



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

AUTOR:

Bach. Gerson Díaz Sánchez

ASESOR:

Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6052217

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



“Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017”

**Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

Bach. Gerson Díaz Sánchez

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 18 de junio del 2018.

.....
Lic. Dr. Fabián CENTURIÓN TAPIA
Presidente

.....
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita VALVERDE VERA
Secretario

.....
Lic. M.Sc. Ronald JULCA URQUIZA
Miembro

.....
Ing. M.Sc. Yrwin Francisco AZABACHE LIZA
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Gerson Díaz Sánchez, identificado con DNI N°47695388, bachiller de la Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017.**

Declaro bajo juramento que:

5. La tesis presentada es de mi autoría.
6. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
7. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 18 de junio del 2018.



Gerson Díaz Sánchez

DNI N° 47695388



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: DIAZ SÁNCHEZ GERSON	
Código de alumno : 125708	Teléfono: 981829795
Correo electrónico : gdiazsanchez17@gmail.com	DNI: 47695388

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: ECOLOGÍA
Escuela Profesional de: INGENIERIA SANITARIA

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel - San Martín, 2017.
Año de publicación: 2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

26, 09, 2018



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

La concepción de esta investigación está dedicada a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos jamás hubiese podido llegar hasta donde estoy ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general. También va dedicado a mis hermanos y amigos, por el apoyo incondicional en la ejecución de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación es el resultado del esfuerzo conjunto de familiares y amigos quienes colaboraron incondicionalmente. Por esto agradezco a mis queridos padres, familiares, y a los docentes de la UNSM FECOL quienes de una u otra manera nos impartieron sus conocimientos, en particular a mi asesor el Ing. Ms.C. YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA, y en general a todos aquellos sin cuya colaboración hubiese sido imposible terminar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
 INTRODUCCIÓN	 1
 CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	 5
1.1. Antecedentes de la investigación	5
1.2. Bases teóricas.....	9
1.2.1. Calidad del agua	9
1.2.2. Proceso de autodepuración de ríos	12
1.2.3. Análisis de oxígeno en un cuerpo de agua.	14
1.2.4. Modelo de mezcla o balance de masas.....	20
1.2.5. Hidrología (caudal, velocidad, área del espejo de agua).....	26
1.2.6. Índice de calidad de agua (ICA-PE).....	28
1.2.7. Descripción del área de estudio.....	31
1.3. Definición de términos básicos	32
 CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	 34
2.1. Materiales.....	34
2.2. Métodos.....	34
2.2.1. Tipo y nivel de investigación	34
2.2.2. Diseño de Investigación	35
2.2.3. Población y muestra	35
2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	40
 CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	 41
3.1. Resultados	41
3.1.1. Características físicas, química biológica e hidrológicas río Naranjos.	41

3.1.2. Calidad del agua del río Naranjos, mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración.....	49
3.1.3. Resultados de los índices de calidad de las aguas (ICA)	62
3.1.4. Análisis de los resultados de investigación.	65
3.2. Discusiones	69
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Factores que intervienen en el balance de oxígeno.	15
Tabla 2 <i>Valores típicos de (k_2) en cuerpos de agua.</i>	24
Tabla 3 <i>Escala de clasificación de calidad del agua.</i>	26
Tabla 4 <i>Concentración de OD y consecuencias ecosistémicas frecuentes.</i>	26
Tabla 5 <i>Interpretación de la Calificación ICA- PE.</i>	30
Tabla 6 <i>Métodos de ensayo.</i>	36
Tabla 7 Caudal del río Naranjos en (m^3/s).....	41
Tabla 8 Velocidad del río Naranjos (m/s).....	42
Tabla 9 Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 001.....	43
Tabla 10 Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 001.	44
Tabla 11 Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 002.....	44
Tabla 12 Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 002.	45
Tabla 13 Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 003.....	45
Tabla 14 Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 003.	46
Tabla 15 Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 001.....	46
Tabla 16 Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 001.	47
Tabla 17 Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 002.....	47
Tabla 18 Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 002.	48
Tabla 19 Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 003.....	48
Tabla 20 Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 003.	49
Tabla 21 Datos Tramo I y II, río Naranjos, mes de setiembre.....	49
Tabla 22 Cálculo en el tramo I y II por modelo de Streeter y Phelps.	50
Tabla 23 Tramo I y Tramo II del río Naranjos, mes de diciembre.....	51
Tabla 24 Cálculo en el tramo I y Tramo II, mes de diciembre.	51
Tabla 25 Variación de la DBO_5	52
Tabla 26 Variación de la OD.	53
Tabla 27 Características del río aguas arriba del punto de vertido.....	55
Tabla 28 Características del agua residual.....	55
Tabla 29 Resultado del modelo de balance de masas.....	56
Tabla 30 Características del río aguas arriba del punto de vertido.....	56
Tabla 31 Características del agua residual.....	57

Tabla 32 Resultado del modelo de balance de masas.....	57
Tabla 33 Variación de la DBO ₅ , por estación y mes de monitoreo.....	58
Tabla 34 Variación de la OD, por estación y mes de monitoreo.....	59
Tabla 35 Variación de la Temperatura, por estación de monitoreo.....	61
Tabla 36 Índice de calidad del agua ICA (septiembre).	62
Tabla 37 Suma de excedentes, mes de setiembre.....	63
Tabla 38 Índice de calidad del agua ICA (diciembre).	64
Tabla 39 Suma de excedentes, mes de diciembre.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Concentración de oxígeno en aguas de ríos.	18
Figura 2. Hipótesis de mezcla completa en un punto.	20
Figura 3. Caudal del río Naranjos.....	41
Figura 4. Variación de la velocidad del río Naranjos.	42
Figura 5. Variación de la DBO ₅ (mg/L) en condiciones normales.....	53
Figura 6. Variación de OD (mg/L) en condiciones normales.....	54
Figura 7. Variación de la DBO ₅ , por estación y mes de monitoreo.....	59
Figura 8. Variación de la OD, por estación y mes de monitoreo.....	60
Figura 9. Variación de la Temperatura, por estación de monitoreo.	61

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad determinar la calidad del agua del río Naranjos, mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración, en el cual se determinaron parámetros físicos, químicos y biológicos como: Oxígeno disuelto, Coliformes Fecales, pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Temperatura, Fosfatos, Nitratos, Turbiedad, Solidos Totales disueltos, para lo cual se estableció tres estaciones de monitoreo, en los que se monitoreó también las características hidrológicas de la fuente en estudio. Al relacionar los parámetros de calidad del agua y las características hidrológicas del río Naranjos se calculó las constantes cinéticas, la tasa de desoxigenación, para el tramo I es ($K_1 = 0.37 \text{ día}^{-1}$), tramo II ($K_1 = 0.38 \text{ día}^{-1}$). En el mes de setiembre. Además, la reoxigenación en el tramo I ($K_2 = 0.598 \text{ día}^{-1}$), tramo II ($K_2 = 0.61 \text{ día}^{-1}$). Para el mes de diciembre, para el tramo I ($K_1 = 0.31 \text{ día}^{-1}$), tramo II ($K_1 = 0.32 \text{ día}^{-1}$), Para el tramo I ($K_2 = 0.598 \text{ día}^{-1}$). Tramo II ($K_2 = 0.55 \text{ día}^{-1}$). Un segundo para el análisis de balance de masas en la primera medición del mes de setiembre, para la estación 001 ($K_1 = 0.382 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.61 \text{ día}^{-1}$), para la estación 002 ($K_1 = 0.38 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.62 \text{ día}^{-1}$), para la estación 003 ($K_1 = 0.40 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.613 \text{ día}^{-1}$). En la segunda medición del mes de diciembre, para la estación 001 ($K_1 = 0.32 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.60 \text{ día}^{-1}$), estación 002 ($K_1 = 0.316 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.612 \text{ día}^{-1}$), estación 003 ($K_1 = 0.32 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.608 \text{ día}^{-1}$). De estos resultados se concluye que la calidad del agua del río Naranjos, determinada mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración, en las estaciones 001 y 002, (centro poblado de San Agustín y El Diamante), como también para los tramos I y II (San Agustín – El Diamante y El Diamante - Naranjos) en los meses de Septiembre y diciembre; presentando oxígeno crítico con valores positivos, sin embargo en la estación 003 (localidad de Naranjos) para los dos meses de monitoreo presenta valores de oxígeno crítico con valores negativos, por lo que se concluye que en la estación 003 presenta contaminación orgánica, el proceso de autodepuración no logra recuperar la calidad del agua del río Naranjos después de la descarga de agua residual de dicha localidad.

Palabra clave: Río, Calidad del agua, coeficiente cinético.

BSTRACT

The purpose of this work was to determine the water quality of the Naranjos River, by means of kinetic coefficients of self-purification, in which physical, chemical and biological parameters were determined such as: dissolved oxygen, fecal coliforms, pH, biochemical oxygen demand (BOD₅), temperature, phosphates, nitrates, turbidity, total dissolved Solids, for which three monitoring Stations were established, in which the hydrological characteristics of the source were also monitored. By relating the water quality parameters and the hydrological characteristics, the kinetic constants were calculated, The deoxygenation rate, for section I is ($K_1 = 0.37 \text{ day}^{-1}$), section II ($K_1 = 0.38 \text{ day}^{-1}$) . In the month of September. In addition, reoxygenation in section I ($K_2 = 0.598 \text{ day}^{-1}$), section II ($K_2 = 0.61 \text{ day}^{-1}$). For the month of December, for section I ($K_1 = 0.31 \text{ day}^{-1}$), section II ($K_1 = 0.32 \text{ day}^{-1}$), for section I ($K_2 = 0.598 \text{ day}^{-1}$). Section II ($K_2 = 0.55 \text{ day}^{-1}$). One second for the mass balance analysis in the first measurement of the month of September, for station 001 ($K_1 = 0.382 \text{ day}^{-1}$) and ($K_2 = 0.61 \text{ day}^{-1}$), for station 002 ($K_1 = 0.38 \text{ day}^{-1}$) and ($K_2 = 0.62 \text{ day}^{-1}$), for station 003 ($K_1 = 0.40 \text{ day}^{-1}$) and ($K_2 = 0.613 \text{ day}^{-1}$). In the second measurement of the month of December, for station 001 ($K_1 = 0.32 \text{ day}^{-1}$) and ($K_2 = 0.60 \text{ day}^{-1}$), station 002 ($K_1 = 0.316 \text{ day}^{-1}$) and ($K_2 = 0.612 \text{ day}^{-1}$), station 003 ($K_1 = 0.32 \text{ day}^{-1}$) and ($K_2 = 0.608 \text{ day}^{-1}$). From these results it is concluded that the water quality of the Naranjos River, determined by said means, in Stations 001 and 002 (the towns of San Agustín and El Diamante), as well as for Sections I and II (San Agustín - El Diamante and El Diamante - Naranjos) in the months of September and December; shows critical oxygen with positive values. However in Station 003 (the town of Naranjos) two months of monitoring shows critical oxygen negative values. Thus, it is concluded that there is organic contamination, present in Station 003, and the self-purification process fail to restore the water quality of the Naranjos River after the discharge of wastewater from that locality.

Keyword: River, water quality, kinetic coefficient.



INTRODUCCIÓN

Hoy en día el abastecimiento de agua potable para las diversas actividades humanas, ha generado un problema, puesto que cada vez va siendo más difícil conseguir fuentes de agua segura. Que permitan el desarrollo sustentable de las ciudades y principalmente de las comunidades campesinas. Peor aún, en lugares donde existen fuentes de agua, la misma no es de buena calidad debido a la descarga de contaminantes como producto de la minería, agricultura, la urbanidad y de la falta de conciencia de preservar un recurso tan invaluable.

Casi todos los ríos del país cercanos a las zonas urbanas tienen altos niveles de coliformes, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno y fósforo. Si bien los estudios realizados son escasos y de manera especial en la región San Martín, estos confirman la utilización de pesticidas en la agricultura, en los suelos de aportación de agua potable a las ciudades, incluso sobre cotas de terrenos no aptos para uso agrícola, por lo que en diferentes lugares del país organizaciones gubernamentales y no gubernamentales se han preocupado por establecer planes y programas orientados al conocimiento e inventario de los recursos hídricos disponibles, así como para evaluar las características, usos y potenciales de los mismos.

En los últimos años, el distrito de Pardo Miguel ha presenciado una expansión territorial y un desarrollo de comercio caracterizado por la incontrolada producción de residuos y su acumulación en áreas donde se desarrollan todo tipo de actividades humanas especialmente en su capital Naranjos. Cabe mencionar, que debido a su ubicación geográfica Naranjos se ha convertido en una ciudad primordial para la conectividad terrestre entre los distintos centros poblados, siendo también la entrada principal al departamento de San Martín.

