicas, como consecuencia de incrementos en la temperatura de las aguas superficiales, puede ocasionar una drástica disminución en la concentración de oxígeno disuelto durante los meses de verano.

(Sarochar 2009), La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía con la hora del día, con la estación del año y con la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura. Por otro lado, la temperatura puede variar debido a la distribución de distintos tipos de superficies y en función de la altura. Ejercen influencia sobre la temperatura: La temperatura óptima para el desarrollo de las actividades bacterianas está en el rango de 25 a 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores de orden de los 50 °C. Cuando la temperatura se acerca a los 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y alrededor de los 5 °C, las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de actuar. Cuando la temperatura es de 2 °C, se alcanza incluso la inactivación de bacterias que actúan sobre la materia orgánica.

(Marín 2012), refiere que desde el punto de vista biológico, la temperatura del ambiente influye extraordinariamente en el desarrollo de los organismos que se encuentran en el seno

del agua. Una temperatura elevada implica la aceleración de la putrefacción y por tanto del aumento de la demanda de oxígeno. Paralelamente disminuye la solubilidad de éste, pudiendo actuar la temperatura como un factor de control o como un factor letal. La temperatura óptima depende de cada especie, de la edad, de la estación, entre otros. Temperaturas superiores hacen que se sobreactiven los procesos de síntesis y catabolismo, adquiriendo estos últimos cierta preponderancia.

2.3. Bases Legales

2.3.1. Ley General del Ambiente. Ley N° 28611

El (MINAM 2005) mediante la ley general del ambiente en su artículo 121 con respecto al vertimiento de aguas residuales, nos indica que el Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas

2.3.2. Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338

El (MINAG 2010) en la ley de recursos hídricos artículo 79 señala que la Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP); del mismo modo en el artículo 80 nos indica que todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva.

2.3.3. Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

Este protocolo fue elaborado por (ANA y MINAG 2011) y es el protocolo que en la actualidad se viene utilizando constituye uno de los protocolos vigente para llevar acabo los monitoreo de la calidad de agua en nuestro país.

2.3.4. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

El (MINAM 2008) mediante Decreto Supremo N° 002-2008 Artículo 1aprovar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

CAPITULO III

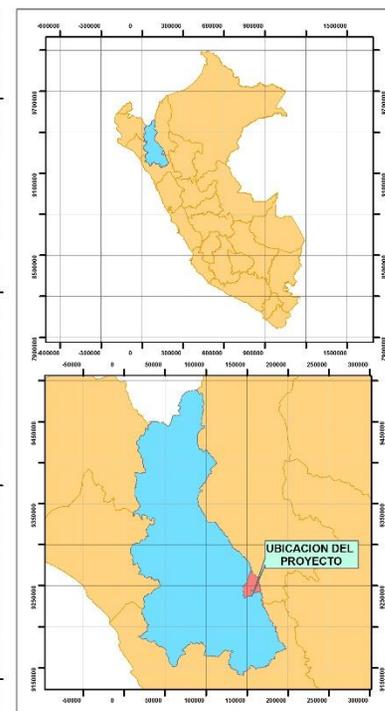
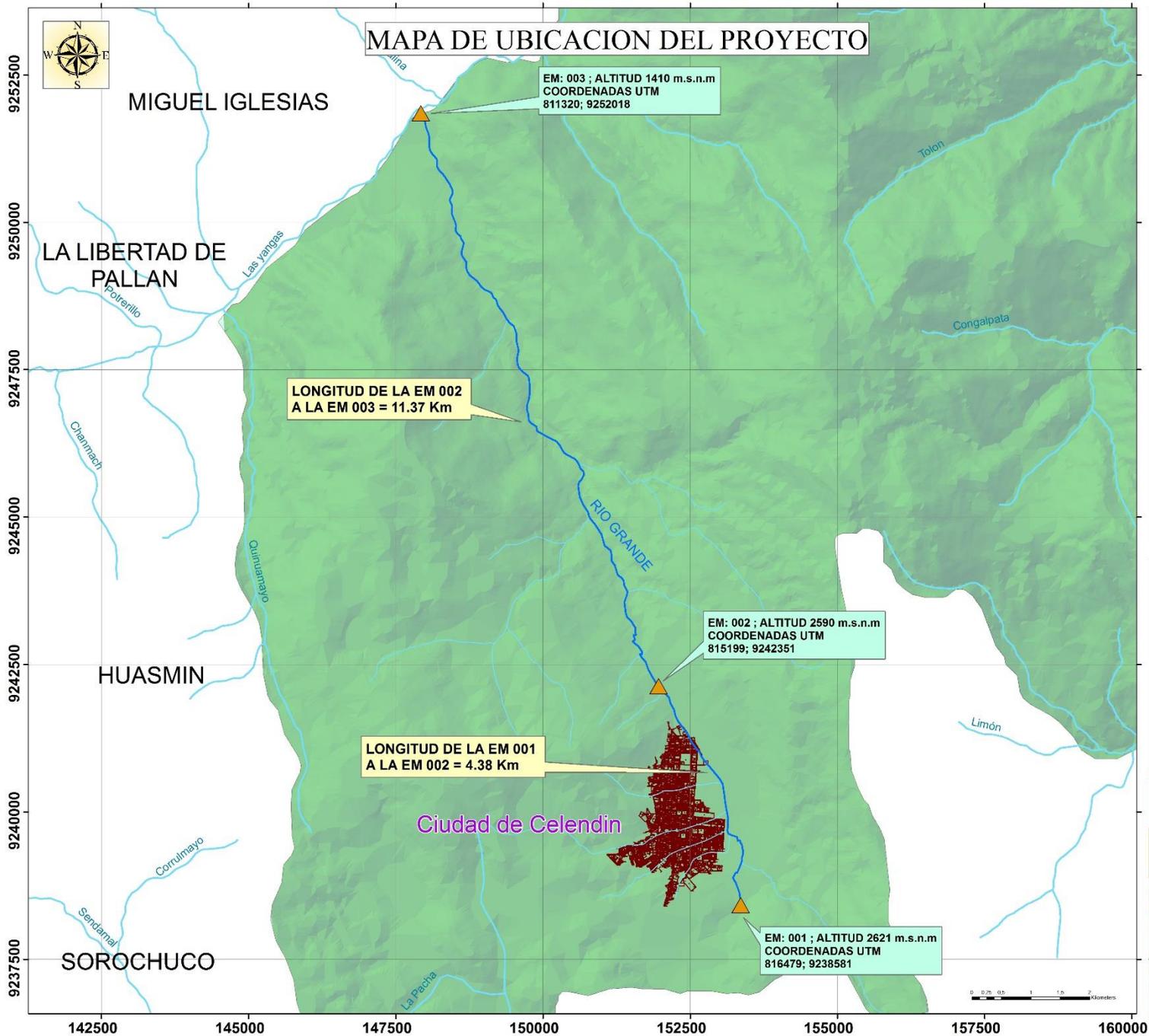
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La presente investigación se llevó a cabo en las aguas del Río Grande, ubicado en el distrito de Celendín, provincia de Celendín, departamento Cajamarca. El Río Grande nace en el caserío de Santa Rosa (EM-001), hace su recorrido por diferentes lugares tales como: zona periurbana de la ciudad de Celendín, Pallac (EM-002), La Represa, y finalmente Llanguat (EM-003), desembocando en el río Las Yangas; en dicho recorrido se establecieron tres estaciones de monitoreo que se describen a continuación (ver Fig. 4).

Tabla 6. Localización de las estaciones de monitoreo (EM)

Estación de monitoreo	Lugar	Coordenadas UTM	Altitud m.s.n.m.	Fotografía
EM-001	Santa Rosa	N:9238581 E:816479	2621	
EM-002	Pallac	N:9242351 E:815199	2590	
EM-003	Llanguat	N:9238604 E:816522	1410	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL	
Tesis:	EVALUACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION DE MATERIA ORGANICA EN FUNCION A LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL RIO GRANDE - DISTRITO CELENDIN
Mapa:	UBICACION
Tesista:	EVER ZABALETA VILLANUEVA
Acesores:	ING. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA ING. JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO
Escala:	1 : 45.000
Datum:	WGS 84 SONA 17S
Fecha:	Celendin, 2016
	UB_01

Fig. 4 Ubicación del Proyecto en el distrito de Celendín

3.2. Materiales

Material de campo

- Fichas de registro de campo.
- Cinta adhesiva.
- Cita de embalaje.
- Plumón indeleble.
- GPS (GARMIN 62SC)
- Termómetro
- Cámara fotográfica (SONY DSC-W610).
- Reloj.
- Calculadora.
- Cronómetro
- wincha
- flotadores de plástico
- Laptop con software para procesamiento y sistematización de datos.
- Papel bond A4.
- Impresora.
- Balde
- Etiquetas
- Material cartográfico
- Memorias USB
- Botiquín de primeros auxilios

Material y equipo de laboratorio

- Reactantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras (sulfato de manganeso solución yoduro alcalina)
- Frascos Winkler oscuro debidamente etiquetados.
- Cajas térmicas pequeñas.
- guantes de látex descartables
- Mascarilla descartable
- Recipientes de monitoreo (envases de plástico y vidrio)

3.3. Tipo de investigación

- Por su finalidad: aplicada, debido a que, los resultados de la investigación permitirán recomendar los usos del agua.
- Por su grado de profundidad: descriptiva, permitirá conocer la capacidad de remoción de materia orgánica biodegradable de las aguas del Río Grande.
- Por el método de investigación: no experimental, no se realizó manipulación deliberada de las variables; se medirán tal cómo se presentan en el medio.

3.4. Metodología general aplicada

Para realizar la recolección de datos en el desarrollo de la presente investigación se usó el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (ANA y MINAG 2011); dicha norma establece los puntos de monitoreo deben estar distribuidos de la siguiente manera: un punto de monitoreo en la naciente del recurso hídrico, que servirá como punto de referencia (blanco) y que además, los puntos de monitoreo deben ser ubicados aguas arriba y aguas abajo de una descarga de agua residual en este caso la descarga de agua residual, se considera a la descarga más significativa que recibe el Río Grande, en el caserío de Pallac siendo estas las aguas residuales de toda la ciudad de Celendín; del mismo modo para efectos de la investigación propuesta se procede a contar con otro punto de monitoreo que estará ubicado a 80 metros antes de la confluencia con el río Las Yangas. Siguiendo con lo establecido en el protocolo de monitoreo cada punto se caracterizó teniendo en cuenta lo siguiente: código del punto o estación de monitoreo, coordenadas UTM, nombre y descripción del lugar.