En la actualidad la municipalidad distrital de Pardo Miguel - Naranjos brinda los servicios de agua potable y alcantarillado, además existe una Junta administradora de servicios de agua y saneamiento - JASS que brinda los servicios de agua y saneamiento en el sector de Barrios Altos; en la actualidad, en Naranjos hay 1120 conexiones de agua potable instaladas que significan el 74.76% de cobertura (961 domésticas, 153 comerciales y 6 estatales). La continuidad del servicio es de 20.6 horas diarias durante los 7 días de la semana. (Municipalidad distrital de Pardo Miguel, 2016).

En la parte alta de la cuenca del río Naranjos recibe las aguas residuales de las poblaciones del centro poblado (San Agustín y El Diamante en la cabecera) y de la localidad de (Naranjos en la parte media), constituyéndose en un problema de tipo ambiental. Esto viene generando la reducción de la capacidad de autodepuración del río Naranjos debido a que por años se ha convertido en un receptor de desechos domésticos, comerciales y en algunos casos industriales, cuyos efectos se ven reflejados en la pérdida de la biodiversidad y disminución de sus características geométricas e hidrodinámicas. El río Naranjos es la fuente principal de abastecimiento de agua para consumo humano de la localidad de Naranjos, y esto viene generando problemas de salud porque el agua que consumen es agua entubada la cual presenta bacterias 16×10^{10} UFC/ml, coliformes totales, coliformes termotolerantes y Escherichia Coli. Según reporte de monitoreo y análisis de agua del sistema de abastecimiento por parte del centro de salud, como se aprecia en el anexo 04.

El problema principal radica en el incumplimiento de la legislación vigente, la disposición y tratamiento de los residuos sólidos, la privación del servicio de alcantarillado en los sectores aledaños, la carencia de planificación y ordenamiento territorial, la falta de cultura y la poca colaboración de la municipalidad y la población, cuya deficiencia ha generado que las fuentes hídricas del río Naranjos se estén contaminando sin que alguien tome cartas en el asunto.

Frente a estos problemas mencionados nos preguntamos: ¿Cómo incide en la calidad del agua del río Naranjos el proceso de autodepuración, determinado mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración, distrito de Pardo Miguel - San Martín 2017?

El proyecto de investigación se justifica porque el río Naranjos es una cuenca estratégica en el distrito de Pardo Miguel, que en la actualidad viene siendo utilizada para uso poblacional en la localidad de Naranjos, el agua que se sirve es un agua entubada y está administrado por la municipalidad distrital de Pardo Miguel y otra parte está a cargo de una junta administradora de los servicios de agua y saneamiento (JASS). (Municipalidad distrital de Pardo Miguel, 2016).

Además, los usos del agua en la ribera del río son para actividades domésticas y productivas como: agrícolas, forestales, pecuarios, artesanales y de recreación. En la cuenca del río Naranjos no se cuenta con información sobre la calidad del agua del río que permita describir el nivel de contaminación y su comportamiento que sirva de base para la creación

de políticas, planes y programas de desarrollo social, económico y ambiental para la conservación y sostenimiento de la cuenca.

Reportes de salud indican altos niveles de morbilidad y mortalidad infantil por enfermedades de origen hídrico, la localidad de Naranjos. Las enfermedades más incidentes son las infecciones y las diarreicas, le siguen en importancia la parasitosis, siendo los más afectados los niños. Las enfermedades infecciosas intestinales y otras helmintiasis ocupan el tercer y cuarto lugar entre las 10 primeras causas de morbilidad en los niños; en el caso de los adolescentes la helmintiasis ocupa el segundo lugar y el octavo lugar en el caso de los adultos ocupa las infecciones parasitarias; por lo que se puede afirmar que las enfermedades que originan el agua insalubre son tan incidentes en la salud de los pobladores. Centro de salud – Naranjos (2017).

Este estudio aportó la descripción de los parámetros físicos, químicos y biológicos que permitió explicar el comportamiento de la calidad del agua y se desarrolló índices que permiten a la municipalidad distrital de Pardo Miguel establecer una línea base y evaluar en el futuro la calidad del agua en los puntos de monitoreo.

En el presente estudio sobre la determinación la calidad del agua del río Naranjos mediante los coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, ubicada en el departamento de San Martín, provincia de Rioja, distrito de Pardo Miguel, generó información que describe la calidad del agua del río y explica su comportamiento por medio de modelos, fundamentado en la determinación de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y mediciones hidrológicas.

El estudio se realizó sobre el cauce principal del río. Y se tomó como punto de referencia las descargas de aguas residuales de la localidad se San Agustín. El Diamante y Naranjos, como se muestra en el mapa (Ver mapa N°.2).

Los coeficientes cinéticos de descomposición bioquímica de materia orgánica (desoxigenación k_1) y de reaireación (reoxigenación k_2), determinados experimentalmente entre las estaciones 001, 002 y 003. Permite clasificar la cuenca del río Naranjo como corrientes de mediana velocidad.

El objetivo principal de la presente investigación es: Determinar la calidad del agua del río Naranjos mediante los coeficientes cinéticos, para determinar las características de

autodepuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017.

Seguido de los objetivos específicos, orientados a cumplir el objetivo principal:

- a) Determinar las características físicas, químicas, biológicas e hidrológicas en las 3 estaciones de monitoreo en el río Naranjos, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017.
- b) Relacionar los parámetros de calidad del agua para encontrar los coeficientes cinéticos de autodepuración del agua en las 3 estaciones de monitoreo en el río Naranjos.
- c) Evaluar la calidad del agua mediante el empleo de indicadores (coeficientes cinéticos de autodepuración del agua).
- d) Relacionar los parámetros de calidad del agua para determinar los índices de calidad del agua (ICA), en las estaciones definidas.

Los resultados de la investigación solo serán válidos para el periodo establecido 2017. Los resultados de la investigación solo servirán para evaluar el río naranjos en las estaciones definidas.

Con la finalidad de validar los resultados de la investigación nos planteamos la siguiente hipótesis: “El proceso de autodepuración, determinado mediante los coeficientes cinéticos, permite recuperar la calidad del agua del río Naranjos, después de la después de una descarga de aguas residuales doméstica y cumplir con los estándares de calidad ambiental del agua, distrito de Pardo Miguel - San Martín 2017”. El presente informe consta de tres capítulos que son los siguientes:

Capítulo I: Revisión de bibliografía, que consta de todas las teorías científicas que sustentan el presente informe.

Capítulo II: Materiales y métodos, se muestra a detalle todos los materiales y métodos utilizados para realizar la investigación.

Capítulo III: Resultados y discusiones, se detallan los resultados obtenidos y se comparan con los mostrados en la revisión de bibliografía del capítulo I.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

a) Internacional

Gutiérrez (2015) en su trabajo de investigación “Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la autopurificación de un río de montaña para el Área Metropolitana de Bucaramanga, Colombia”, en la zona alta encontró una calidad óptima de agua, apta para consumo humano, con un OD = 8 mg/L y una DBO = 2 mg/L, existe una abstracción de 0.5 m³/s, para el acueducto de Floridablanca, dejando 1.4 m³/s aguas abajo. En la zona media, se observa un aumento del caudal, aforado en 1.8 m³/s. En la zona baja, se encuentra la mayor carga orgánica del río generada por el efluente tratado de la “PTAR Río Frío” y los vertidos crudos: Bypass del alcantarillado Floridablanca y Angelina. La zona presenta cargas continuas de vertimientos domésticos, con concentraciones de 80 mg/L y 400 mg/L de DBO. En el estudio de modelación de calidad del agua en la zona baja del río, demuestra que se presenta una carga orgánica de 61.9 ton/d y tan solo se remueven 16.85 ton/d, lo que permite una acumulación de materia orgánica, convirtiéndolo en una cloaca que afecta constantemente el río de Oro, el cual ya presenta contaminación generada por el Municipio de Piedecuesta.

Nadal, Cossavella, y Larrosa, (2014) en su trabajo de investigación “Determinación de la capacidad de autodepuración del río Tercero (Ctalamochita), provincia de Córdoba, Argentina”, calculó la tasa de reaireación (K_a). Los resultados obtenidos son TM_1 resultó en 13,5 min, mientras que TM_2 fue igual a 38,5 min, k_p para el tramo en estudio de 0,0145/min a 19°C, k_p a 20°C, resultando $k_p = 0,0148/\text{min} = 21,4/\text{d}$, $K_a = 29,7/\text{d}$. El valor de K_a en el tramo estudiado indica una alta capacidad del río de incorporar oxígeno atmosférico, que es utilizado por metabolismo microbiano u oxidaciones químicas.

Carrera (2011) en su trabajo de investigación “Propuesta para evaluar el grado de contaminación por materia orgánica del Río San Pedro, en el tramo comprendido entre Amaguaña y Guangopolo, Ecuador”, realizó el modelo de balance de masas y criterios de cinética química. El promedio de concentración de materia orgánica

es de 5,81 mg/lit. En los tres modelos se obtiene resultados similares en la variación de DBO a través de la distancia, lo cual ayuda a comprobar que los muestreos y los cálculos han sido acertados. Se puede resaltar que el tercer modelo obtenido de los datos de campo en época lluviosa posee menor cantidad de materia orgánica con un promedio de 5,38 mg/L muy diferente al promedio del segundo muestreo obtenido de los datos de campo en época seca con un promedio de 6,67 mg/L. Esto muestra muestran que existe contaminación por materia orgánica la cual va en aumento a medida que se avanza en el tramo de estudio.

Rivera (2008) en su trabajo de investigación “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 Departamentos de San Marcos Quetzaltenango, Guatemala”, se aplicaron dos índices de calidad y se determinaron los coeficientes cinéticos de auto depuración del agua del río (los coeficientes cinéticos de desoxidación k_1 y de reoxigenación k_2), determinados experimentalmente entre las estaciones 001 y la 002 son: $k_1 = 6.28$ día-1 con una desviación estándar de 2.96 y $k_2 = 19.73$ día-1 con desviación estándar de 6.64. Y la constatación de (F) Fair de 3.18 y con desviación estándar de 1.59 clasifica la parte alta de la cuenca del río Naranjo como corrientes rápidas, lo que indica que las aguas del río Naranjo tienen alta capacidad de auto depuración para determinadas descargas de aguas residuales domésticas.

b) Nacional

Laurente (2015) en su trabajo de investigación “Variación del índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento (ICA - NSF) en un tramo de la quebrada cruz de Motupe, Perú”. El ICA-NSF en el primer punto (parte alta) es 76.13; en el segundo punto (parte media) es 71.05, clasificándose los dos puntos de estudio según ICA-NSF como aguas de calidad “buena”. El ICA-NSF en la parte baja (tercer punto) calidad es 67.48, clasificándose los dos puntos de estudio según ICA-NSF como aguas de calidad “regular”. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos, estando los fosfatos, turbidez y DBO_5 fuera de los Estándares de Calidad del Agua, de igual forma los parámetros microbiológicos como los Coliformes fecales, que no cumplen con lo establecido por los estándares de calidad

del agua en los tres puntos muestreados, concluyendo que las aguas de la quebrada Motupe se clasifican como agua de calidad regular.

Jayo (2011) en su trabajo de investigación "Modelación de la relación precipitación - escorrentía en la cuenca del río mala, mediante el modelo PRECAUD V.1.0. En el presente trabajo de Tesis se describió la aplicación, calibración y validación del modelo hidrológico PRECAUD V.1.0, que permite simular numéricamente los caudales en una cuenca hidrográfica. Los resultados obtenidos en las etapas de calibración y validación del modelo son ampliamente satisfactorios. Para ello se utilizó el Coeficiente de Nash Sutcliffe (0.429), el Error Relativo en el Balance de Masas (7.8%) y el Coeficiente de correlación lineal de Pearson (0.656). Al mismo tiempo se comprobó que a través de dicho modelo se puede predecir el comportamiento hidrológico de la cuenca para el 2030, considerando las variaciones climáticas ambientales que sufrirá la cuenca en dicho año, de acuerdo a los estudios realizados por el SENAMHI.

Diaz (2015) en su trabajo de investigación "Modelamiento hidrogeológico para estimar el caudal óptimo de la parte baja del acuífero del valle del río Lurín". Para el trabajo se consideró una permeabilidad de 25 m/día para el acuífero del valle del río Lurín, ya que según su geología está compuesta por cantos rodados, gravas, arena gruesa, y finos. El coeficiente de almacenamiento para el acuífero del valle del río Lurín se encuentra por el orden del 8%, lo que es representativo para un acuífero libre. Para la evaluación del descenso de la napa freática se consideró 3 escenarios para un periodo de 20 años: Escenario 1 considera un caudal constante de extracción de 33111.32 m³/día, entre los años 2014 y 2033. Escenario 2 considera un caudal constante de extracción de 46516.32 m³/día, entre los años 2014 y 2033. Escenario 3 considera un caudal constante de extracción de 52996.32 m³/día, entre los años 2014 y 2033. Escenario 2: El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 3 es de 1.75m con descenso anual promedio de 0.08 m/año y para el pozo de observación N° 167 es de 2.97m con un descenso promedio anual por año de 0.15 m/año. Ambos pozos ubicados en el distrito de Lurín. El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 228 es de 0.70m con un descenso anual de 0.03 m/año. Pozo ubicado en el distrito de Pachacamac - El descenso de la napa freática para el pozo de observación N° 556 es de 1.28m con

un descenso anual de 0.06 m/año. Pozo ubicado en el distrito de Cieneguilla. Con lo que se concluye que el acuífero del valle del río Lurín, tiene una disponibilidad hídrica para aprovechamiento poblacional u otros fines.

c) Local.

Chuquimbalqui (2017) en su trabajo de investigación “Determinación de parámetros físico – químicos y biológicos del agua del río Tío Yacu, para uso recreacional y riego de vegetales, del distrito de Elías Soplín Vargas – Rioja, 2015”. En el trabajo se evaluó la calidad del agua del río Tío Yacu en los usos, recreacional y riego de vegetales, mediante la determinación de los parámetros de temperatura, pH, turbiedad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, DBO₅ y coliformes fecales. Y comparar los resultados de los análisis físico-químicos y biológicos obtenidos, con los parámetros establecidos en los estándares de calidad ambiental.

Los resultados de la investigación de las muestras: (M1, M2, M3) obtenidos en promedio fueron: oxígeno disuelto (8.94 mg/L), pH (7.39 pH), demanda bioquímica de oxígeno (0.59 mg/L), nitratos (0.76 mg/L), fosfatos (0.28 mg/L), temperatura (18°C), turbiedad (4.32 UTN) y sólidos totales disueltos (204.24 ppm) y coliformes fecales (44.56NMP/100mL). Donde se concluye que el agua del río Tío Yacu, según el índice de calidad de agua es 82.69, la cual es catalogada como agua de buena calidad y los parámetros analizados cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua.

Cobos (2016) En su trabajo de investigación “Determinación del estado ecológico de la quebrada de Juninguillo mediante parámetros hidrobiológicos y fisicoquímicos. Moyobamba – 2016”. Tuvo por objetivo la determinación de la calidad del agua de la quebrada de Juninguillo a través de estudios hidrobiológicos (macroinvertebrados) y fisicoquímicos (pH, conductividad, temperatura, DBO₅, DQO, nitratos y nitritos). Para ello se determinó tres zonas de estudio o muestreo (alta, media y baja).

En caso de los macroinvertebrados se utilizó el nPeBMWP (Biological Monitoring Working Party / modificado y adaptado para ríos del norte del Perú) esto hace que se asigne un número del 1 al 10 a las familias encontradas de estos, obteniendo un

resultado sumatorio promedio de 64 el cual establece un indicador biológico aceptable, por otro lado, el índice biológico BMWP/ modificado y adaptado para los ríos del norte del Perú, en la estación N° 01 se obtuvo un valor de 63, en la estación N° 02 se obtuvo un valor de 65 y en la estación N° 03 se obtuvo un valor de 63, por lo que el promedio de las tres (03) estaciones es 64, en tal sentido teniendo como referencia la tabla 2. Clases de calidad, significación de los valores del nPeBMWP, se concluye que toda la quebrada en encuentra en una calidad biológica aceptable.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Calidad del agua

En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos es difícil dar una definición simple de “calidad del agua”, Además, los conocimientos sobre Calidad del agua han evolucionado a través del tiempo a medida que ha aumentado su demanda en diferentes usos y han mejorado los métodos para analizar e interpretar sus características.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: Una lista de concentraciones especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. (Sierra, 2011),

Sierra, también nos dice que la contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre directa indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas como natación, buceo, canotaje, pesca, etc., e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, etc. La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:

- Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos).

- Utilizando un índice de calidad del agua.

Ambas formas aceptadas y las mediciones que se requieren se realizan, ya sea en el campo o en el laboratorio y producen varios tipos de datos que luego es necesario interpretar antes de discutir las propiedades y características del agua, por aspectos pedagógicos, se dice que se puede analizar la calidad del agua de acuerdo con su estado; para ello se hace distinción entre agua cruda (superficial, subterránea, marina, etc.), aguas residuales y agua tratada (potable).

a) Parámetros físicos: Los parámetros físicos se clasifican a aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. (CEPIS/OMS/OPS, 2010).

- **Temperatura.** Parámetro que mide el calor en el agua; es importante porque incide en las propiedades, procesos e interacciones físicas, químicas y biológicas de los elementos presentes en el agua. Como la solubilidad de sustancias químicas, las velocidades de reacción, la solubilidad de los gases en el agua y la actividad biológica. La temperatura del agua se mide en grados centígrados. (Sierra, 2011).
- **Sólidos totales.** Son las partículas que incluyen a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en el agua. Los ST pueden ser, tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas, los microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla. Altas concentraciones impiden la penetración de la luz, disminuyen el oxígeno disuelto, limitan el desarrollo de la vida acuática. (Sierra, 2011).
- **Turbiedad.** Se define como la dificultad del agua para transmitir luz, debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro nefelómetro. Los resultados se expresan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). (Sierra, 2011).
- **Conductividad eléctrica.** Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la presencia de iones que provienen de una base, un ácido o una sal, disociadas en iones. Un aumento en la

conductividad de las aguas naturales afecta la productividad de los ecosistemas. La unidad de medida es micro siemens por centímetro. ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (Sierra, 2011).

b) Parámetros químicos: El agua, como solvente natural, tiene sustancias químicas disueltas que le proveen ciertas características. Para efectos del estudio se determinarán las siguientes características químicas, (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en una muestra de agua susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).
- **Potencial de hidrógeno (pH):** Expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH del agua natural depende de la concentración de CO_2 . Se debe a la composición de los terrenos donde pasa el agua. El pH alcalino indica que los suelos son calizos y el ácido que son silicios. El pH se mide como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno. (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).
- **Oxígeno disuelto:** Se define con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, expresado en mg de oxígeno por litro de agua. Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).
- **Fosfatos:** Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos. (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).

- **Nitratos:** Pueden provenir de las rocas que los contengan (poco común), o bien por oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente, de las eliminadas por los animales. La concentración aumenta en las aguas superficiales por el uso de fertilizantes y el aumento de la población (vertimientos de aguas residuales domésticas). (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).
- c) **Parámetros biológicos:** El agua contaminada con materia orgánica e inorgánica desarrolla actividad biológica. Los microorganismos degradan la materia orgánica en materia celular y componentes más simples. Para efectos del estudio se realizarán los siguientes análisis biológicos, (Wachsman, 2006).
 - **Demanda bioquímica de oxígeno:** Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/l. El cálculo se efectúa mediante la determinación del contenido inicial de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante, conservada en un frasco cerrado a 20 °C. La diferencia entre los dos contenidos corresponde a la DBO 5. (Wachsman, 2006).
 - **Coliformes totales:** Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la escherichia, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. (Wachsman, 2006).

1.2.2. Proceso de autodepuración de ríos

Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que experimenta el agua se le denomina ciclo integral del agua, desde que un río se interviene para, por ejemplo, embalsar agua y garantizar el consumo de agua de una población, hasta que es retornada nuevamente a un sistema natural, el cual se adapta a la perturbación inducida por el vertimiento. (Rueda, 2005),

Los sistemas naturales tienen la capacidad de modificar la composición o calidad del agua que reciben eliminando contaminantes; este proceso es conocido como autodepuración o auto purificación. El tratamiento de las aguas residuales de origen

doméstico o industrial, se basa en los procesos de autopurificación de los cuerpos de agua. La tecnología replica estos procesos naturales a través de mecanismos artificiales para lograr disminuir el grado de contaminación de los cuerpos de agua. Estos procesos son relativamente recientes e inicialmente se consideraban necesarios cuando la capacidad de autopurificación del cuerpo de agua receptor era excedida. Sin embargo, en la actualidad se considera que cualquier efluente de agua residual necesita un mínimo de tratamiento, sin importar la capacidad de autodepuración del río, quebrada o lago que reciba las aguas residuales. (Rueda, 2005).

Las aguas residuales de los centros urbanos, de actividades agrícolas, forestal o industrial son drenadas a los ríos, estas descargas vienen contaminando los cuerpos de agua con materia orgánica e inorgánica. En un proceso natural de auto depuración se dan procesos físicos, químicos y biológicos, oxidando la materia orgánica por microorganismos aeróbicos, anaerobios y facultativos, transformando la materia orgánica biodegradable en compuestos más simples. (Chapra y Pelletier, 2008).

Para determinar el estado o la calidad del agua del efluente, el principal componente utilizado como parámetro indicador es el oxígeno disuelto puesto que es de gran importancia para la vida acuática y debido a los cambios significativos en su concentración producidos aguas abajo del punto de vertido. (Rueda, 2005).

Para determinar la variación de la concentración de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua en diferentes escenarios se utiliza la modelación matemática de oxígeno disuelto desarrollada por (Streeter & Phelps, 1925), citado por (Metcalf y Heddy, 1997). Este modelo, basado en los principios de conservación de masa o balance de masa, permite establecer relaciones matemáticas entre la acción contaminante y la concentración del mismo a distintas distancias en el río, aguas abajo del punto de descarga. Lo anterior permite entender y predecir de forma cuantitativa la evolución del oxígeno disuelto y las sustancias demandantes de oxígeno en un río, aguas abajo de un punto de descarga de agua residual, y aplicarlos a casos de estudio.

Las aguas contaminadas de los ríos llevan materia orgánica, inorgánica y microorganismos. Entre los principales procesos naturales que se desarrollan están

la actividad biológica en la cual se da el proceso químico de la degradación de la materia orgánica e inorgánica en compuestos simples, como se explica a través de los ciclos del carbono, azufre, fósforo y nitrógeno. También se desarrollan procesos físicos como la solubilidad del oxígeno en el agua, que es influida por fenómenos de transporte de gas líquido y de temperatura. (Chapra, Pelletier, 2008).

En este sentido, la capacidad de las corrientes de agua para recibir y oxidar la materia orgánica de las aguas residuales, depende de sus fuentes de oxígeno, las condiciones climáticas, el tipo de materia orgánica e inorgánica y del tipo y cantidad de microorganismos y de las condiciones hidrológicas. (Streeter y Phelps, 1994).

Para el análisis del fenómeno de auto purificación de las corrientes de agua 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”.

1.2.3. Análisis de oxígeno en un cuerpo de agua.

En una corriente de agua el oxígeno es el factor energético esencial para los seres vivos. Los procesos que incrementan y consumen oxígeno en los ríos se presentan

en la tabla 1. Los cambios del contenido de oxígeno en el río están relacionados con los cambios bioquímicos, debido a la oxidación de la materia orgánica procedente de aguas residuales y otras fuentes. (Chapra, Pelletier, 2008).

Tabla 1

Factores que intervienen en el balance de oxígeno.

Incrementan Oxígeno	Consumen Oxígeno
Aportación de cauce	Materia orgánica en suspensión
Aportación del vertido	Lodos depositados en fondo
Reaireación superficial	Respiración de organismos vivos
Acción Fotosintética	Respiración de algas
Descenso de la temperatura	Elevación de la temperatura
Dilución por corrientes no contaminadas	Contaminación añadida
	Incremento de salinidad.

Fuente: (Chapra, Pelletier, 2008).

Los aportes de oxígeno a la corriente de agua se dan por varios fenómenos, como el vertido de caudales al cauce del río y por reaireación superficial.

1. Demanda de oxígeno. La tasa de oxidación bioquímica de la materia orgánica es proporcional a la concentración de la sustancia no oxidada. La ley planteada en forma de modelo matemático. (Metcalf y Heddy, 1997).

$$\frac{-dL}{dt} = K_1 \times L \quad (1)$$

Integrando la ecuación diferencial

$$L = L_0 \times e^{-k_1 \times t} \quad (2)$$

Dónde: L y L₀ es la demanda bioquímica de la materia orgánica en el punto final e inicial respectivamente, t el tiempo transcurrido para que un elemento de flujo de agua llegue desde el punto inicial al punto final y k₁ es el coeficiente cinético de la velocidad de degradación de la materia orgánica. La constante k₁ depende del tipo de materia orgánica que se degrada, del tipo y cantidad de microorganismos presentes.