El recojo de muestras, fueron tomadas lo más cerca posible del centro del río y en contra de la corriente.

3.4.1. Punto de monitoreo

Se ubicaron tres puntos estratégicos de monitoreo, haciendo uso de la carta nacional y un equipo de GPS tal como se indica en la Fig. 4, los cuales son:

- **EM - 001.** EL primer punto o estación de monitoreo fue ubicado en la naciente del Río Grande en el caserío de Santa Rosa, el que permitirá determinar la calidad

aguas arriba antes de ser influenciadas con los aguas residuales de la ciudad de Celendín.

- **EM - 002.** Ubicada en el caserío de Pallac; constituye la segunda estación de monitoreo y se encuentra ubicada a una distancia de 100 m después de la mezcla con la descarga más significativa de aguas residuales hacia el Río Grande (aguas residuales provenientes del alcantarillado de toda la ciudad de Celendín)
- **EM - 003.** Ubicado en el caserío de Llanguat, a una distancia de 80 m antes de la confluencia con el río Las Yangas.

3.4.2. Frecuencia de monitoreo

Este trabajo de investigación se realizó en un periodo de 6 meses se inició en octubre del 2015 y finalizó en Marzo del 2016, todos los parámetros considerados fueron evaluados con una frecuencia de una vez por mes en las tres estaciones de monitoreo establecidas.

3.4.3. Tamaño, tipo y método recolección de muestra

Tabla 7. Tamaño, tipo y método de recolección

PARAMETRO	TAMAÑO	ENVASE	MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA
DBO ₅	1000 ml	frascos de plástico de boca ancha	Se homogenizó lavándolos previamente de 2 a 3 veces con el agua a muestrear. Luego se llenó el envase por completo, evitando la presencia de burbujas. Las muestras fueron colocadas en una caja de tecnopor con hielo gel para su preservación, para luego ser enviadas al laboratorio.
OD	300 ml	frascos winkler	Se homogenizó lavándolos previamente de 2 a 3 veces con el agua a muestrear. Se llenó el envase, se agregó 2 ml de sulfato de manganeso y luego 2 ml de solución yoduro alcalina, luego se procedió a tapar por completo, evitando la presencia de burbujas. Las muestras fueron colocadas en una caja de tecnopor con hielo gel para su preservación, para luego ser enviadas al laboratorio.

3.4.4. Parámetros de campo

Estos parámetros se determinaron directamente en el Río Grande en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos procediendo de la siguiente manera:

3.4.4.1. Caudal, para determinar el valor del caudal, se empleó la metodología establecida en la guía de hidrometría del (SENAMHI 2011); a continuación se detalla el trabajo realizado:

Selección del tramo recto

- Se seleccionó un tramo recto A – B de 5 m de longitud, teniendo en consideración que el agua fluya naturalmente y que no existan rocas de gran tamaño o troncos.
- Se procedió a medir el ancho del río.
- Luego se midió la distancia que recorre el flotador desde A (inicio) y B (final).



Fig. 5 Selección del tramo recto

Cálculo del tiempo promedio

- Para el cálculo del tiempo en que un flotador llega al punto B, partiendo del punto A, se hizo uso del cronómetro.
- La metodología del (SENAMHI 2011) recomienda que como mínimo deben emplearse 6 flotadores: 2 flotadores hacia la margen derecha, 2 en el centro y 2 en la

margen izquierda de la sección del Río. distribuidos a distancias iguales uno del otro tomando como referencia la medida del ancho del río.

- El tiempo promedio es igual a:

$$t_{prom} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}{6}$$



Fig.6 Calculando el tiempo de recorrido del flotador

Cálculo de la velocidad (v)

$$v = d / t$$

Dónde:

v: velocidad (m/s).

d: distancia recorrida del flotador desde A hasta B (m).

t: es el tiempo promedio que recorre los flotadores desde A hasta B, (s)

Cálculo de la velocidad media (v_m)

Este valor es la velocidad corregida del flujo de agua en cada sección y es igual a la velocidad del flotador o superficial (v) multiplicada por un coeficiente que existe entre la velocidad media de la sección y la superficial, para los diferentes tipos de cauces. Esta velocidad media suele variar entre 0,75 y 0,90 veces la velocidad en la superficie según se trate de cauces naturales pequeños o grandes, respectivamente. Sin embargo la

metodología establecida por el (SENAMHI 2011) recomienda el valor de 0.85; dicho valor se usó en esta investigación.

$$V_m = 0.85 * V$$

Cálculo del área de la sección

$$A = hp \times a$$

A : área de la sección (m²)

hp : profundidad promedio de la sección transversal (m)

a : ancho del río (m)

Se procedió a medir el ancho del río y a calcular la profundidad promedio del río.



Fig. 7 Medición del ancho del río

Cálculo de la profundidad media: (hp)

Se dividió en 3 partes para medir las diferentes profundidades y se obtiene el promedio.



Fig. 8 Medición de la profundidad (Tirante) del río

Cálculo del caudal: (Q)**Fórmula del caudal: (m³/s)**

$$Q = A \times v_m$$

Dónde:

Q : caudal (m³/s).

A : área de la sección (m²)

v_m : velocidad media (m/s).

3.4.4.2. Tirante y ancho del río Para evaluar los valores de estas características hidráulicas se emplearon las 16 estaciones de monitoreo; para fines de empleo de modelos del OD y con la finalidad de obtener una mayor exactitud de los valores de esta característica se establecieron 13 estaciones de monitoreo complementarias a las 3 estaciones fijas, en las mismas fechas se realizaron los monitoreos correspondientes; las estaciones de monitoreo tanto las fijas como las complementarias quedaron a una distancia entre ellas de 1km aproximadamente.

3.4.4.3. Temperatura. La lectura de la temperatura se realizó con un termómetro ambiental, en cada punto de monitoreo y esperando hasta una lectura constante, se tomó nota de las temperaturas registradas y la hora de registro respectivamente.



Fig. 9 Medición de la temperatura del agua

3.4.4.4. Longitud.

Para poder determinar la longitud del Río Grande se empleó el software Arc Gis 10.1 el cual es un método innovador para medir grandes distancias, procediendo a elaborar un mapa a partir de una base de datos consistente en la Carta Nacional para este caso se empleó la Carta Nacional 14g formato digital la misma que corresponde a la provincia de Celendín; de ella se seleccionan los ríos, y de manera específica se seleccionó el Río Grande del distrito de Celendín; para obtener una mayor precisión además vinculamos el Arc Gis con el software Google Earth el cual trabaja con imágenes satelitales, esta nos ayuda a corregir mínimas imperfecciones en el recorrido del río y nos da una mayor precisión la distancia se calculó en kilómetros haciendo uso de la herramienta measure, específica para para medir distancias. Cabe resaltar que la información trabajada fue georreferenciada considerando la WGS 84 SONA 17 SUR ampliamente utilizada y recomendada para la elaboración de mapas hoy en día (Hernández y Montaner 2008).

3.4.5. Técnicas de recolección de datos

Tabla 8. Técnicas de Recolección de Datos

Parámetro	Técnica/norma de referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed.2012: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 ndEd. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Cloruro	Método de Ensayo: EPA Method 300.1 Rev. 1.0. 1997: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Caudal	Método del flotador y área de la sección
Longitud	Parámetro determinado mediante el software ArcGis 10.1
Velocidad	Método del flotador
Tirante	Medición directa con wincha
Temperatura	Medición directa con termómetro

3.4.6. Técnicas de procesamiento de datos para obtener los valores de remoción de la materia orgánica biodegradable

Se registraron los resultados reportados por el Laboratorio Regional del Agua como son la DBO₅, el OD y los Cloruros; así como los determinados a nivel de campo (longitud, caudal, velocidad, temperatura y tirante de agua) los cuales fueron procesados para determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable presente en las

aguas del Río Grande del Distrito de Celendín. El porcentaje de remoción de la MO se determinó teniendo en cuenta lo siguiente:

- **Primero:** haciendo uso de los valores de la DBO_5 obtenidos en cada punto de monitoreo por cada mes, se procedió a calcular el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable que ha tenido lugar en las aguas del Río Grande del distrito de Celendín, para lo cual se empleó la siguiente fórmula

$$e = \frac{DBO_5 (afluente) - DBO_5 efluente}{DBO_5 afluente} * 100$$

Dónde:

e : Eficiencia de remoción de materia orgánica biodegradable (%)

$DBO_5 (afluente)$: concentración de materia orgánica en Pallac EM-002 a 100 m después de la mezcla con la descarga más significativa de aguas residuales hacia el Río Grande

$DBO_5 (efluente)$: concentración de materia orgánica en Llanguat EM-003 a 80 m antes de la confluencia con el río Las Yangas.