En el proceso de degradación de la materia orgánica; la demanda de oxígeno se da en términos de oxígeno disuelto. Entonces, la tasa de oxidación de la materia ($-dL/dt$) es equivalente a la tasa de agotamiento del oxígeno en el agua, que sería el déficit de oxígeno de saturación en el agua, por lo que es la tasa de agotamiento (dD_1/dt) expresada en la relación.

$$\frac{-dL}{dt} = K_1 L = \frac{dD_1}{dt} \quad (3)$$

Es importante indicar que la velocidad de degradación de materia orgánica está definida por el coeficiente k_1 el cual depende del tipo de materia, los microorganismos y, esencialmente, de la temperatura.

Otros estudios han demostrado que el coeficiente de degradación de la materia orgánica k_1 está relacionado con la temperatura por la ecuación:

$$\frac{K'_1}{K_1} = 1.047^{(T'-T)} \quad (4)$$

Dónde: k'_1 y T' es el coeficiente cinético de degradación determinada en estudios a $T = 20$ °C. Y k_1 y T el coeficiente cinético de degradación de la materia a la temperatura del agua.

- 2. Aporte de oxígeno al río.** Describen que la tasa de transferencia del gas en el agua es proporcional a la diferencia entre la concentración de saturación y la concentración instantánea del oxígeno en el cuerpo de agua y el área de contacto. Como se observa en la ecuación. (Chapra, Pelletier, 2008).

Una forma alterna es plantear la tasa de reoxigenación en términos del déficit de oxígeno. Como se observa en la figura 01, la tasa de reoxigenación es proporcional al déficit de oxígeno, éste se define como la diferencia entre la concentración de saturación y del oxígeno disuelto a condiciones ambientales.

$$D = C_S - C_0 \quad (5)$$

Dónde: D es el déficit de oxígeno, C_S es la concentración de saturación del oxígeno en el agua y C_0 la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. De tal manera que:

$$\frac{dD_2}{dt} = K_2 \times D \quad (6)$$

Donde:

D = déficit de saturación de oxígeno del agua en mg/l

dD_2/dt = Tasa de reoxidación en términos de déficit de saturación

k_2 = Coeficiente cinético de reoxigenación.

Al integrar la ecuación diferencial se obtiene:

$$D_t = D_0 \times e^{k_2 \times t} \quad (7)$$

Dónde: D_t y D_0 déficit de oxígeno en el punto final e inicial respectivamente; k_2 es el coeficiente cinético de reoxigenación, que depende del área de interface por unidad de volumen del líquido y del coeficiente de difusión del gas en el agua.

- 3. Balance de oxígeno.** Para la comprensión de los procesos de reoxigenación y desoxigenación en las corrientes de agua se plantea el balance de masa. Las dos reacciones opuestas de reoxigenación y desoxigenación, tienden siempre a llegar a una condición de equilibrio temporal. (Streeter y Phelps, 1994).

Las dos reacciones alcanzan el punto de equilibrio momentáneo, al disminuir la demanda de oxígeno, debido a la degradación de la materia orgánica. Después del equilibrio momentáneo, la tasa de reoxigenación es mayor que la tasa de desoxidación, entonces la concentración de oxígeno disuelto en el agua aumenta hasta alcanzar los niveles de saturación a las condiciones ambientales, (Streeter y Phelps, 1994).

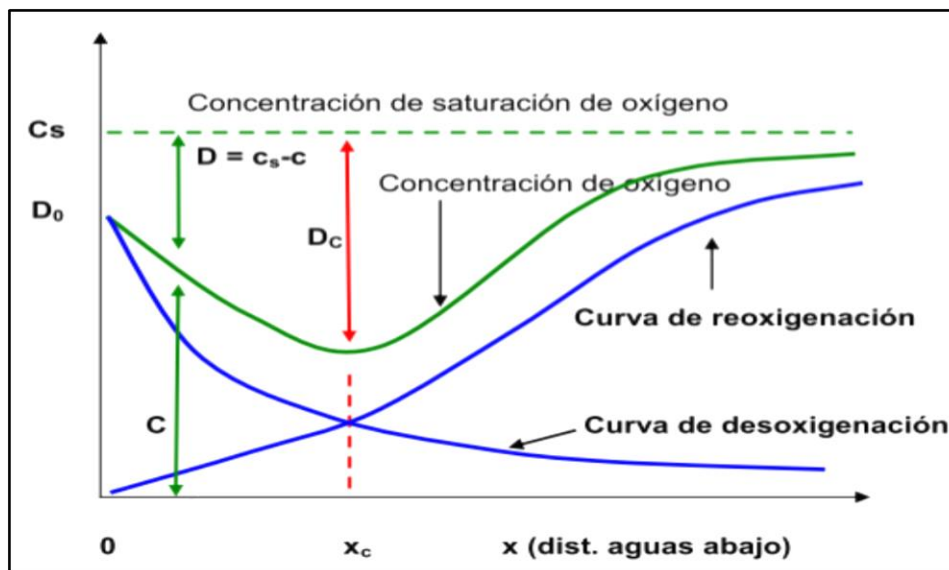


Figura 1. Concentración de oxígeno en aguas de ríos.

En segundo lugar, disminuye a un ritmo proporcional a la oferta de oxígeno (reoxigenación), como se expresa en las ecuaciones.

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dD_1}{dt} = -K_1 L \quad (8) \text{ y}$$

$$\frac{dD_2}{dt} = -K_2 D \quad (9)$$

Dónde:

T: tiempo de la reacción en días.

L: demanda de oxígeno de la materia orgánica expresada en mg/l.

D: déficit de saturación de oxígeno del agua en mg/l.

$\frac{dD_1}{dt}$ = Tasa de desoxidación en términos de déficit de saturación.

$\frac{dD_2}{dt}$ = Tasa de reoxidación en términos de déficit de saturación

K_1 : Coeficiente cinético de desoxigenación

K_2 : Coeficiente cinético de reoxigenación

La tasa neta de cambio en el déficit de oxígeno (D) en cualquier momento es igual a la suma lineal de las tasas de desoxigenación y reoxigenación, (Jolánkai, 1997).

$$\frac{dD}{dt} = \frac{dD_1}{dt} + \frac{dD_2}{dt} \quad (10)$$

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D \quad (11)$$

Resulta una ecuación diferencial lineal con variable dependiente (D) e independiente (t) de la forma:

$$\frac{dy}{dx} + P_y = Q(X) \quad (12)$$

La integral para la tasa neta de cambio en el déficit de oxígeno, derivada de la ecuación diferencial lineal, resulta ser:

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t} \quad (13)$$

Dónde:

D_0 = oxígeno disuelto inicial de déficit de saturación del agua mg/l.

D = déficit de saturación, en mg/l. después de tiempo (t).

L_0 = inicial de demanda de oxígeno de la materia orgánica, en mg/l.

K_1 = coeficiente de definición de la tasa de desoxigenación.

K_2 = coeficiente de definición de la tasa de reoxigenación.

t = tiempo transcurrido, en días.

e = base de logaritmos naturales = 2,71828

El déficit crítico de oxígeno disuelto D_C en el punto X_c es importante desde el punto de vista técnico. El déficit crítico puede determinarse porque la tasa de utilización de oxígeno es igual a la de reaireación en dicho punto.

$$D_C = \frac{K_1}{K_2} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_1 t} \quad (14)$$

El valor de X_c puede determinarse diferenciando la ecuación anterior con respecto a X y haciendo que dD/dx sea igual a cero:

$$X_C = [V / (K_1 - K_2)] \ln \left(\frac{K_1}{K_2} \right) \left[1 - D_0 \frac{(K_1 - K_2)}{K_1 L} \right] \quad (15)$$

$$T_c = \frac{X_c}{v} \quad (16)$$

Dónde: T_c es igual al tiempo requerido para alcanzar el punto crítico, X_c es la distancia y v velocidad media del agua en el río.

1.2.4. Modelo de mezcla o balance de masas.

La básica para describir la evolución de la contaminación aportada por un vertido en un curso de agua es conseguir plantear adecuadamente la ecuación del balance de masas. Se puede comenzar estudiando este justo en el punto de descarga. (Suárez, 2008).

Suarez, también nos dice que la primera e importante hipótesis que se realiza es suponer que el río es homogéneo en toda la sección en la que se produce el vertido, tanto lateral como verticalmente. Esto implica que las variables de calidad de agua también se comportan de forma homogénea en la sección. En la figura siguiente se presenta la forma normal de mezcla de un vertido en una corriente de agua. Poca distancia aguas abajo del punto de vertido se producirá la homogeneización, aunque dependerá de las características hidráulicas del río. La hipótesis que se adopta implica que existe mezcla completa e instantánea en toda la sección a partir del punto en el cual se introduce el agua contaminada en el río.

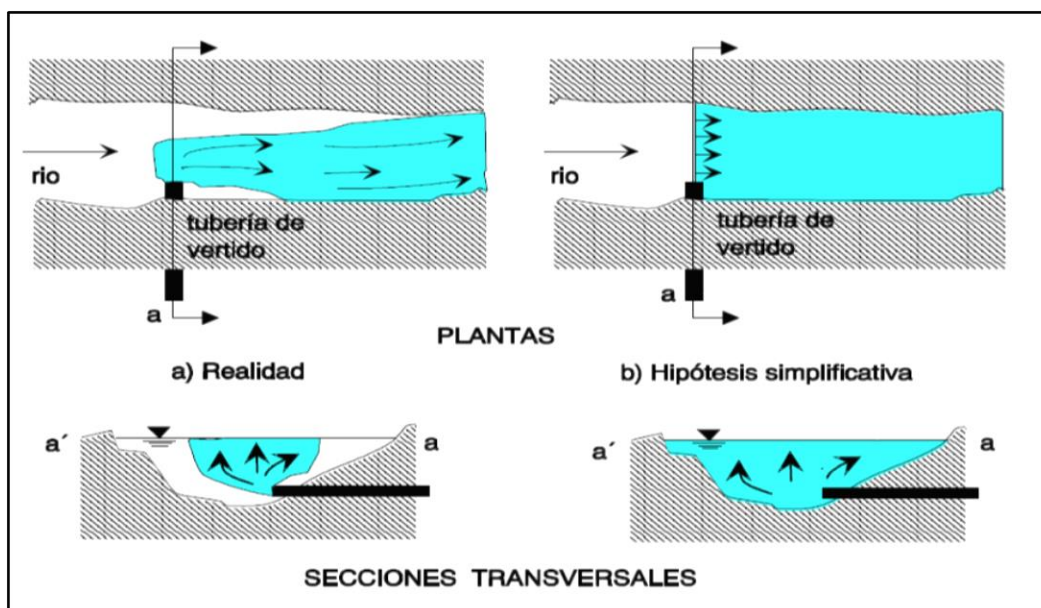


Figura 2. Hipótesis de mezcla completa en un punto.

Para Suárez, el balance de masas que se puede plantear en una corriente con un solo vertido, asumiendo las hipótesis realizadas, es el siguiente:

1. Análisis de la DBO en el punto de mezcla.

$$DBO_{5 \text{ Mezcla}} = \frac{Q_r \times DBO_r + Q_v \times DBO_v}{Q_r + Q_v} \quad (17)$$

Donde:

Q_r : Caudal del río.

DBO_r : Demanda bioquímica de oxígeno del río.

Q_v : Caudal del vertido.

DBO_v : Demanda bioquímica de oxígeno del vertido.

2. Análisis de la temperatura en el punto de mezcla.

$$T_{\text{Mezcla}} = \frac{Q_r \times T_r + Q_v \times T_v}{Q_r + Q_v} \quad (18)$$

Donde:

Q_r : Caudal del río.

T_r : Temperatura del río.

Q_v : Caudal del vertido.

T_v : Temperatura del vertido.

3. Análisis de la concentración de oxígeno en el punto de mezcla.

$$OD_{\text{Mezcla}} = \frac{Q_r \times OD_r + Q_v \times OD_v}{Q_r + Q_v} \quad (19)$$

Donde:

Q_r : Caudal del río.

OD_r : Oxígeno disuelto del río.

Q_v : Caudal del vertido.

OD_v : Oxígeno disuelto del vertido.

4. Análisis del oxígeno de saturación a temperatura de mezcla.

$$O_{\text{sat.}} = T_m - 0.41022(T_m) + 0.007991(T_m^2) - 0.000077774(T_m^3) \quad (20)$$

Donde:

Tm: Temperatura de mezcla.

Osat.: Oxígeno de saturación a 1 atm.

Corrección del oxígeno de saturación a la de presión de trabajo.

$$P = 760 \times e^{\frac{-E}{8005}} \quad (21)$$

Donde:

P: Presión en mmHg.

E: Elevación en m.s.n.m.