- **Segundo:** con los datos de remoción de materia orgánica biodegradable por cada mes, se realizó el cálculo total (6 meses de monitoreo); para lo cual se empleó la siguiente fórmula.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

Dónde:

\bar{X} = promedio aritmético

X = valor individual de cada dato

n = número de datos



- **Tercero:** se trabajó los modelos de Streeter y Phelps, y otros modelos matemáticos para acercar y comparar los resultados obtenidos en laboratorio y los obtenidos mediante la aplicación de modelos matemáticos utilizando el software Excel de la siguiente manera: ver (tabla 17)

Columna 1: Estaciones de Monitoreo (**EM-001, EM-002, EM-003**)

Columna 2: **DBO₅** obtenidos de laboratorio mg/L

Columna 3: **OD** obtenidos de laboratorio mg/L

Columna 4: Distancia de Estaciones de Monitoreo (**d**) m

Columna 5: Velocidad (**V**) m/s

Columna 6: Velocidad media (**V_m**) = (**V**)*0.85 m/s (factor de corrección emitido por el SENAMHI)

Columna 7: Temperatura del agua (**T**) °C

Columna 8: Tirante o profundidad (**H**) m

Columna 9: Caudal (**Q**) m³/s

Columna 10: Tiempo de recorrido de flujo (**t**) = (**d/V_m**/86400) días

Columna 11: Constante de desoxigenación (**k₁**) a 20°C = LN (DBO_U en 1ª EM /DBO_U en 2ª EM)/tiempo de flujo a partir la 1ª hasta la 2ª EM

Columna 12: Constante de desoxigenación (**k₁**) corregida a (T) del agua = $k_1 \text{ a } 20^\circ\text{C} * 1.047^{(T-20)}$

Columna 13: Constante de reoxigenación (**k₂**) a 20 °C = $(1.76 * 10^{-4} * V_m * 86400)^{1/2} / ((H \text{ en } 1^\text{a} \text{ EM} + H \text{ en } 2^\text{a} \text{ EM})/2)^{3/2}$

Columna 14: Constante de reoxigenación (**k₂**) corregida a (T) del agua = $k_2 \text{ a } 20^\circ\text{C} * 1.024^{(T-20)}$

Columna 15: **DBO_U** o (**L_o**) = $DBO_5 / 1 - e^{-0.23 * t}$

Columna 16: OD de saturación a presión (**P**) normal 760 mmHg = $14,652 - 0,41022 * T + 0,007991 * T^2 - 0,000077774 * T^3$

Columna 17: Corrección de Presión (**P**) por altura de (**EM**) = $760 * e^{(-\text{Altitud sobre el nivel del mar (E)}/8005)}$

Columna 18: **OD de saturación** corregida por altitud y presión (**OD_{sc}**) = OD saturación a Presión normal*(presión corregida por altitud/760)

Columna 19: **OD de saturación** corregida por cloruros (**salinidad**) = (OD_{sc}) – (Factor de corrección de salinidad relacionado con la

temperatura*concentración de sales (cloruros) mg/L obtenido de laboratorio para cada EM)

Columna 20: Déficit Inicial de Oxígeno (D_0) = (OD obtenido de laboratorio – OD de saturación corregida por salinidad)

Columna 21: Déficit de Oxígeno para un tiempo $D_t = \frac{k_2 L_0}{k_2 - k_1} * [e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}] + D_0 e^{-k_2 t}$

Columna 22: OD final = (ODsc - D_t)

Columna 23: DBO remanente $L_t = L_0 e^{-k_1 t}$ para la estación 003 tomara el lugar de la DBO_U (L_0)

Columna 24: DBO₅ final (calculado) $y_5 = L_0(1 - e^{-5k_1})$...

Columna 25: Remoción de Materia Orgánica (%) = (DBO₅ laboratorio EM_002 - DBO₅ calculado final)*100/ DBO₅ laboratorio EM_002

Columna 26: tiempo crítico (tc) días = $t_c = \frac{1}{k_1(f-1)} * \ln \left\{ f \left[1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right] \right\}$

Columna 27: déficit critico de oxigeno (Dc) (mg/L) = $D_c = \frac{k_1}{k_2} * L_0 e^{-k_1 t_c}$

Columna 28: distancia crítica (Xc) Km = $x_c = V t_c$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1. Temperatura

Tabla 9. Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.

Estación de Monitoreo	Lugar	Coordenadas UTM	Hora de Monitoreo	Temperatura(°C)						
				Frecuencia de monitoreo (meses 2015 - 2016)						T°
				Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	
EM-001	Santa Rosa	N:9238581 E:816479	6 a 7 am	17	16	16,9	16,5	17	15	16,4
EM-002	Pallac	N:9242351 E:815199	7 a 8 am	17,2	16,4	17,3	18	17,5	16	16,9
EM-003	Llanguat	N:9238604 E:816522	10 a 11am	18	17	17,6	18,2	18	20	18,1

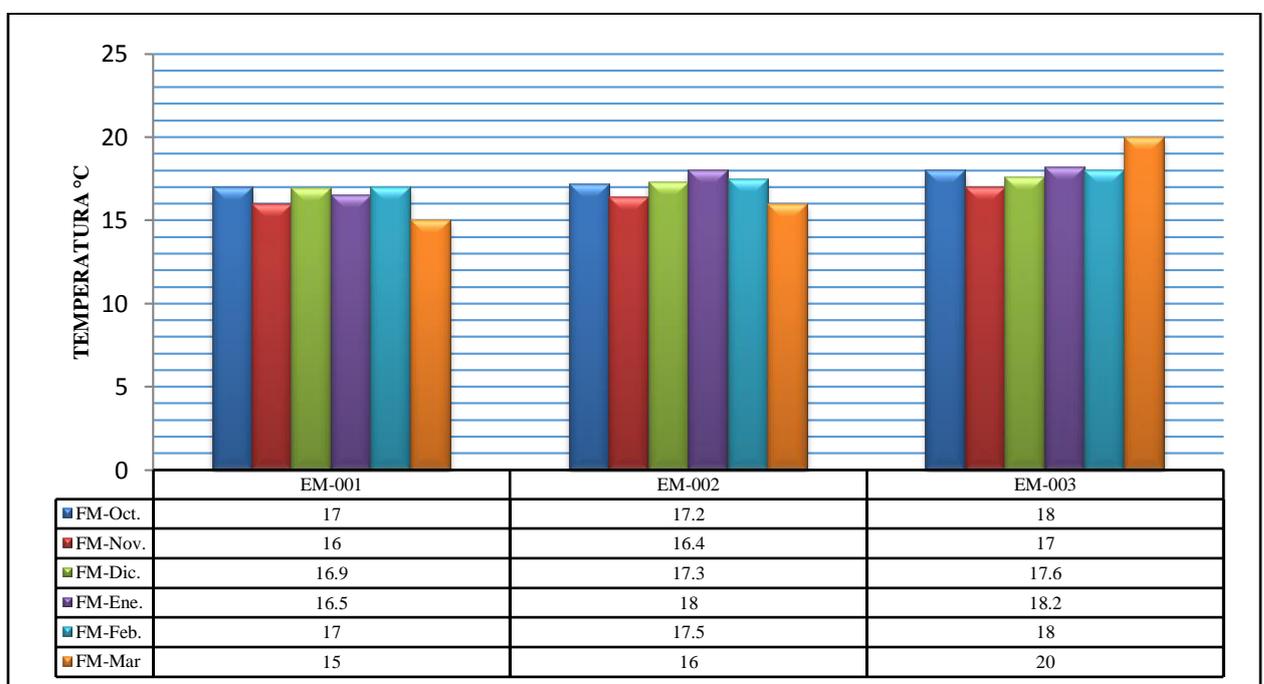


Fig. 10 Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante y determinante en muchos sentidos, porque afecta las velocidades de las reacciones químicas y la vida acuática (Tchobanoglous 2000). La medición termométrica se realizó en tres estaciones de monitoreo del Río Grande, los valores oscilan entre 15 °C – 18,2 °C, los resultados se muestran en la Figura 10, siendo el mínimo en la Santa Rosa EM-001 y la máxima en Llanguat EM-003; como se puede observar existieron variaciones debido a lo establecido por (Sarochar 2009), quien menciona que la temperatura puede variar según la hora del día, estación del año, altitud; aclarando además que el monitoreo de este parámetro se realizó entre las 6 am y las 11 am, en el siguiente orden: EM-001, EM-002 y EM-003 respectivamente; El ligero incremento de temperatura en la EM-002, se le atribuye además de los factores antes mencionados a la descarga más significativa de agua residual según lo establecido por (Romero 2004).

4.2. Velocidad

Tabla 10. Velocidad en (m/s) del agua en las 3 Estaciones de Monitoreo.

Estaciones de Monitoreo	Altura (msnm)	Coordenadas UTM	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	promedio por EM	promedio general
EM-001	2645	N:9242315 E:815199	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,60	0,55	
EM-002	2590	N:9242315 E:815199	0,46	0,49	0,47	0,46	0,47	1,01	0,56	0,60
EM-003	1410	N:9238604 E:816522	0,48	0,48	0,48	0,82	0,46	1,52	0,71	

Según (Streeter y Phelps) citado por (romero 2004), los valores de velocidad de 0,6 m/s a 3 m/s corresponden a ríos rápidos por lo tanto se puede afirmar que nuestro río es rápido de acuerdo a su velocidad.

4.3. Caudal

Tabla 11. Valores de caudal en las estaciones de monitoreo.

Estación de monitoreo	Lugar	Coordenadas UTM	Caudal (m ³ /s)						Q Prom
			Frecuencia de monitoreo (meses 2015 - 2016)						
			Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	
EM-001	Santa Rosa	N:9238581 E:816479	0,102	0,085	0,082	0,090	0,086	0,128	0,095
EM-002	Pallac	N:9242351 E:815199	0,148	0,145	0,137	0,155	0,139	0,610	0,222
EM-003	Llanguat	N:9238604 E:816522	0,084	0,073	0,067	0,246	0,071	0,788	0,221

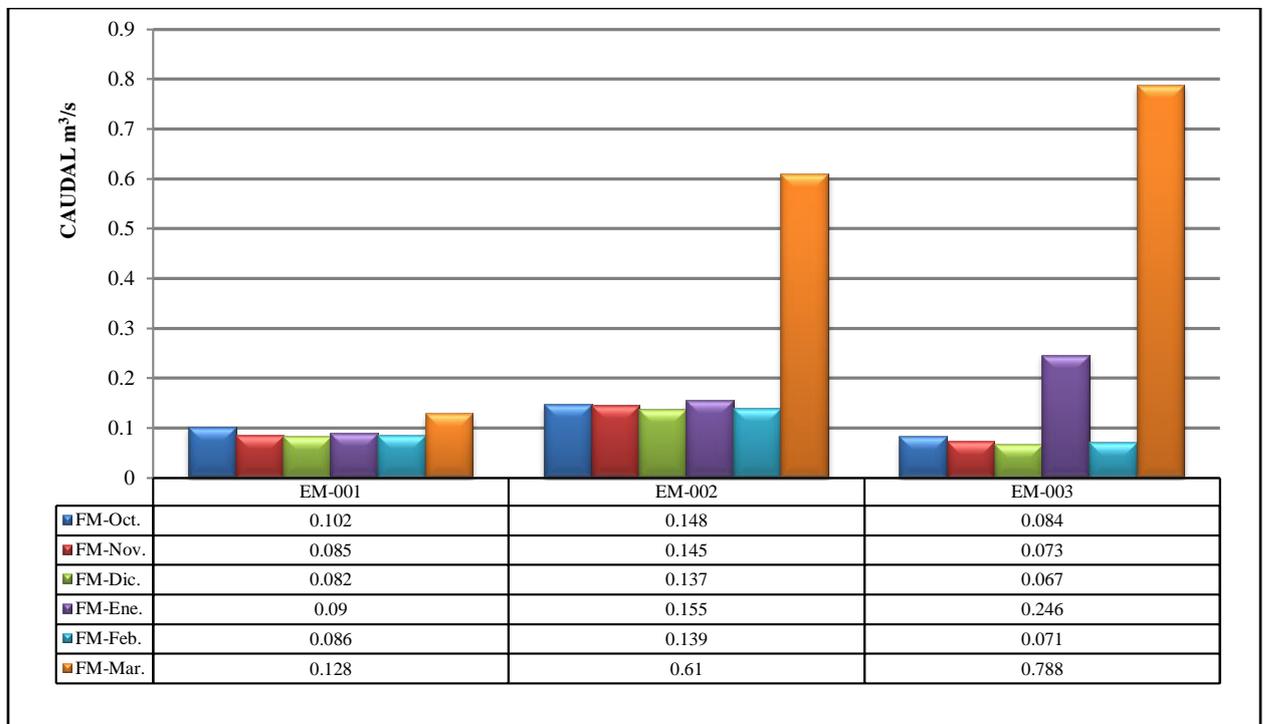


Fig. 11 Valores del caudal en las estaciones de monitoreo.