El oxígeno disuelto de saturación corregido será:

$$OD_{SC} = O_{sat} \times \frac{P}{760} \quad (22)$$

5. Análisis del déficit de oxígeno en el punto mezcla:

$$D_o = O_s - O_{Mezcla} \quad (23)$$

Donde:

Do: Déficit de oxígeno en el punto de mezcla.

Os: Oxígeno de saturación.

O mezcla: Oxígeno de mezcla.

6. Análisis de las constantes cinéticas de autodepuración.

➤ **Constante de desoxigenación:** La desoxigenación es el proceso en el que un cuerpo de agua reduce o pierde la concentración de oxígeno disuelto. Para aplicaciones ambientales, la principal preocupación durante el proceso de desoxigenación es la introducción de contaminantes y aguas residuales en un sistema de agua.

La constante de desoxigenación k_1 es imprescindible para determinar el comportamiento de la DBO en el tiempo. Esta constante es propia para cada recurso hídrico o agua residual, y es necesario determinarla para cada caso. Varios factores pueden influenciar el valor de k_1 , entre ellos la temperatura,

la geometría del cuerpo de agua, la concentración de OD, la cantidad y naturaleza de materia orgánica presente.

La constante de desoxigenación puede ser evaluada en función del caudal, según (Wright y Mcdonell, 1979) el valor de la constante para caudales entre 0,3 y 24 m³ es evaluada con la ecuación:

$$K_1 = 1.796 \times Q^{-0.49} \quad (24)$$

El valor de la constante de desoxigenación k_1 , en plantas de tratamiento de aguas residuales, es de 0,05 a 0,10 días⁻¹; en corrientes superficiales muy contaminados, puede llegar a hasta los 0,25 día⁻¹; en aguas residuales sin tratar, es de 0,15 a la 0,30 días⁻¹. Normalmente para determinar el valor de k_1 se debe considerar la temperatura del agua, cuya ecuación matemática es:

$$k_1 (T^{\circ}\text{C}) = k_1 (20^{\circ}\text{C}) \times \theta^{T-20^{\circ}\text{C}} \quad (25)$$

Donde, la constante de variación de la temperatura θ , normalmente es 1,047.

➤ **Constante de reaeración:** La reaeración, es el proceso de absorción de oxígeno de la atmósfera por un cuerpo de agua, considerándose como una de las principales fuentes de oxígeno en los sistemas acuáticos. El proceso de aireación en un sistema acuático se caracteriza por su coeficiente de aireación superficial.

Un cuerpo de agua expuesto a la atmósfera, normalmente se saturará con oxígeno. Si el contenido de oxígeno disuelto OD, del agua es inferior a los valores de oxígeno saturado OD_{sat} , se considera que el agua está contaminada orgánicamente. La diferencia entre la concentración de oxígeno disuelto saturado y el oxígeno real se conoce como el déficit de oxígeno D. El déficit de oxígeno puede reducirse de manera natural por la aireación del agua (es decir, la concentración de oxígeno disuelto aumenta).

La constante de aireación, k_2 , es una reacción propia de la corriente y varía de tramo a tramo, depende de la velocidad del agua, la profundidad, el área de

superficie expuesta a la atmósfera, y la cantidad de materia orgánica biodegradable en la corriente.

Tabla 2

Valores típicos de (k_2) en cuerpos de agua.

Cuerpos de agua	Rangos de k_2 a 20 °C
Aguas estancadas	0,10 – 0,23
Corrientes lentas	0,23 – 0,35
Corrientes grandes con baja velocidad	0,35 – 0,46
Corrientes grandes con velocidad normal	0,46 – 0,69
Corrientes rápidas	0,69 – 1,15
Cataratas y cascadas	>1,15

Fuente: (Suárez, 2008).

Los factores más importantes que afectan el valor de k_2 son la temperatura y la turbulencia. El efecto de la temperatura sobre el coeficiente de reaireación se suele expresar como:

$$k_2 (T^{\circ}\text{C}) = k_2 (20^{\circ}\text{C}) \times \theta^{T-20^{\circ}\text{C}} \quad (25)$$

Donde, θ es el coeficiente de temperatura, y la temperatura T, está en °C. El coeficiente de temperatura se mantiene constante en un amplio rango de condiciones turbulentas con un valor de 1,024.

7. Análisis del punto crítico mediante las ecuaciones de Streeter-Phelps:

➤ **Distancia crítica.** tenemos.

$$X_c = \frac{1}{k_1 - k_2} \times \ln \times \left(\frac{k_1}{k_2} \left(1 - D_o \times \frac{k_1 - k_2}{k_1 \times \text{DBO}} \right) \right) \quad (26)$$

Donde:

K_1 : Constante de desoxigenación.

K_2 : Constante de reaireación.

D_o : Déficit de oxígeno en el punto de mezcla.

DBO5 m: DBO en el punto de mezcla.

➤ **Tiempo crítico:** tenemos.

$$T_c = \frac{X_c}{v} \quad (27)$$

Donde:

V: Velocidad del flujo de agua.

Tc: Tiempo crítico.

➤ **Déficit crítico.**

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \times \text{DBO}_{5\text{ m}} \times e^{(-k_1 \times t_c)} \quad (28)$$

Donde:

K₁: Constante de desoxigenación.

K₂: Constante de reaireación.

DBO_{5 m}: DBO en el punto de mezcla.

➤ **Oxígeno crítico**

$$[O_2]_c = [O_2]_{\text{sat}} - D_c \quad (28)$$

Donde:

D_c: Déficit crítico.

O_{2 sat}: Oxígeno de saturación a temperatura de mezcla.

➤ **La concentración de la materia orgánica o DBO₅ crítica.**

$$\text{DBO}_{5\text{ crítico}} = \text{DBO}_{5\text{ m}} \times e^{(-k_1 \times t_c)} \quad (29)$$

Donde:

DBO_{5 m}: DBO en el punto de mezcla.

K₁: Constante de desoxigenación.

Tc: Tiempo crítico.

8. Clasificación de la calidad del agua en función de la DBO₅.

Tabla 3

Escala de clasificación de calidad del agua.

criterio	Clasificación
DBO₅ < 3.0	Excelente No contaminada
3.0 < DBO₅ < 6.0	Buena Calidad Aguas superficiales con bajos contenidos de materia orgánica biodegradable
6.0 < DBO₅ < 30.0	Aceptable Con indicio de contaminación, con capacidad de dilución o con descargas biotratadas
30 < DBO₅ < 120	Contaminada Aguas superficiales con descargas de aguas contaminadas no tratadas
DBO₅ > 120	Fuertemente contaminada Aguas superficiales con fuertes descargas de aguas contaminadas municipales y no municipales

Fuente: (CONAGUA, 2006).

9. Clasificación de la calidad del agua en función de la OD crítico.

Tabla 4

Concentración de OD 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
05-08	Aceptable	OD adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
08-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Fuente: (RED MAPSA, 2007).

1.2.5. Hidrología (caudal, velocidad, área del espejo de agua).

Para medir los caudales en ríos y canales existen varios métodos y tecnologías para su aplicación. Los métodos más usados son los de área y velocidad y la relación escala y gasto. (IMTA, 1991).

1. Aforo con flotadores. Para la ejecución del aforo se procede de la siguiente forma. Se toma un tramo de la corriente de longitud L ; se mide el área A , de la sección, y se lanza un cuerpo que flote, aguas arriba de primer punto de control, y al paso del cuerpo por dicho punto se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control corriente abajo.

2. Metodología.

➤ Procedimientos

- ✓ Se busca un lugar adecuado para aforar (tramo recto y uniforme).
- ✓ Se selecciona las secciones de control por las cuales pasará el flotador; se levantará y calculará las secciones inicial y final del tramo elegido.
- ✓ Se dividirá la sección de entrada y de salida del flotador en sub secciones para determinar con mayor exactitud la trayectoria.
- ✓ Se Lanzará el flotador; el flotador será soltado unos cuantos metros aguas arriba de la sección de control.
- ✓ Se medirá el tiempo que demora el flotador en pasar la sección de control.
- ✓ Se determinará la sección media del cauce, luego determinar el caudal.

➤ Formulas a utilizar

- ✓ **Velocidad superficial:**

$$V = \frac{L}{t} \quad (31)$$

Donde:

V: velocidad en (m/s)

L: longitud en m.

t: tiempo en segundos

- ✓ **Área de la sección:**

$$A_i = \frac{h_{i-1} + h_1}{2} \times T \quad (32)$$

Donde:

h: altura del agua en m.

T: tirante del agua.

✓ **Área promedio:**

$$A_{\text{prom}} = \frac{A_A + A_B}{2} \quad (33)$$

Donde:

A: área transversal parcial.

✓ **Caudal:**

$$Q = V_t \times A_{\text{prom}} \quad (34)$$

Donde:

V: velocidad en (m/s)

L: área transversal promedio.

1.2.6. Índice de calidad de agua (ICA-PE)

Para efectos de cumplimiento del último objetivo del proyecto se procedió a determinar el índice de calidad del agua propuesto por ANA (2018), quien en con Resolución Jefatural N°068-2018-ANA. Nos dice que para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca.

La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

1. **F₁- Alcance:** representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumple los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} \quad (35)$$

2. **F₂- Frecuencia:** representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 3 monitoreos).

$$F_2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumple el ECA Agua de los datos evaluados}}{\text{Numero Total de datos evaluados}} \quad (36)$$

Donde:

Datos = Resultados de los monitoreos

3. **F₃- Amplitud:** Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de +1}} \times 100 \quad (37)$$

En donde, la Suma Normalizada de Excedentes (nse):

$$\text{nse} = \text{Suma Normalizada de Excedente} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \quad (38)$$

Excedente, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA- Agua.

- **Caso 1:** Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA agua}} \right) - 1 \quad (39)$$

- **Caso 2:** Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA- Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_1 = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA AGua}} \right) - 1 \quad (40)$$

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del índice de Calidad de Agua: siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3; valor que se presenta en un rango de 100, como un ICA de excelente calidad a 0, como valor que representa un ICA de pésima calidad. Se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{ICA} - \text{PE} = 100 - \left(\sqrt{\frac{F1^2 + F2^3 + F3^3}{3}} \right) \quad (41)$$

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se empleó una aplicación en Microsoft Excel (Hoja de Cálculo), un macro donde se introduce los Datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F1, F2 y F3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, ICA- PE, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente (Ver Tabla N 03).

Tabla 5

Interpretación de la Calificación ICA- PE.

ICA- PE	Calificación	Interpretación
90- 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
75- 89	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
45- 74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.

30-44	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0- 29	Pésima	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: (ANA, 2018).

1.2.7. Descripción del área de estudio

El proyecto se desarrolló en el distrito de Pardo Miguel, en los centros poblados de San Agustín, El Diamante y la localidad de Naranjos, pertenecientes a la cuenca del río Naranjos.

1.2.7.1. Cuenca del río Naranjos.

Nace en las vertientes orientales de la Cordillera Oriental. Tiene un recorrido SO-NE, hasta su desembocadura en la margen derecha del río Mayo cerca de la C. N. Sector Huasta. La longitud 52 km. Tiene un área de 41849.48 ha representa el 16.47% de la cuenca del Alto Mayo (ver mapa 01). (EDZ Rioja, 2012).

El río Naranjos es un río no navegable. Presenta velocidad de corriente rápida con promedio de 0.87 m/s, con velocidad máxima muy rápida de 1.49 m/s. El caudal es de 24.72 m³/s. El fondo del río Naranjos está compuesto principalmente de material pedregoso. (EDZ Rioja, 2012).

- A. Precipitaciones:** El régimen de distribución mensual de precipitaciones se caracteriza por la existencia de dos periodos lluviosos, el primero en el mes de marzo y el segundo en el mes de octubre. El periodo seco se presenta entre los meses de mayo a septiembre. El promedio de precipitación pluvial total anual del río Naranjos varía entre 1000 y 2000 mm. (Central hidroeléctrica naranjos II, 2009).

- B. Geología:** La gran variedad de rocas que se encuentra en la zona es fácilmente agrupable en once unidades lito estratigráficas, de las cuales todas forman parte de la zona en estudio, siendo las unidades más antiguas las Formaciones del Grupo Pucará del Triásico-Jurásico inferior y la Formación Sarayaquillo del Jurásico. Sobre el Grupo Oriente descansan estratos de limo-arcillitas, margas y calizas de la Formación Chonta. Central hidroeléctrica naranjos II (2009).
- C. Hidrografía:** El río Naranjos, materia del presente estudio, se encuentra localizada en la región Nor-Oriental del Perú, sobre la vertiente de la Cordillera Oriental. Es afluente del río Mayo, el cual luego de recorrer de norte a sur el departamento de San Martín, desemboca sus aguas en el río Huallaga. Plan de manejo ambiental de la central hidroeléctrica naranjos II (2009).