La frecuencia de monitoreo abarcó un período de 6 meses, de octubre del 2015 a marzo del 2016 correspondiente a una época lluviosa, sin embargo no fue el caso; según el SENAMHI 2015-2016 (ver anexo 1) se presentó algunos pequeños eventos de lluvia durante los meses de febrero y marzo, esto al mismo tiempo es evidenciado en el incremento del caudal durante estos meses. Como se puede observar la diferencia de caudales en las tres estaciones; en Pallac EM-002 el caudal se ve incrementado, debido

a que, se adiciona el caudal del Río chico y además las aguas residuales de la ciudad de Celendín; En Llangat EM-003 se evidencia una clara disminución del caudal, esto tiene su explicación en las escasas lluvias que se presentan en este lugar por ello los pobladores reducen el caudal, usando estas aguas para el riego. (Rivas y Chuquilin 2012). La importancia del estudio del caudal en la presente investigación, radica en que a un mayor incremento del caudal en los meses de avenidas (lluvia), existe una mayor autodepuración por dilución de los contaminantes.

4.4. Tirante de agua y ancho del río

Tabla 12. Tirante o profundidad de agua en las 16 estaciones de monitoreo.

Estaciones de monitoreo	Lugar	Altura (msnm)	Coordenadas UTM	TIRANTE POR MES						Valores promedio tirante	Promedio del tirante o calado (m)
				Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.		
EM-001	Santa rosa	2621	N:9238581 E:816479	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,18	0,12	0,141
E. Complementaria	-	2630	N:9239528 E:816586	-	-	-	0,10	-	-	0,10	
E. Complementaria	-	2608	N:9240362 E:816281	-	-	-	0,10	-	-	0,10	
E. Complementaria	-	2595	N:9241199 E:815871	-	-	-	0,14	-	-	0,14	
EM-002	Pallac	2590	N:9242351 E:815199	0,19	0,18	0,18	0,19	0,18	0,36	0,21	
E. Complementaria	-	2565	N:9243134 E:814793	-	-	-	0,15	-	-	0,15	
E. Complementaria	-	2376	N:9244048 E:814624	-	-	-	0,16	-	-	0,16	
E. Complementaria	-	2222	N:9244920 E:814245	-	-	-	0,15	-	-	0,15	
E. Complementaria	-	2038	N:9245872 E:813924	-	-	-	0,15	-	-	0,15	
E. Complementaria	-	1922	N:9246617 E:813282	-	-	-	0,15	-	-	0,15	
E. Complementaria	-	1753	N:9247626 E:813014	-	-	-	0,14	-	-	0,14	
E. Complementaria	-	1658	N:9248531 E:812733	-	-	-	0,14	-	-	0,14	
E. Complementaria	-	1612	N:9249336 E:812067	-	-	-	0,14	-	-	0,14	
E. Complementaria	-	1486	N:9250512 E:811777	-	-	-	0,12	-	-	0,12	
E. Complementaria	-	1427	N:9251393 E:811456	-	-	-	0,15	-	-	0,15	
EM-003	Llangat	1410	N:9238604 E:816522	0,08	0,08	0,08	0,18	0,08	0,26	0,13	

El Río Grande tiene una profundidad promedio de 14 cm, se considera una lámina de agua delgada, esto permite un mayor contacto con el aire por lo tanto la reoxigenación rápida del río Guevara (2005).

Tabla 13. Ancho o espejo de agua en las 16 estaciones de monitoreos.

Estaciones de monitoreo	Altura (m.s.n.m)	Coordenadas UTM	ancho del río	Promedio del ancho del río (m) o espejo de agua)
EM-001	2621	N:9238581 E:816479	1,55	1,6
E. Complementaria	2630	N:9239528 E:816586	1,5	
E. Complementaria	2608	N:9240362 E:816281	1,62	
E. Complementaria	2595	N:9241199 E:815871	1,67	
EM-002	2590	N:9242351 E:815199	1,82	
E. Complementaria	2565	N:9243134 E:814793	1,68	
E. Complementaria	2376	N:9244048 E:814624	1,66	
E. Complementaria	2222	N:9244920 E:814245	1,56	
E. Complementaria	2038	N:9245872 E:813924	1,86	
E. Complementaria	1922	N:9246617 E:813282	1,63	
E. Complementaria	1753	N:9247626 E:813014	1,69	
E. Complementaria	1658	N:9248531 E:812733	1,62	
E. Complementaria	1612	N:9249336 E:812067	1,71	
E Complementaria	1486	N:9250512 E:811777	1,55	
E. Complementaria	1427	N:9251393 E:811456	1,67	
EM-003	1410	N:9238604 E:816522	1,69	

Como ya se mencionó líneas arriba, para la evaluación de este parámetro se establecieron estaciones de monitoreo complementarias para obtener un valor medio aproximado a la realidad, el ancho promedio del río en estudio es de 1.6 m.

4.5. Longitud

Tabla 14. Valores de la longitud del Río Grande

Estación de monitoreo	Lugar	Coordenadas UTM	Longitud (m) del Tramo	Longitud total del río (m)
EM-001	Santa Rosa	N:9238581 E:816479	0.00	15750
EM-002	Pallac	N:9242351 E:815199	4380	
EM-003	Llanguat	N:9238604 E:816522	11370	

Determinar la longitud recorrida del agua, luego de recibir una carga orgánica contaminante resulta importante porque según (Rivera 2015), la longitud de influencia de los vertidos orgánicos es de hasta los 10 km; indica además que luego de esta distancia el agua retornaría a las condiciones iniciales en la que se encontraba antes de recibir la carga contaminante. La distancia desde Pallac EM-002 (100 m después de recibir la carga contaminante), hasta Llanguat EM-003 (80 m antes de la confluencia

con el río Las Yangas), es de 11. 37 Km esta distancia indica que es la necesaria para que el agua retorne a las condiciones iniciales.

4.6. Oxígeno disuelto

Tabla 15. Valores del OD de agua en las 3 estaciones de monitoreo.

Estación de monitoreo	Lugar	Coordenadas UTM	OD (mg/L)						OD Prom
			Frecuencia de monitoreo (meses 2015 - 2016)						
			Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	
EM-001	Santa Rosa	N:9238581 E:816479	4,30	4,25	3,67	3,28	4,1	4,76	4,06
EM-002	Pallac	N:9242351 E:815199	0,66	2,13	3,10	4,08	1,95	5,64	2,93
EM-003	Llanguat	N:9238604 E:816522	7,52	7,43	6,87	7,61	7,34	6,89	7,28

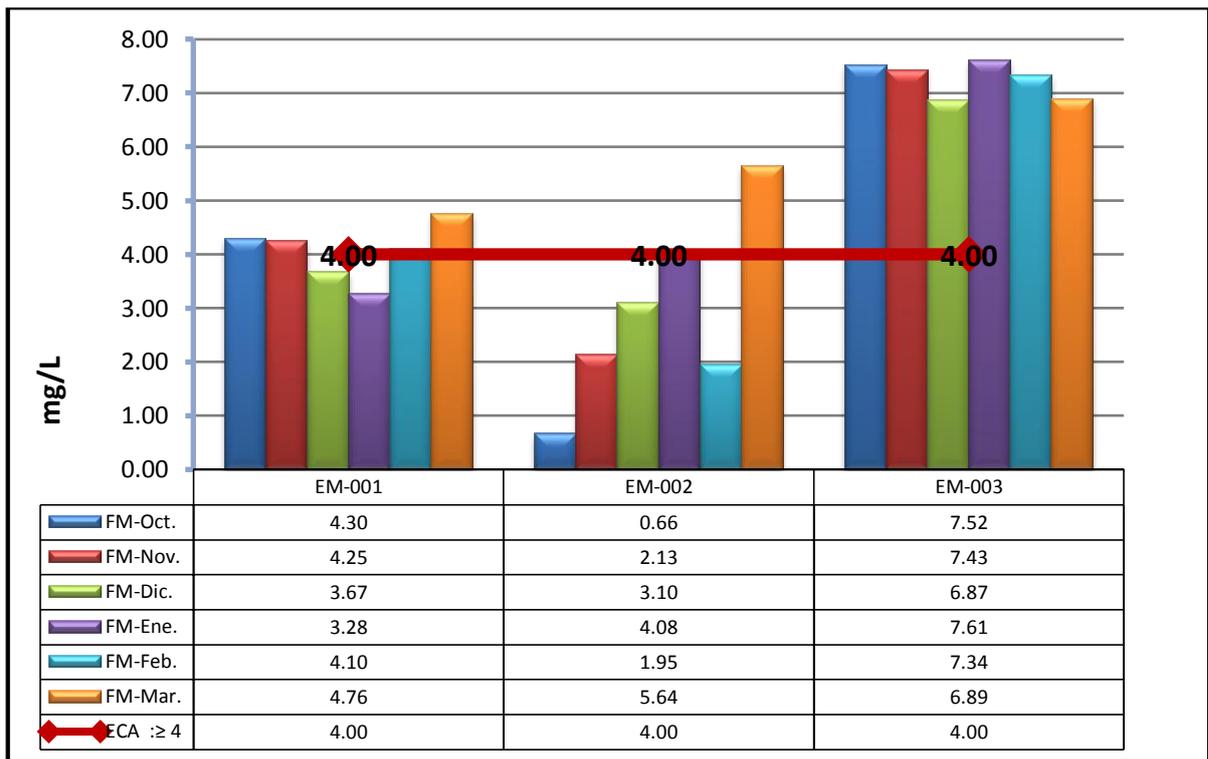


Fig. 12 Valores de OD en las estaciones de monitoreo.