1.3. Definición de términos básicos

Afluente. - Líquido que ingresa a una o proceso de tratamiento.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). - Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Demanda química de oxígeno (DQO). - Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del lixiviado, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

Coliformes. -Se define como el grupo de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae, Gram negativas, aerobias, y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares.

Bacterias heterotróficas. -Son abundantes en el medio acuático, gracias a su capacidad de adaptarse a un entorno de sistemas de agua desnutridos, son capaces de sobrevivir a otros microorganismos en el agua.

pH. - Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Temperatura. -Es uno de los factores que más afectan el crecimiento y la viabilidad, los microorganismos pueden crecer desde temperaturas de 0° C o menores hasta 100 °C o más.

Eficiencia del tratamiento. - Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.

Efluente. - Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Impacto ambiental. - Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

Límite máximo permisible (LMP). - Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Muestreo. - Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

Parámetro. - Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica de un efluente que define su calidad y que se encuentra regulado por norma.

Bacterias. - Se encuentran en mayor cantidad en el agua, habitan en las vías entéricas, o el tracto gastrointestinal del ser humano y luego son eliminadas en las heces.

Estándares de calidad ambiental (ECA). -Son indicadores de la calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

- Papel bond A4.
- Lapiceros (rojo, azul y negro).
- Libreta de apuntes.
- USB.
- Folder.
- Ficha técnica de cadena de custodia de muestras.
- Plumón indeleble.
- Capota.
- Resaltador.
- Computadora portátil – Laptop.
- Cámara fotográfica.
- GPS Garmin 650.
- Coolers de conservar las muestras de agua.
- Frasco de polietileno.
- Vaso de precipitado.

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo y nivel de investigación

✓ **Tipo de investigación:**

Básica: Se define como aquella actividad orientada a la busque de nuevos conocimientos y nuevos campos de investigación sin un fin práctico específico.

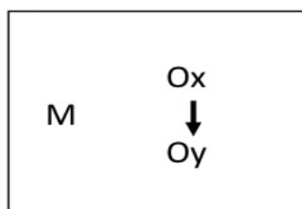
✓ **Nivel de investigación:** De acuerdo a la orientación.

Descriptivo: Tienen como objetivo indagar las incidencias y los valores en que se manifiestan una o más variables o ubicar, categorizar y proporcionar una visión de una comunidad, un evento, un contexto, un fenómeno o una situación, (Hernández, 2013).

2.2.2. Diseño de Investigación

Para la investigación se utilizó el diseño descriptivo, causal explicativo, en el que se buscó las causas que influyeron en la modificación de la variable dependiente y posteriormente describir cómo se dio esa influencia.

Esquema general:



Donde:

M : Muestra en quien se realiza el estudio.

Ox : Observación de la variable que influye.

→ : Influencia.

Oy : Observación de la variable influida.

2.2.3. Población y muestra

- **Población:** La población estuvo conformada por el caudal del río Naranjos 24.72 m³/s. (EDZ Rioja, 2012) y el caudal de agua residual 3.55 m³/s, medidos en campo.
- **Muestra:** Por las características de la investigación se tomaron dos muestras, la primera muestra cuyo volumen de agua de río fue de 13.2 litros y la segunda muestra de 7.8 litros de aguas residuales, cuyo volumen fue determinado con volúmenes mínimos para análisis de laboratorio.

2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.2.4.1. Técnicas

- **Observación sistemática:** Permitió recabar información diagnóstica para complementar la caracterización del problema y realizar apreciaciones de la muestra de estudio.

- **Fichaje:** Está técnica sirvió para la transcripción de teorías relacionadas con el tema, objeto de investigación.
- **Muestreo:** El tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional mediante la selección en puntos representativos del río Naranjos, tomando como referencia las descargas de aguas residuales.
- **Caracterización del agua:** Se midieron diferentes parámetros para la caracterización del agua del río Naranjos, y descargas de aguas residuales producido por tres centros poblados asentados en las riberas. El estudio se realizó sobre el cauce principal del río Naranjos, como se observa en el mapa 01 y las estaciones definidas en el mapa 02 en los anexos 01 y 02 respectivamente.
- **Pruebas de laboratorio:** Técnica que permitió medir los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua del río Naranjos, antes y después de las descargas de aguas residuales domésticas.

Tabla 6

Métodos de ensayo.

Ensayo	Unidad	Método de ensayo utilizado
Oxígeno disuelto	mg/L	HI98193 Medidores portátiles Waterproof Oxígeno Disuelto y DBO.
Coliformes Fecales	NTC/100mL	Filtración por membrana.
pH	Medidor de pH HI 9811.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	HI98193 Medidores portátiles Waterproof Determinación de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), grado de absorción de oxígeno (OUR) y grado de absorción específico de oxígeno (SOUR)
Temperatura	°C	Termómetro ambiental
Fosfatos	mg/L	Equipo colorímetro DR900
Nitratos	mg/L	Equipo colorímetro DR900
Turbiedad	UNT	The TURBIQUANT 1100 is a portable turbidimeter which works on batteries.
Solidos Totales	ppm	Medidor Multi parámetro HI 9828

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2. Instrumentos

- **Ficha técnica de recolección de datos:** Se usaron para registrar los datos de campo y resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio como se muestra en el anexo 06.
- **Frascos esterilizados:** Se usaron para la toma de muestras de agua, y posteriormente conducirlo al laboratorio de análisis.
- **Cooler:** Usado para conservar las muestras a una temperatura ambiental y trasladar al laboratorio sin causar alteraciones.
- **Modelo de Streeter y Phelps:** Para determinar la capacidad de autodepuración del río Naranjos, primeramente, se analizó las condiciones iniciales, donde se analiza la calidad, del agua sin tener en cuenta las descargas de aguas residuales en ninguna de las estaciones de monitoreo establecidas, los datos se obtuvo realizando un conjunto de cálculos matemáticos propuestos en un modelo por (Streeter y Phelps, 1994), esto se aplicó a una muestra representativa de la población en estudio, con el fin de conocer estados iniciales y sin intervención de las aguas residuales.

1. Se analizó la demanda de oxígeno por tramos utilizando las siguientes formulas del modelo:

- ✓ Constante cinética de desoxigenación (K_1) de la ecuación 24 tenemos:

$$K_1 = 1.796 \times Q^{-0.49}$$

- ✓ La corrección de la constante se la realiza con la ecuación 04.

$$k_1 (T^{\circ}C) = k_1 (20^{\circ}C) \times \theta^{T-20^{\circ}C}$$

- ✓ Calculo de la DBO5 última: De la ecuación 2 tenemos:

$$L = L_0 \times e^{-k_1 \times t}$$

2. Luego se analiza el aporte de oxígeno por tramos utilizando las siguientes formulas:

- ✓ Calculo de la tasa de reaireación del río: De la tabla 2 asumimos.

$$K_2 = 0.69 \text{ día}^{-1}$$

- ✓ La corrección de la constante se la realiza con la ecuación 04.

$$k_2 (T^\circ\text{C}) = k_1 (20^\circ\text{C}) \times \theta^{T-20^\circ\text{C}}$$

Donde, la constante de variación de la temperatura θ , normalmente es 1,024.

- ✓ Cálculo del oxígeno de saturación a 1 atm de presión.

$$O_{\text{sat.}} = T_m - 0.41022(T_m) + 0.007991(T_m^2) - 0.000077774(T_m^3)$$

- ✓ Corrección del oxígeno de saturación a la de presión de trabajo.

$$P = 760 \times e^{\frac{-E}{8005}}$$

- ✓ El oxígeno disuelto de saturación corregido será:

$$OD_{\text{SC}} = O_{\text{sat}} \times \frac{P}{760}$$

- ✓ El déficit de oxígeno: De la ecuación 5 tenemos.

$$D = C_s - C_0$$

3. Luego se realiza el balance de oxígeno por tramos de la siguiente manera:

- ✓ El déficit neto de oxígeno en el tramo I es: De la ecuación 13 tenemos.

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t}$$

- ✓ El déficit crítico de oxígeno en el tramo:

$$D_C = \frac{K_1}{K_2} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_1 t}$$

- ✓ El tiempo crítico de oxígeno: De la ecuación 15 tenemos.

$$X_c = \frac{1}{k_1 - k_2} \times \ln \times \left(\frac{k_1}{k_2} \left(1 - D_0 \times \frac{k_1 - k_2}{k_1 \times L} \right) \right)$$

- ✓ El tiempo crítico es: De la ecuación 16 tenemos.

$$T_C = \frac{X_c}{v}$$

- **Modelo de balance de masas:** Para analizar la capacidad de autodepuración del río Naranjos se realizó el balance de masas propuesto por (Suárez, 2008), el cual se analiza las cargas contaminantes, tanto del río como de las descargas residuales de las localidades en los puntos de monitoreo. Esto permite determinar la distancia y tiempo que necesita

cierta descarga de agua residual para llegar a su punto crítico, y comenzar la recuperación de las aguas del río, mediante este proceso de cálculo también se determinó las concentraciones críticas de los contaminantes.

1. Cálculo de la concentración de la DBO₅ en el momento de mezcla.

De la ecuación 17 tenemos:

$$DBO_{5 \text{ Mezcla}} = \frac{Q_r \times DBO_r + Q_v \times DBO_v}{Q_r + Q_v}$$

2. Cálculo de la temperatura en el momento de mezcla.

$$T_{\text{Mezcla}} = \frac{Q_r \times T_r + Q_v \times T_v}{Q_r + Q_v}$$

3. Cálculo de la concentración de Oxígeno disuelto en el momento de mezcla.

$$OD_{\text{Mezcla}} = \frac{Q_r \times OD_r + Q_v \times OD_v}{Q_r + Q_v}$$

4. Cálculo modelo del oxígeno de saturación en el punto de mezcla.

$$O_{\text{sat.}} = T_m - 0.41022(T_m) + 0.007991(T_m^2) - 0.000077774(T_m^3)$$

Corrección del oxígeno de saturación a la de presión de trabajo:

$$P = 760 \times e^{\frac{-E}{8005}}$$

El oxígeno disuelto de saturación corregido:

$$OD_{\text{sc}} = O_{\text{sat}} \times \frac{P}{760}$$

5. Cálculo modelo del déficit de oxígeno inicial en el tramo del vertido.

$$D_o = OD_{\text{sc}} - O_{\text{Mezcla}}$$

6. Cálculo de las constantes cinéticas de autodepuración.

✓ **Constante de desoxigenación:** De la ecuación 24 tenemos:

$$K_1 = 1.796 \times Q^{-0.49}$$

La corrección de la constante se la realiza con la ecuación 25. Donde, la constante de variación de la temperatura θ , (1,047).

✓ **Constante de reaireación:** En este caso usaremos la tabla 02 (Valores típicos de (k_2) en cuerpos de agua a 20°C).

$$K_2 = 0.69 \text{ día}^{-1}$$

La corrección de la constante se la realiza con la ecuación 25. Donde, la constante de variación de la temperatura θ , es 1,024 para la reaireación.

7. Calculo del tiempo crítico y distancia crítica:

$$X_c = \frac{1}{k_1 - k_2} \times \ln \times \left(\frac{k_1}{k_2} \left(1 - D_o \times \frac{k_1 - k_2}{k_1 \times L} \right) \right)$$

8. El tiempo critico es:

$$T_c = \frac{X_c}{v}$$

9. Déficit crítico:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \times DBO_{5m} \times e^{(-k_1 \times t_c)}$$

10. Oxígeno crítico:

$$[O_2]_c = [O_2]_{sat} - D_c$$

11. La concentración de la materia orgánica o DBO critica:

$$DBO_{5\text{ crítico}} = DBO_{5m} \times e^{(-k_1 \times t_c)}$$

2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Al tratarse de una investigación descriptiva, no se seguirá un tratamiento, se contara con hipótesis de investigación, para la cual se seguirá el siguiente proceso:

- Los resultados serán contrastados mediante tablas, con los resultados de las modelos aplicados, se los comparara con los estándares de calidad ambiental del agua, vigentes mediante decreto supremo N°004-2017-MINAM. Apara ver si cumplen o no cumple. Además, se complementará con lo propuesto por (CONAGUA, 2006) según tabla 03, asignándoles una clasificación.
- Además los resultados serán contrastados, con la distancia crítica, tiempo crítico, evaluando las mayores y menores distancias y tiempos que tarda en llegar al punto crítico para luego recuperar las condiciones iniciales.
- Contrastar los resultados en función de los índices de calidad del agua (ICA), metodología propuesto por ANA (2018), con Resolución Jefatural N°068-2018-ANA.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Características físicas, química biológica e hidrológicas río Naranjos.