El presente investigación surge por la necesidad de conocer el grado de contaminación por materia orgánica del Río Grande, a través de la concentración de OD, así como su capacidad de autodepuración o eliminación de la materia orgánica biodegradable, el cual está controlado por los niveles de OD (Mocoroa 2013). En Llanguat EM-003,

tenemos una concentración promedio de 7.28 mg/L, De acuerdo (ECA) Categoría 3 señala que el valor de OD para esta categoría tiene un valor mayor o igual a 4 mg/L, (Aguas que pueden ser utilizadas para riego de vegetales y bebida de animales), claro está que además de muchos otros factores pero ya es un indicador importante. Debemos destacar además que en Santa Rosa EM-001 encontramos valores inferiores al valor mínimo establecido por los (ECA) caso muy extraño por ser un agua de manantial, Fuentes (2002), menciona que la baja saturación de oxígeno se explica por ser agua que hace su recorrido de forma subterránea, al no está en contacto con factores fisicoquímicos, en consecuencia no tiene ganancia de Oxígeno Disuelto, en Pallac EM-002 los valores de este parámetro son inferiores salvo en el mes de enero y marzo que supera los 5 mg/L lo que está asociado al incremento del caudal (Rodríguez 1983) quien menciona que una de las fuentes de oxígeno en el agua son los procedentes de afluentes (quebradas, ojos de agua) que se adicionan al río principal; Mientras que los bajos valores de OD se aducen a la descarga de agua residual que recibe el río en este punto, por la gran demanda de OD, para estabilizar la alta carga orgánica (Romero 2004).

4.7.Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tabla 16. Valores de la DBO₅ de agua en las 3 estaciones de monitoreo.

Estación de monitoreo	Lugar	Coordenadas UTM	DBO ₅ (mg/L)						DBO ₅ Prom
			Frecuencia de monitoreo (meses 2015 - 2016)						
			Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	
EM-001	Santa Rosa	N:9238581 E:816479	6	2	6	6	6	6	5,33
EM-002	Pallac	N:9242351 E:815199	151	18,9	33.5	23,3	28.8	23,3	48,68
EM-003	Llanguat	N:9238604 E:816522	6	2	8,7	6	6.2	6	5,82

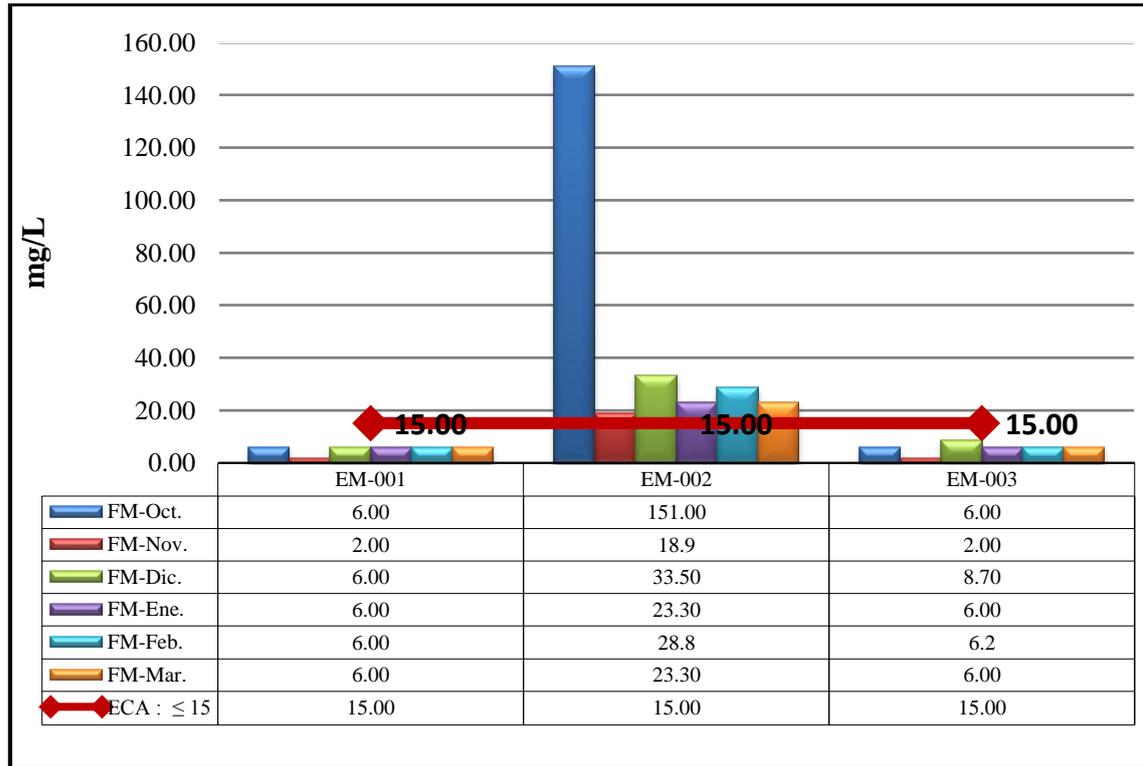


Fig. 13 Valores de DBO₅ en las estaciones de monitoreo.

La normativa nacional establecida en los ECA Categoría 3 (Aguas que pueden ser utilizadas para riego de vegetales y bebida de animales), Señala que los valores de la DBO₅ sean inferiores o iguales a 15 mg/L, la EM-001 y EM-003 presentan valores promedio de 5,33 mg/L y 5,82 mg/L respectivamente en consecuencia califica en esta categoría. Mientras que en la EM-002 presenta un valor promedio de 46.5 mg/L, concluyendo que no cumple con la mencionada normativa, en afinidad al tema (Cubillos 1970), indica que el aumento de la concentración de materia orgánica se debe a vertimientos de aguas residuales domésticas. (Domenech 1998), agrega que una DBO₅ grande requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica biodegradable contenida en el agua; en la EM-002 la concentración elevada de DBO₅ afecta la solubilidad del OD, consecuentemente se observa la disminución de su concentración con un valor promedio de 2,93 mg/L.

4.8. Relación DBO₅/OD Por Estación Monitoreo

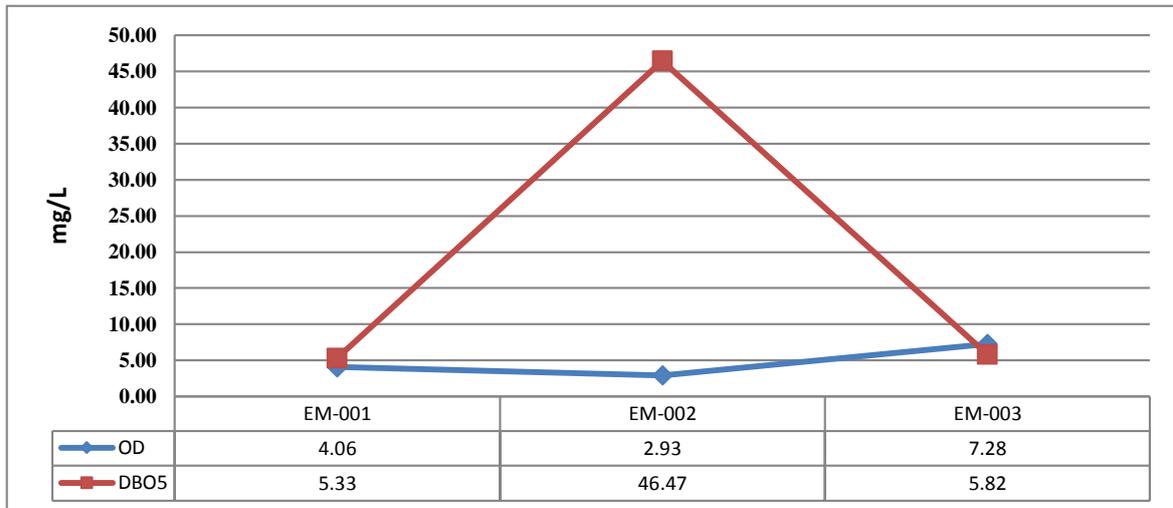


Fig. 14 Relación DBO₅/OD Por Estación de Monitoreo con Valores Promedio.

Para hacer la relación de la DBO₅/OD ver (Fig 14), podemos aseverar que en la EM-001, el promedio de OD es menor a la de la DBO₅ Fuentes (2002), esto se explica por la baja saturación de oxígeno por ser agua que hace su recorrido de forma subterránea, mientras que en la EM-003, el agua a recorrido luego de recibir la carga de agua residual, tiene una concentración mayor de OD comparado con la EM-001; En Pallac EM-002 al ser el lugar donde el río recibe la mayor carga contaminante, la concentración de DBO₅ aumenta y la de OD disminuye; de acuerdo a estos resultados y coincidiendo con Romero (1999), podemos afirmar que la relación DBO₅/OD es inversamente proporcional.

4.9. Porcentaje de Remoción de Materia Orgánica Biodegradable

Se trabajó los datos de DBO₅ obtenidos en Laboratorio de manera directa; el resultado obtenido es de 81.07%.

4.10. Aplicación de Modelos Matemáticos

La evaluación de los parámetros estudiados permiten dar un valor agregado a la investigación como es el de determinar o comprobar los resultados obtenidos en los modelos matemáticos con el de streeter y phelps y otros, así como obtener coeficientes y variables que permitieran conocer la dinámica del Río Grande en cualquier punto de



su recorrido; el resultado obtenido es de 77.01% de remoción de Materia Orgánica Biodegradable. Este resultado nos permite interpretar que la DBO_5 además de la temperatura, velocidad, tirante, longitud y el caudal, son factores determinantes en este modelo ya que el aumento o disminución de los mismos influye de manera directa en el resultado obtenido, en esta investigación; en cuanto a la constante de reoxigenación (K_2), se usó una fórmula diferente a la planteada por el modelo de Streeter y Phelps (1925), este autor usa una fórmula que solo tiene en cuenta un parámetro (temperatura), en cambio la que se utilizó en esta investigación, tomo en cuenta varios factores como (coeficiente de difusión molecular, velocidad media de flujo, tirante) dichos factores nos dieron un dato más objetivo del mismo, además también se tuvo en cuenta la presión atmosférica y la salinidad (cloruro), este último se obtuvo de laboratorio. El modelo también contempla la determinación del punto crítico, este se determina a través del tiempo crítico, la distancia crítica a la cual la cantidad de oxígeno está agotada en su totalidad, a partir de este punto el río inicia su autodepuración, en el Río Grande la distancia crítica es de 2.51 Km aguas abajo a partir de la EM-002 Ver (tabla 17)



Tabla 17. Aplicando el modelo de Streeter y Phelps mediante software Excel

	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	Columna 12	Columna 13	Columna 14
MES	estación	DBO ₅ (laboratorio)	OD (laboratorio)	cloruros o sales (laboratorio)	distancia (m)	velocidad (m/s)	velocidad media = V*0.85 (m/s)	temperatura (°C)	tirante o profundidad (m)	caudal (Q, m ³ /s)	tiempo de recorrido de flujo (t) días	K ₁ a 20 °C	K ₁ a T °C	K ₂ a 20 °C
OCTUBRE	EM-001	6	4.3	3.77	0	0.55	0.47	17	0.12	0.10				
	EM-002	151	0.66	36.11	4380	0.46	0.39	17.2	0.19	0.15	0.13	24.88	21.68	39.96
	EM-003	6	7.52	7.9	11370	0.48	0.41	18	0.08	0.08	0.32	10.00	8.79	50.22
NOVIEMBRE	EM-001	2	4.25	3.77	0	0.54	0.46	16	0.11	0.09				
	EM-002	18.9	2.13	36.11	4380	0.49	0.42	16.4	0.18	0.15	0.12	18.45	15.36	45.58
	EM-003	2	7.43	7.9	11370	0.48	0.41	17	0.08	0.07	0.32	6.96	5.90	53.14
DICIEMBRE	EM-001	6	3.67	3.77	0	0.54	0.46	16.9	0.11	0.08				
	EM-002	33.5	3.1	36.11	4380	0.47	0.40	17.3	0.18	0.14	0.13	13.55	11.75	44.64
	EM-003	8.7	6.87	7.9	11370	0.48	0.41	17.6	0.08	0.07	0.32	4.18	3.69	53.14
ENERO	EM-001	6	3.28	3.77	0	0.54	0.46	16.5	0.11	0.09				
	EM-002	23.3	4.08	36.11	4380	0.46	0.39	18	0.19	0.16	0.13	10.46	8.91	41.97
	EM-003	6	7.61	7.9	11370	0.82	0.70	18.2	0.18	0.25	0.19	7.19	6.56	40.91
FEBRERO	EM-001	6	4.1	3.77	0	0.53	0.45	17	0.11	0.09				
	EM-002	28.8	1.95	36.11	4380	0.47	0.40	17.5	0.18	0.14	0.13	12.36	10.77	44.64
	EM-003	6.2	7.34	7.9	11370	0.46	0.39	18	0.08	0.07	0.34	4.56	4.07	52.02
MARZO	EM-001	6	4.76	3.77	0	0.6	0.51	15	0.18	0.13				
	EM-002	23.3	5.64	36.11	4380	1.01	0.86	16	0.36	0.61	0.06	22.98	18.26	25.75
	EM-003	6	6.89	7.9	11370	1.52	1.29	20	0.26	0.79	0.10	13.32	11.08	25.68



Continuación de **tabla 17**

	Columna 15	Columna 16	Columna 17	Columna 18	Columna 19	Columna 20	Columna 21	Columna 22	Columna 23	Columna 24	Columna 25	Columna 26	Columna 27	Columna 28	Columna 29
MES	K2 a T °C	DBOu (L ₀)	OD saturado a presión normal 760 mm Hg	presión corregida por altitud (P)	concent. de saturación de oxígeno corregida (ODsc).	(ODsc) corregida por la concentr. de cloruros	déficit inicial de oxígeno (Do)	déficit de oxígeno para un tiempo (Dt)	OD final	DBO rem. (Lt)	DBO ₅ final _ calculado	Remoción de materia orgánica (%)	tiempo critico (tc) días	déficit critico de oxígeno (Dc) (mg/L)	distancia critica (Xc) (Km)
OCTUBRE		8.78	9.61	547.79	6.92	6.72	2.42								
	37.21	220.97	9.56	549.92	6.92	5.00	4.34	0.88	4.12	145.89	99.69				
	46.99	8.78	9.40	637.26	7.88	7.47	-0.05	2.98	4.49	12.96	8.86	94.14	0.036	1.192	1.512
NOVIEMBRE		2.93	9.82	547.79	7.07	6.87	2.62								
	41.45	27.66	9.73	549.92	7.04	5.07	2.94	0.28	4.79	18.97	12.96				
	48.79	2.93	9.61	637.26	8.05	7.63	0.20	0.57	7.07	4.12	2.82	85.10	0.043	0.275	1.785
DICIEMBRE		8.78	9.63	547.79	6.94	6.74	3.07								
	41.48	49.02	9.54	549.92	6.91	4.98	1.88	0.82	4.16	39.02	26.66				
	49.84	12.73	9.48	637.26	7.95	7.54	0.67	1.19	6.35	14.90	10.18	69.61	0.049	0.786	2.050
ENERO		8.78	9.71	547.79	7.00	6.80	3.52								
	38.63	34.10	9.40	549.92	6.80	4.93	0.85	0.87	4.05	27.87	19.05				
	39.02	8.78	9.36	637.26	7.85	7.44	-0.17	1.99	5.45	9.89	6.76	70.99	0.048	1.080	3.369
FEBRERO		8.78	9.61	547.79	6.92	6.72	2.62								
	41.57	42.14	9.50	549.92	6.88	5.00	3.05	0.81	4.19	34.44	23.53				
	49.03	9.07	9.40	637.26	7.88	7.47	0.13	0.97	6.50	10.72	7.32	74.57	0.051	0.612	2.030
MARZO		8.78	10.03	547.79	7.23	7.02	2.26								
	22.87	34.10	9.82	549.92	7.10	5.13	-0.51	23.18	-18.05	25.81	17.64				
	23.36	8.78	9.02	637.26	7.56	7.17	0.28	7.06	0.11	11.03	7.53	67.66	0.033	2.893	4.324
PROMEDIO												77.01	0.04	1.14	2.51

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La remoción de materia orgánica biodegradable en el Rio Grande de acuerdo a los valores obtenidos en las muestras laboratorio es del 81 % y aplicando del modelo de Streeter y Phelps es de 77 %, permitiendo cumplir con la hipótesis planteada del 70 %.

Las concentraciones promedio de DBO_5 en Santa Rosa EM-001, es de 5.33 mg/L, en Pallac EM-002 es de 46.47 mg/L y en Llanguat EM-003 es de 5.82 mg/L.

Las concentraciones promedio de OD en Santa Rosa EM-001, es de 4.06 mg/L, en Pallac EM-002 es de 2.93 mg/L y en Llanguat EM-003 es de 7.28 mg/L.

La temperatura mínima es de 15 °C en Santa Rosa EM-001, y la máxima 18.2 °C en Llanguat EM-003; la longitud del Rio Grande, desde la EM-001 hasta la EM-003 es de 15.75 Km; el caudal oscila entre 0.095 m³/s en la EM-001 y 0.222 m³/s en la EM-002; La profundidad fluctúa entre 0.12 m en la EM-001 y 0.21 m en la EM-002.



RECOMENDACIONES

Realizar un estudio durante los meses de estiaje, con la finalidad de tener una información más amplia que será de gran valor para la comunidad y el medio ambiente.

Realizar monitoreo de OD y DBO₅, a lo largo del Río Grande, principalmente en lugares cercanos a la distancia crítica calculada 2.51 Km aguas abajo, partiendo de Pallac EM-002.

Promover el uso de esta metodología en los demás Ríos de la Región, de preferencia los que son receptores de aguas residuales de las ciudades, para conocer el porcentaje de eliminación de materia orgánica biodegradable de los mismos.

LITERATURA CITADA

Araujo, D. 2011. Alternativas para el manejo de las aguas residuales en la parroquia la Puerta, municipio Valera, estado de Trujillo. (En línea). Consultado 23 abr. 2016. Disponible en: <http://www2.inecc.gov.mx/publicaciones/download/372.pdf>.

Benítez Rodas, GA. (2013). Análisis y modelización de la inactivación de escherichia coli en aguas residuales. . (En línea). Consultado 15 febrero. 2016. Disponible en: <http://mail.conacyt.gov.py/proniii/2955172.pdf>

Carpio Cordero, PM. 2014. Análisis in vitro de la capacidad de remoción de materia orgánica de aguas residuales procedentes de la matanza y faeamiento de ganado, mediante la utilización de quitosato. (En línea). Consultado 23 jun. 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=181221574007>. Pdf

Carson, M.A. y Lapointe, M.F. (1983) La asimetría inherente Del río Meandro forma en planta. El Journal of Geology vol. 91. (En línea). Consultado 28 abr.2016. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/8746/1/T30848bis.pdf>

Cubillos, JA. 1970. Lagunas de Estabilización, su eficiencia en la remoción de materia orgánica y microorganismos en las condiciones del trópico universidad del valle Cali. (En línea). Consultado 23 abr. 2016. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>

DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental, PE). 2007. Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales. (En línea). Consultado 23 abr. 2016. Disponible en: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/leygeneralambiente2.pdf>.