1. Características hidrológicas río Naranjos.

Para determinar las características hidrológicas del río Naranjos, se utilizó el método del área por velocidad, con el cual se determinó el caudal y velocidad del flujo de agua.

Tabla 7

Caudal del río Naranjos en (m³/s)

Datos	Caudal del río Naranjos (m ³ /s)		
	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Meses			
Julio	12.68	13.07	12.88
Agosto	12.68	14.55	13.82
Septiembre	14.34	14.55	13.82
Octubre	21.00	21.84	20.68
Noviembre	15.56	16.44	16.24
Diciembre	21.00	21.91	20.27

Caudal aforado en campo por el método del área y velocidad, los meses de: julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre en las tres estaciones de monitoreo.

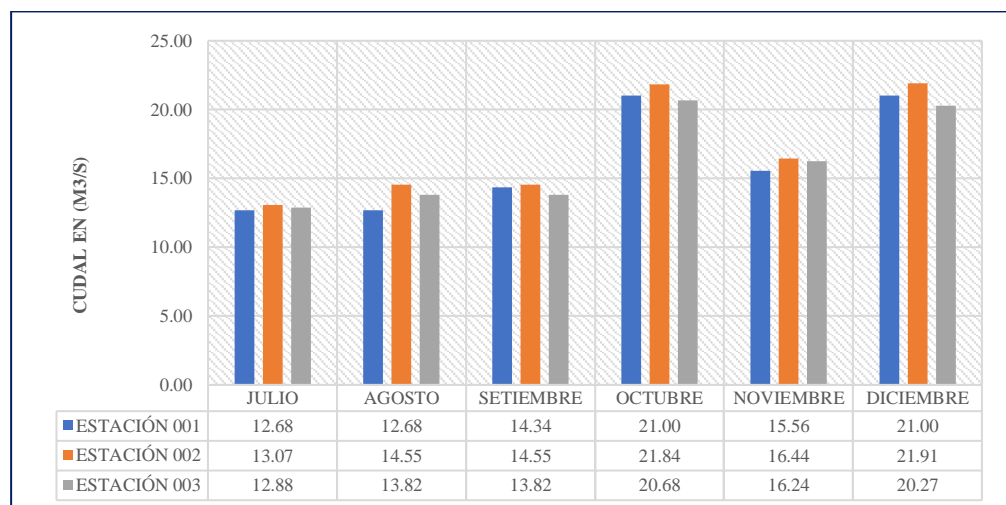


Figura 3. Caudal del río Naranjos.

Nota: En la gráfica se aprecia la variación del caudal del río Naranjos, monitoreado en 06 meses, en las tres estaciones definidas para esta investigación, los meses de julio, agosto y septiembre, presentan los caudales más bajos variando de 12 a 14 m³/s, octubre y diciembre presentan los caudales más elevados variando de 20 a 21.91 m³/s. dando a conocer claramente las dos estaciones del año tanto en época estiaje e invierno.

Tabla 8

Velocidad del río Naranjos (m/s).

Datos	Velocidad del río Naranjos (m/s)		
Meses	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Julio	0.81	0.81	0.82
Agosto	0.81	0.87	0.84
Septiembre	0.87	0.87	0.84
Octubre	1.09	1.12	1.09
Noviembre	0.82	0.84	0.84
Diciembre	1.09	1.12	1.07

Velocidad de flujo de agua medido en campo por el método del flotador, los meses de: julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre en las tres estaciones de monitoreo.

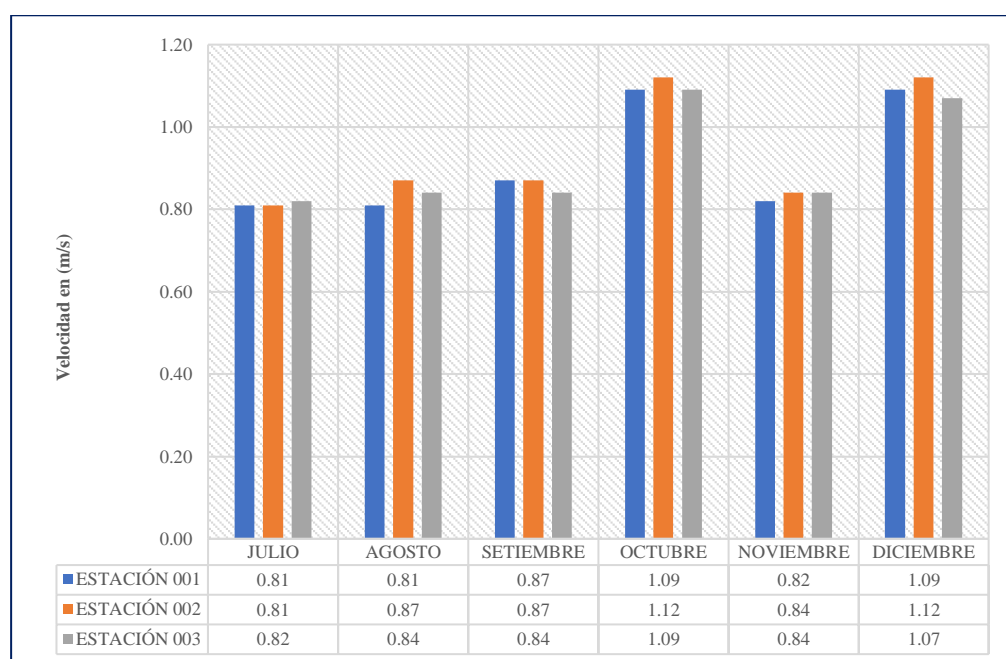


Figura 4. Variación de la velocidad del río Naranjos.

Nota: En la gráfica se aprecia las variaciones de las velocidades de las corrientes de agua del río Naranjos, en para esta investigación se tomaron los datos de los meses de septiembre y diciembre para los respectivos análisis de oxígeno disuelto y balance de masas, en las tres estaciones monitoreadas se puede ver que la velocidad varía entre 0.81 y 1.12 m/s, clasificando al río Naranjos como río con velocidad media, según Suárez J. (2008). De esta manera podemos elegir de las tablas los valores de las constantes para la posterior corrección de a las condiciones dadas en esta investigación.

2. Caracterización física, química y biológica del agua del río Naranjos.

Para la caracterización física, química y biológica, del agua del río Naranjos se utilizó el laboratorio de Biología y Química de la Universidad Nacional de San Martín, facultad de Ecología, los análisis se realizaron en presencia del asesor de tesis.

A. Estación N° 001: San Agustín (septiembre del 2017).

Tabla 9

Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 001.

Estación N°001- San Agustín - Agua de río			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura Ambiente	°C	Δ 3	22.00
Temperatura Agua	°C	Δ 3	14.50
Coliformes Totales	UFC/100mL	2000	460.00
Turbiedad	UNT	5	2.00
pH	pH	6.5 – 9.0	8.63
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 400	101.00
Fosfatos	mg/L	250	47.00
Nitratos	mg/L	13	0.30
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	6.11
DBO ₅	mg/L	10	4.37

Primera caracterización fisicoquímica del agua del río Naranjos en la localidad de San Agustín (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

Tabla 10

Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 001.

Estación N°001- San Agustín - Agua residual			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura	°C	Δ 3	19.00
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	3.62
DBO ₅	mg/L	10	120.00

Primera caracterización fisicoquímica de la descarga de agua residual domestica de la localidad de San Agustín (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

B. Estación N°002: El Diamante (septiembre del 2017).

Tabla 11

Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 002.

Estación N°002- El Diamante - Agua de río			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura Ambiente	°C	Δ 3	22.50
Temperatura Agua	°C	Δ 3	14.50
Coliformes Totales	UFC/100mL	2000	420
Turbiedad	UNT	5	2.63
pH	pH	6.5 – 9.0	8.49
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 400	108.00
Fosfatos	mg/L	250	3.00
Nitratos	mg/L	13	1.10
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	4.74
DBO ₅	mg/L	10	4.36

Primera caracterización fisicoquímica del agua del río Naranjos en la localidad de El Diamante (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

Tabla 12

Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 002.

Estación N°002- El Diamante - Agua residual			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura	°C	Δ 3	19.50
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	2.45
DBO5	mg/L	10	116.00

Primera caracterización fisicoquímica de la descarga de agua residual domestica de la localidad de El Diamante (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

C. Estación N°003: Naranjos (septiembre del 2017).

Tabla 13

Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 003.

Estación N°003-Naranjos - Agua de río			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura Ambiente	°C	Δ 3	21.50
Temperatura Agua	°C	Δ 3	14.00
Coliformes Totales	UFC/100mL	2000	780.00
Turbiedad	UNT	5	5.60
pH	pH	6.5 – 9.0	8.40
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 400	113.00
Fosfatos	mg/L	250	4.00
Nitratos	mg/L	13	1.50
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	5.59
DBO5	mg/L	10	5.60

Primera caracterización fisicoquímica del agua del río Naranjos en la localidad de Naranjos (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

Tabla 14

Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 003.

Estación N°003- Naranjos - Agua residual			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura	°C	Δ 3	22.5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	2.4
DBO5	mg/L	10	220

Primera caracterización fisicoquímica de la descarga de agua residual domestica de la localidad de Naranjos (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

D. Estación N° 001. San Agustín (diciembre del 2017).

Tabla 15

Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 001.

Estación N°001- San Agustín - Agua de río			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura Ambiente	°C	Δ 3	21.00
Temperatura Agua	°C	Δ 3	14.00
Coliformes Totales	UFC/100mL	2000	640.00
Turbiedad	UNT	5	12.03
pH	pH	6.5 – 9.0	8.39
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 400	110.00
Fosfatos	mg/L	250	7.90
Nitratos	mg/L	13	1.50
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	6.40
DBO5	mg/L	10	9.00

Segunda caracterización fisicoquímica del agua del río Naranjos en la localidad de San Agustín (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

Tabla 16

Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 001.

Estación N°001- San Agustín - Agua residual			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura	°C	Δ 3	19.50
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	1.90
DBO5	mg/L	10	158.00

Segunda caracterización fisicoquímica de la descarga de agua residual domestica de la localidad de San Agustín (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

E. Estación N°002: El Diamante (diciembre del 2017).

Tabla 17

Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 002.

Estación N°002- El Diamante - Agua de río			
Parámetros	unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura Ambiente	°C	Δ 3	22.00
Temperatura Agua	°C	Δ 3	15.00
Coliformes Totales	UFC/100ML	2000	535.00
Turbiedad	UNT	5	16.32
pH	pH	6.5 – 9.0	8.33
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 400	106.00
Fosfatos	mg/L	250	3.40
Nitratos	mg/L	13	0.00
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	6.17
DBO5	mg/L	10	8.45

Segunda caracterización fisicoquímica del agua del río Naranjos en la localidad de El Diamante (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

Tabla 18

Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 002.

Estación N°002- El Diamante - Agua residual			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura	°C	Δ 3	18.00
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	2.02
DBO5	mg/L	10	128.00

Segunda caracterización fisicoquímica de la descarga de agua residual domestica de la localidad de El Diamante (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

F. Estación N°003: Localidad de Naranjos (diciembre del 2017).

Tabla 19

Caracterización fisicoquímica del agua del río Estación 003.

Estación N°003-Naranjos -Agua de río			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura Ambiente	°C	Δ 3	22.00
Temperatura Agua	°C	Δ 3	14.00
Coliformes Totales	UFC/100mL	2000	866.00
Turbiedad	UNT	5	14.60
pH	pH	6.5 – 9.0	8.35
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	≤ 400	96.00
Fosfatos	mg/L	250	2.60
Nitratos	mg/L	13	0.00
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	6.26
DBO5	mg/L	10	18.00

Segunda caracterización fisicoquímica del agua del río Naranjos en la localidad de Naranjos (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

Tabla 20

Caracterización fisicoquímica, agua residual Estación 003.

Estación N°03- Naranjos- Agua residual			
Parámetros	Unidad	ECA (4)	Resultado
Temperatura	°C	Δ 3	20.00
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	2.64
DBO5	mg/L	10	238.00

Segunda caracterización fisicoquímica de la descarga de agua residual doméstica de la localidad de Naranjos (resultado); ECA (estándar de calidad ambiental, categoría 4 para ríos de selva).

3.1.2. Calidad del agua del río Naranjos, mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración.

Para el análisis de la calidad del agua por medio de los coeficientes cinéticos de autodepuración, se realizó por medio del modelo de (Streeter y Phelps, 1994) y posteriormente aplicando el modelo de balance de masas, ver cálculo en anexo 07.

1. Calidad del agua por el modelo de Streeter y Phelps.

A. Primer análisis para el mes de setiembre.

Tabla 21

Datos Tramo I y II, río Naranjos, mes de setiembre.