Espigares, M; Pérez, JA. 1985. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. (En línea). Consultado 27 abr. 2016. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Estándares de Calidad Ambiental de Agua. Grupo N°3 Riego de Vegetales y Bebida de Animales (en línea). Consultado 29 Abril 2016. Disponible en:



http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnico/grupo%20de%20uso%203.pdf

Fuentes, JL. 2002. Aguas Subterráneas. Consultado 16 may. 2016. Disponible en:

http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_01.pdf

Franquet, JM. 2005. Agua que no has de beber 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional. (En línea). Consultado 27 abr. 2016. Disponible en:

<http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/jmfb-h/1s.pdf>

García, G. 2002. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. (En línea). Consultado 23 abr. 2016. Disponible en:

<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.pdf>

Gil, M. 2003. Cálculos Avanzados De Procesos De Descontaminación De Aguas. (En línea). Consultado 29 abr. 2016. Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?isbn=8400081269.pdf>

Gil, M. (2005). Procesos de descontaminación de aguas. Cálculos Informáticos Avanzados. España. Thomson Editores. (En línea). Consultado 29 abr. 2016. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/7255/1/1080259443.pdf>

Goyenola, G. 2007. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. (En línea). Consultado 23 abr. 2016. Disponible en:

<http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/.pdf>.

Hernández, A. 1992. Depuración de Aguas Residuales. Madrid. (En línea). Consultado 29 may. 2016. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

Hernández, J; Montaner, D. 2008. Manual ArcGis9.2. Tutorial. (En línea). Consultado 30 may. 2016. Disponible en:

http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Libro-_Tutorial_de_ArcGis_9.2.pdf

Ibañez Asencio, S. s.f. La pendiente del terreno. Método topográfico. . (En línea). Consultado 23 jun. 2015. Disponible en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La%20pendiente%2del%20terreno.pdf>



Janiot, LJ; Molina, DA. 2009. Características Físicoquímicas del Río Uruguay en su Curso Inferior. (En línea). Consultado 23 jun. 2015. Disponible en:

http://www.caru.org.uywebsub_calidad_aguastercer_seminario_calidad_aguas_02.pdf.

Mancheno, M. Componentes y variables físicas, químicas y biológicas que tienen las aguas residuales. 2014. (en línea). Consultado el 23 abr. 2016. Disponible en:

<http://www.azc.uam.mx/cbi/quimica/microbiologia/>. Pdf.

Marín, JP; Correa, JC. 2010. Evaluación De La Remoción De Contaminantes En Aguas Residuales En Humedales Artificiales. Editorial. Tesis Tít. Pereira Colombia, Universidad Tecnológica De Pereira. 100 p. (En línea). Consultado el 5 mar. 2016.

Disponible en:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>

Marín, R. 2012. Procesos físicoquímicos de depuración de aguas: teoría, práctica y problemas resueltos (1ª edición). (En línea). Consultado 27 abr. 2016. Disponible en:

<http://www.aguasresiduales.info/revista/libros/procesos-fisicoquimicos-en-depuracion-de-aguas-teoria-practica-y-problemas-resueltos>

Méndez Melgarejo, FV. Propuestas de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en situación de agua limpia para áreas verdes. 2010. (En línea). Consultado el 22 abr. 2016. Disponible en:

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/372.pdf>.

MINAG (ministerio de agricultura, PE) 2011. Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338. (En línea). Consultado el 27 abr. 2016. Disponible en:

<http://www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf>.

MINAM (ministerio del ambiente, PE). 2005. Ley General del Ambiente. Ley N° 28611. (En línea). Consultado el 30 abr. 2016. Disponible en:

<http://www.minam.gob.pe.pdf>.

MINAG (Ministerio de Agricultura, PE); ANA (Autoridad nacional del Agua, PE). 2011. Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos del ANA – DGRH. (En línea). Consultado 23 abr. 2016. Disponible en:

<http://www.gwp.org/global/gwp-sam.../2011-protocolo-anaperu.pdf>.

Mitchell, M; Stapp, W; Bixby, K. 1991. Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. Segunda edición. Proyecto del Río. New Mexico, USA. 200p. (En línea). Consultado 27 may. 2016. Disponible en: http://www.espe.edu.ec/portal/file/E-RevSerZoologicaNo2/.../GiamettiyBersosa_33.pdf

Monte Rojas, RT. 2013. Metodología para evaluar la modificación de la capacidad de autodepuración de los ríos. (En línea). Consultado 23 may. 2016. Disponible en: <http://www.bvsde.Paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01020e21.pdf>.

Mocoroa, F. 2013. La auto-depuración del rio Urumea. Capacidad de autodepuración de los ríos. (En línea). Consultado 23 jun. 2016. Disponible en: <http://www.132.248.9.195/ptd2013/agosto/0700391/0700391.pdf>.

Morales Haro, EA. 2013. Estudio experimental y modelización de los parámetros biocinéticos en la evaluación de un reactor de lodos activos de una planta de tratamiento alimentaria. (En línea). Consultado 25 jul. 2016. Disponible en: <http://www.geocities.com/ialarab.pdf>.

Morcillo, J. (1989). Temas básicos de química (2ª edición). Alhambra Universidad. (En línea). Consultado el 25 abr. 2016. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_conservaci%C3%B3n_de_la_materia.

MPC (Municipalidad Provincial de Celendín, PE). SEMACEL (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, PE). 2015. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Celendín. Ed. corr. Celendín, PE. s.n.t. 60 p.

MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, PE). 2007. Normas de Saneamiento. Norma OS 090. (En línea). Consultado el 20 may. 2015. Disponible en: http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf.

Ortega JC. 2015. Reúso de aguas domesticas en el municipio de san juan del cesar, la Guajira (En línea). Consultado 15 jun. 2016. Disponible en: <http://es.slideshare.net/Jortegadaza/ortega-juan-carlos-aporte-individual-48699049.pdf>



Ortega, LP. (2014). La hidrosfera. Contaminación. (En línea). Consultado el 5 mar. 2016. Disponible en:

http://roble.pntic.mec.es/lorg0006/dept_biologia/archivos_texto/ctma_t5_hidrosfera_contaminacion.pdf

Perales Valdivia, NI. 2008. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Grande de la provincia de Celendín. Tesis Tít. Celendín Perú, Universidad Nacional De Cajamarca. 230 p.

Ramallo, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales y Calidad de las Aguas. Editorial Reverté, S.A. Segunda Edición. España. Pág. 697.

Ramírez, CA. 2005. Manual de procedimientos hidrométricos. (En línea). Consultado 24 abr. 2016. Disponible en: http://www.sensorvital.com/archivos/menu_4/17.pdf

Ramirez Camperos. ME. 2010. implementación de un sistema para la remoción de materia orgánica y nutriente en aguas residuales municipales. (En línea). Consultado 24 mar. 2016. Disponible en:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>

Remenieras, G. 2000. Tratado de hidrología aplicada. Barcelona. Editores Técnicos Asociados, S.A. (Eta). (En línea). Consultado 18 may. 2016. Disponible en:

<https://digitum.um.es/jspui/bitstream/10201/.../1/03%20El%20balance%2039-53.pdf>

Rivas, V; Chuquilin, E. 2012. Evaluación de los niveles de contaminación de aguas residuales en la quebrada Funas-I, con fines de tratamiento con humedales. Rev. Investigación y Amazonía. 85-94 p. (En línea). Consultado 25 jun. 2015. Disponible en: http://www.unas.edu.pe/revistas/index.php/revia/article/download/12/pdf_9

Rivera Méndez, JL. 2008. Determinación de los Índices de Calidad y Coeficientes Cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los de San Marcos y Quetzaltenango. (En línea). Consultado 19 may. 2015. Disponible en http://sitios.ingenieria.usac.edu.gt/eris/tesis_eris/is/is_0260.pdf.



Rosenkranz, F. 2013. Estudio Del Comportamiento De Reactores Anaerobios de tipo ASBR Frente A Compuestos De Difícil Degradación Y/O Efectores Negativos. Chile. (En línea). Consultado 10 may. 2016. Disponible en:

http://www.usc.es/biogrup/sites/default/files/Tesis_doctoral_F.Rosenkranz.pdf

Rosgen, D. 1994. "Morfología Aplicada río". Forestales Hidrología. Colorado. (En línea). Consultado 25 abr.2016. Disponible en:

<https://www..uab.cat/pub/limnetica/02138409v25n3/02138409v25n3p693.pd>

Rodríguez Hurtado, ME. 1983. Estudio de un modelo de autodepuración natural para la cuenca del río Ebro. (En línea). Consultado 24 mar.2016. Disponible en:

http://oa.upm.es/3077/1/maria_encarnacion_rodriguez_hurtado.pdf

Romero Rojas, JA. 1999. Calidad Del Agua. 2 ed. México. Editorial ALFOMEGA. 276 p.

Romero Rojas, JA. 2004. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia. Editorial Colombiana de Ingeniería. 1248 p.

Romero Rojas, JA. 2009. Calidad Del Agua. 3 ed. Colombia. Editorial Colombiana de Ingeniería. 484 p.

Rueda Valdivia, FJ. (2003). Autodepuración y vertidos en cursos fluviales. Ejemplo de aplicación del modelo de streeter y phelps. (En línea). Consultado 15 may. 2016. Disponible en: http://www.ugr.es/~iagua/LICOM_archivos/Tema_AD2DOC.pdf

Russell, DL. (2006). Tratamiento de aguas residuales. Un enfoque práctico. 1 ed. Estados unidos. Editorial Reverté. 273p.

Sánchez San Román, J. (2011). Cálculo aproximado de la altura de inundación. (En línea). Consultado 18 feb. 2016. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es>

Sarochar, H. (2009) Introducción a la Meteorología General. Variación de la Temperatura (en línea). Consultado 27 abr.2016. Disponible en:

http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion_a_la_Meteorologia_I.pdf

Sawyer, CN. 1978. Química para la Ingeniería Ambiental (3^a ed), McGraw Hill Book Company, Nueva York. En línea). Consultado 24 abr.2016. Disponible en:
https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns_software/DO_Spanish.pdf

SENAMHI (Servicio nacional de meteorología e hidrología, PE).2011. Estimación del caudal por el método de flotadores. (En línea). Consultado el 6 marzo.2016. Disponible en: http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/aforo_x_flotadores.pdf

Suarez, J. 2008. Calidad de Agua en Ríos: Autodepuración. (En línea). Consultado 24 abr.2016. Disponible en: http://oa.upm.es/30837/1/PFC_Fernando_Blanco_Santos.pdf

Tchobanoglous. G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. 1 ed. Bogotá Colombia. Editorial EMMARIZAH. 776 P.

Tebbutt, T. H. 1997. Principles of Water Quality Control. 2nd Ed. Oxford Inglaterra. (En línea). Consultado 25 abr.2015. Disponible en:
http://www.samples.sainsburysebooks.co.uk/9781483285979_sample_924737.pdf

Torrez, A. 2013. Evaluar La Calidad Del Agua Del Río Pesquería, Desde El Municipio De García Hasta Pesquería, Nuevo León, México. (En línea). Consultado 29 abr.2016. Disponible en: <http://www.uanl.mx/sites/default/files/PdeC..pdf>

Valdez, EC; Vázquez, AB. 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Editorial Nápoles. Primera Edición. Mexico. Pag. 341.

Vernier, P. 1911. Enciclopedia Británica 27 (11^a ed.). Prensa de la Universidad de Cambridge. (En línea). Consultado 29 abr. 2016. Disponible en:
http://www.vernier.com/files/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf

Villalobos Castillejos, F. 2009. Disminución de la materia orgánica biodegradable presente en vinazas mezcaleras mediante digestión anaerobia. (En línea). Consultado 28 abr.2016. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.pdf>.



ANEXOS

**Anexo 1:** Precipitaciones mensuales del distrito de Celendín

Estación: CELENDIN, Tipo Convencional - Meteorológica		
Departamento: CAJAMARCA Provincia: CELENDIN Distrito: CELENDIN		
Latitud: 6° 51' 42" Longitud: 78° 8' 42" Altitud: 2470		
PRECIPITACIONES MENSUALES		
AÑO	MES	PRECIPITACION (mm)
2015	OCTUBRE	35,7000
	NOVIEMBRE	96,9000
	DICIEMBRE	32,3000
2016	ENERO	99,9000
	FEBRERO	169,800
	MARZO	130,8

Anexo 2: Resultados de Cloruros por cada Estación de Monitoreo



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0516171

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	Muestra 001	Muestra 002	Muestra 003	-	-	-
Código Laboratorio	0516171-01	0516171-02	0516171-03	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción	Superficial	Superficial	Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra	Santa Rosa	Pallac	Llanguat	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.050	3.773	36.11	7.903	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Nitrito, Sulfato, Fosfato)	mg/L	EPA 300.1. Rev1. 1997. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography.

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
 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 Mayo 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 ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU

Anexo 3: Resultados de DBO₅ y OD del mes de Octubre



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE0915159

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS				
Código Cliente			001	002	003	-	-
Código Laboratorio			0915159-01	0915159-02	0915159-03	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción			Superficial: Río	Superficial: Río	Superficial: Río	-	-
Localización de la Muestra			Santa Rosa	Pallac	Llanguat	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.5	4.30	0.66	7.52	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	6.0	<LCM	151	<LCM	-	-

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LABORATORIO						
Ensayo	Unidad	LDM	LCM	%RPD	%BFL	
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	0.5	0.6	98	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	6.0	5.8	90	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
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

Se reporta la incertidumbre relativa expandida (U), la cual tiene que ser multiplicada por cada resultado reportado.
 BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental
 Los resultados Químicos <LCM, significa que la concentración son muy bajas, en algunos casos puede ser cero.
 NA: No aplica ND: No determinado LDM: Límite Detección del Método, LCM: Límite de Cuantificación del 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, 01 de Octubre de 2015.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 3 de 3

Anexo 4: Resultados de DBO₅ y OD del mes de Noviembre



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE1015214

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS				
Código Cliente			001	002	003	-	-
Código Laboratorio			1015214-01	1015214-02	1015214-03	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción			Superficial: Río	Superficial: Río	Superficial: Río	-	-
Localización de la Muestra			Santa Rosa	Pallac	Llanguat	-	-
Parámetro	Unidad	LDM	Resultados				
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	4.25	2.13	7.43	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	<LDM	18.9	<LDM	-	-

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LABORATORIO						
Ensayo	Unidad	LDM	LCM	%RPD	%BFL	
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	0.5	2.2	98	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	6.0	2.9	90	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved), Azide Modification.
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 estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental
 Los resultados Químicos <LCM, significa que la concentración son muy bajas, en algunos casos puede ser cero.
 NA: No aplica ND: No determinado LDM: Límite Detección del Método, LCM: Límite de Cuantificación del 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, 03 de Noviembre de 2015.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 3 de 3



Anexo 5: Resultados de DBO₅ y OD del mes de Diciembre



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE1115268

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS			
Código Cliente	001		002	003	-	-
Código Laboratorio	1115268-01		1115268-02	1115268-03	-	-
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción	Superficial: Río		Superficial: Río	Superficial: Río	-	-
Localización de la Muestra	Santa Rosa		Pallac	Llanguat	-	-
Parámetro	Unidad	LDM	Resultados			
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	3.67	3.10	6.87	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	<LCM	33.5	8.7	-

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LABORATORIO						
Ensayo	Unidad	LDM	LCM	%RPD	%BFL	
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	0.5	0.8	98	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	6.0	2.9	90	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
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 estándar relativa
 LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental
 Los resultados Químicos <LCM, significa que la concentración son muy bajas, en algunos casos puede ser cero.
 NA: No aplica ND: No determinado LDM: Límite Detección del Método, LCM: Límite de Cuantificación del 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, 03 de Diciembre de 2015.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04
Página: 3 de 3

Anexo 6: Resultados de DBO₅ y OD del mes de Enero



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE1215295

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente			001	002	003	-
Código Laboratorio			1215295-01	1215295-02	1215295-03	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-
Descripción			Superficial: Río	Superficial: Río	Superficial: Río	-
Localización de la Muestra			Santa Rosa	Pallac	Llanguat	-
Parámetro	Unidad	LDM	Resultados			
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	3.28	4.08	7.61	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	<LCM	23.3	<LCM	-

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LABORATORIO						
Ensayo	Unidad	LDM	LCM	%RPD	%BFL	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	0.5	2.5	99	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	6.0	16.7	93	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved), Azide Modification.
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 estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental
 Los resultados Químicos <LCM, significa que la concentración son muy bajas, en algunos casos puede ser cero.
 NA: No aplica ND: No determinado LDM: Límite Detección del Método, LCM: Límite de Cuantificación del 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, 06 de Enero de 2016.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04 Página: 3 de 3



Anexo 7: Resultados de DBO₅ y OD del mes de Febrero



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE0116030

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS				
Código Cliente			001	002	003	-	-
Código Laboratorio			0116030-01	0116030-02	0116030-03	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción			Superficial: Río	Superficial: Río	Superficial: Río	-	-
Localización de la Muestra			Santa Rosa	Pallac	Llanguat	-	-
Parámetro	Unidad	LDM	Resultados				
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	4.10	1.95	7.34	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	<LCM	36.6	<LCM	-	-

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LABORATORIO						
Ensayo	Unidad	LDM	LCM	%RPD	%BFL	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	0.5	3.2	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	6.0	5.1	96	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O, C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
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 estándar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental
 Los resultados Químicos <LCM, significa que la concentración son muy bajas, en algunos casos puede ser cero.
 NA: No aplica ND: No determinado LDM: Limite Detección del Método, LCM: Limite de Cuantificación del 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, 03 de Febrero de 2016.

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

Página: 3 de 3



Anexo 8: Resultados de DBO₅ y OD del mes de Marzo



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE0216079

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS				
Código Cliente			001	002	003	-	-
Código Laboratorio			0216079-01	0216079-02	0216079-03	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-
Descripción			Superficial: Río	Superficial: Río	Superficial: Río	-	-
Localización de la Muestra			Santa Rosa	Pallac	Llanguat	-	-
Parámetro	Unidad	LDM	Resultados				
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	4.76	5.64	6.89	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	<LCM	28.8	6.2	-	-

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LABORATORIO					
Ensayo	Unidad	LDM	LCM	%RPD	%BFL
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	0.2	0.5	3.8	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.0	6.0	3.0	91

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ / L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O, C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
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
 Los resultados Químicos <LCM, significa que la concentración son muy bajas, en algunos casos puede ser cero.
 NA: No aplica ND: No determinado LDM: Limite Detección del Método, LCM: Limite de Cuantificación del 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, 08 de Marzo de 2016.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04 Página: 3 de 3

Anexo 9: Toma de muestra para OD EM-002



Anexo 10: Agregando reactantes a muestras de OD



Anexo 11: Embalado de muestras para envío a laboratorio



Anexo 12: Medición de la velocidad superficial EM-003



Anexo 13: Monitoreo en época de lluvia EM-002



GLOSARIO

MO:	Materia orgánica
DBO₅:	Demanda bioquímica de oxígeno
DBO_{uc}:	Demanda bioquímica de oxígeno ultima carbonacea
DQO:	Demanda química de oxígeno
OD:	Oxígeno disuelto
EM:	Estación de Monitoreo
MVSC:	Ministerio De Vivienda Construcción y Saneamiento
COHNS:	Termino usado para representar a los desechos orgánicos
C₅H₇NO₂:	Termino usado para representar al tejido celular
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
MINAG:	Ministerio de Agricultura y Riego

Biodegradabilidad: Es la facultad de algunos productos o sustancias de descomponerse en elementos químicos naturales en un período de tiempo relativamente corto y por acción de organismos vivos (bacterias, microorganismos, hongos, gusanos, ect)

Demanda bentónica de oxígeno: Medida de la cantidad de oxígeno consumido por los organismos que viven sobre el lecho marino (bentos) o sobre objetos que están en el proceso de degradación de la materia orgánica asimilable por ellos en el agua.

Organismos bentónicos: En ecología se llama bentos, "fondo marino" a la comunidad formada por los organismos que habitan el fondo de los ecosistemas acuáticos. El bentos se distingue del plancton y del necton, formados por organismos que habitan en la columna de agua

Las aguas anóxicas: Son zonas de agua marina, dulce o subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado. Esta condición se encuentra generalmente en las áreas con un limitado intercambio de agua y con procesos de eutrofización en progreso. En la mayoría de los casos, el oxígeno no puede llegar a los niveles más profundos por una barrera física (por ejemplo, el barro)



Biota: En su uso más habitual, mediante este término se designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada. Se dice, por ejemplo, **biota** europea para referirse a la lista de especies que habitan en ese territorio