Datos	Tramo I	Tamo II	Und.
Tiempo	0.042	0.091	días
Distancia	3160	6830	Metros
OD	6.11	4.74	mg/L
DBO ₅	4.37	4.36	mg/L
Caudal(Q)	14.32	14.55	m ³ /s
Velocidad	0.87	0.87	m/s
Altitud	1082	1042	m.s.n.m.

Datos medidos en campo y laboratorio de calidad del agua para el mes de septiembre, en las tres estaciones de monitoreo.

Tomando los datos de la tabla 20, que son las características hidráulicas y los análisis de laboratorio, siguiendo la misma metodología del análisis de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno presentado en el tramo I y II, hallándose los siguientes resultados:

Tabla 22

Cálculo en el tramo I y II por modelo de Streeter y Phelps.

Descripción	Símbolo	Valor		Und.
		Tramo I	Tramo II	
Constante cinética de desoxigenación	K_1	0.37	0.38	días ⁻¹
Demanda bioquímica de oxígeno última	L	4.40	4.21	mg/L
Constante cinética de reaireación	k_2	0.598	0.61	días ⁻¹
Oxígeno de saturación a 1atm de presión	O_{sat}	9.96	10.00	mg/L
Presión de trabajo	P	663.91	667.24	mmHg
El oxígeno disuelto de saturación corregido	OD_{sc}	8.70	8.78	mg/L
déficit inicial de oxígeno	D	2.59	4.04	mg/L
El déficit neto de oxígeno	D_n	2.59	4.10	mg/L
El déficit crítico de oxígeno	D_c	2.53	3.97	mg/L
Distancia crítica	X_c	0.72	0.07	km
Tiempo crítico	T_c	827.59	76.77	segundos

Cálculo de las constantes cinéticas de autodepuración mediante el modelo de Streeter y Phelps para el mes de septiembre, con las cuales se determinó los parámetros y distancia críticas, para los tramos I y II, después de las descargas de aguas residuales domésticas en el río Naranjos.

B. Segundo análisis mes de diciembre.

Para el segundo análisis realizado en el mes de diciembre: se siguió la misma metodología, analizando tramo I y tramo II, tomando los datos de la tabla 22 que son las características hidráulicas y los análisis de laboratorio, siguiendo la misma metodología del análisis de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.

Tabla 23

Tramo I y Tramo II del río Naranjos, mes de diciembre.

Datos	Tamo I	Tamo II	Und.
Tiempo	0.04	0.09	días
Distancia	3160.00	6830.00	Metros
OD	6.40	6.17	mg/L
DBO ₅	9.00	8.45	mg/L
Caudal(Q)	21.00	21.91	m ³ /s
Velocidad	1.09	1.12	m/s
Altitud	1082.00	1042.00	m.s.n.m.

Datos medidos en campo y laboratorio de calidad del agua para el mes de diciembre, en las tres estaciones de monitoreo.

Para el segundo análisis realizado en el mes de diciembre Se calculó para el tramo I y tramo II siguiendo la misma metodología del análisis de oxígeno disuelto, hallándose los siguientes resultados:

Tabla 24

Cálculo en el tramo I y Tramo II, mes de diciembre.

Descripción	Símbolo	Valor		Und.
		Tramo I	Tramo II	
Constante cinética de desoxigenación	K ₁	0.31	0.32	días ⁻¹
Demanda bioquímica de oxígeno-última	L	8.88	8.21	mg/L

Constante cinética de reaireación	k_2	0.598	0.55	días ⁻¹
Oxígeno de saturación a 1atm de presión	O_{sat}	9.96	10.38	mg/L
Presión de trabajo	P	63.91	567.24	mmHg
El oxígeno disuelto de saturación corregido	OD_{sc}	8.70	9.11	mg/L
déficit inicial de oxígeno	D	2.30	2.94	mg/L
El déficit neto de oxígeno	D_n	2.36	3.01	mg/L
El déficit crítico de oxígeno	D_c	2.25	2.797	mg/L
Distancia crítica	X_c	1.532	1.275	km
Tiempo crítico	T_c	1406	1138	segundos

Cálculo de las constantes cinéticas de autodepuración mediante el modelo de Streeter y Phelps para el mes de diciembre, con las cuales se determinó los parámetros y distancia críticas, para los tramos I y II, después de las descargas de aguas residuales domésticas en el río Naranjos.

De las dos mediciones realizadas tanto en septiembre como en diciembre, analizamos para el tramo I y tramo II la variación de la demanda bioquímica de oxígeno, sin la intervención de las descargas de aguas residuales.

Tabla 25

Variación de la DBO₅.

Datos	Tramo I		Tramo II	
	Inicial	Última	Inicial	Última
Septiembre	4.37	4.3	4.36	4.21
Diciembre	9	8.88	8.45	8.21

Variación de la DBO₅, en los meses de septiembre y diciembre para los tramos I y II del río Naranjos.

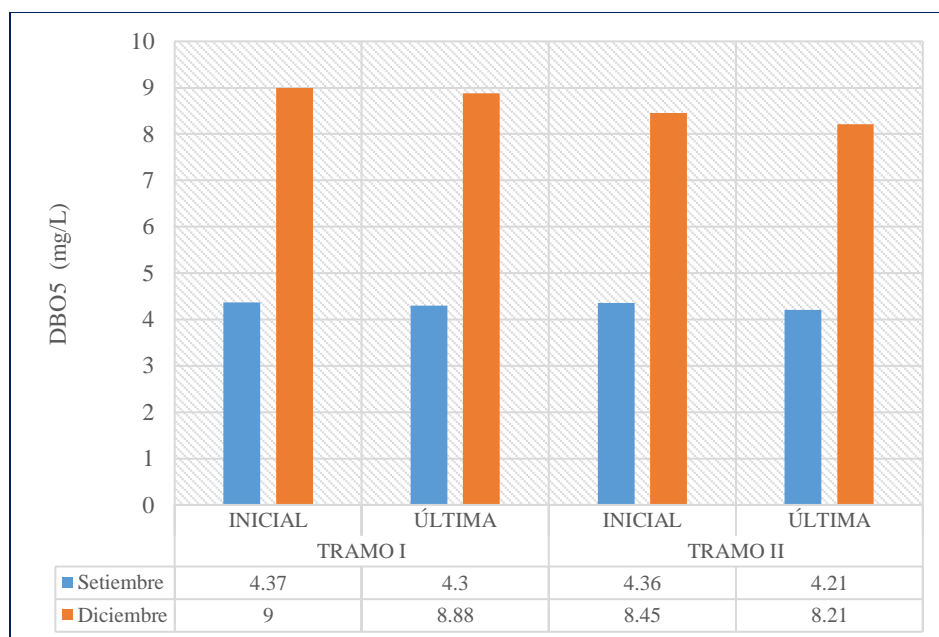


Figura 5. Variación de la DBO₅ (mg/L) en condiciones normales.

Nota: En el gráfico se aprecia la variación de la DBO₅, medida mediante el análisis de oxígeno disuelto. En este análisis se realizó sin tener en cuenta las descargas de agua residuales domésticas, claramente se puede apreciar la diferencia que entre los meses de monitoreo, en el mes de diciembre los resultados de DBO₅ son más altos que en septiembre debiéndose a las precipitaciones de ese mes.

Tabla 26

Variación de la OD.

Datos	Tramo I		Tramo II	
	OD Inicial	OD Crítico	OD Inicial	OD Crítico
Septiembre	6.11	2.53	4.74	3.97
Diciembre	6.4	2.25	6.17	2.797
OD Crítico Min.	5.00	5.00	5.00	5.00

Variación de la OD (oxígeno disuelto), en los meses de septiembre y diciembre para los tramos I y II del río Naranjos, comparado con el oxígeno disuelto crítico mínimo para el desarrollo de la vida acuática.

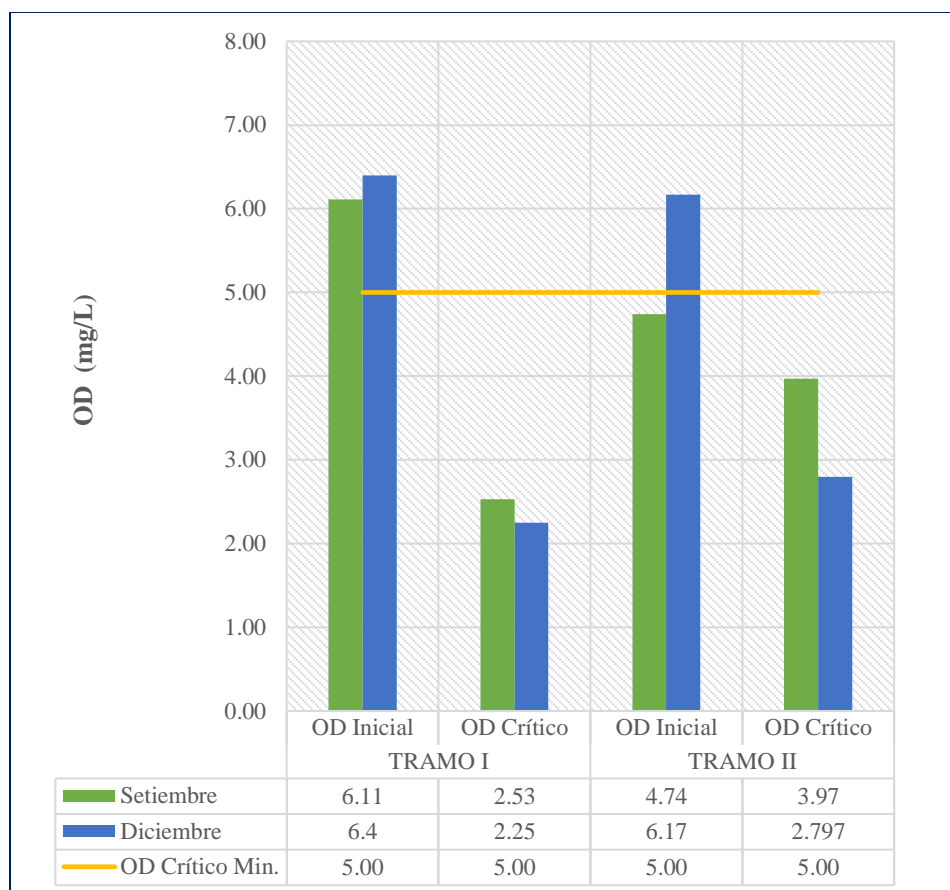


Figura 6. Variación de OD (mg/L) en condiciones normales.

Nota: En la figura se puede apreciar el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno crítico, que indica el nivel más bajo de oxígeno disuelto que puede llegar a presentar el cuerpo de agua del río Naranjos, en el proceso de autodepuración o degradación de la materia orgánica, esto comparado con el oxígeno mínimo necesario para el desarrollo de la mayoría de los seres vivos que acuáticos presentado en la tabla 4.

2. Calidad del agua del Río Naranjos por el balance de masas.

Los datos obtenidos en el laboratorio más los parámetros hidráulicos nos servirá para analizar en este tramo del río lo siguiente: Calcular los valores críticos de oxígeno disuelto (concentración, posición, materia orgánica en ese punto) cuando se produce el siguiente vertido de aguas residuales urbanas efectuado en distintas condiciones en invierno y en verano. Comparar los resultados.

A. Primer análisis de muestras (septiembre del 2017).

Tabla 27

Características del río aguas arriba del punto de vertido.

Parámetros	Resultado		
	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Caudal (m ³ /s)	14.32	14.55	13.82
Velocidad (m/s)	0.869	0.87	0.84
Materia orgánica, L ₀ (mg/L) o DBO	4.37	4.36	5.6
Oxígeno Disuelto	6.11	4.74	5.59
Temperatura (°C)	14.5	14.5	14

Características físicas, químicas e hidrológicas del río Naranjos aguas arriba del punto de vertido de aguas residuales, medidos en las tres estaciones de monitoreo para el mes de septiembre.

Tabla 28

Características del agua residual.

Parámetros	Resultado		
	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Caudal (m ³ /s)	0.57	0.35	2.5
Materia orgánica, L ₀ (mg/L) o DBO	120	116	220
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3.66	2.45	2.4
Temperatura (°C)	19	19.5	20.5

Características físicas, químicas e hidrológicas del agua residual doméstica en el punto de vertido de aguas residuales, medidos en las tres estaciones de monitoreo para el mes de septiembre.

Tabla 29

Resultado del modelo de balance de masas.

Datos	Estación 001	Estación 002	Estación 003	UND
DBO ₅ (Mezcla)	8.796	6.980	38.440	mg/L
Temperatura de mezcla.	14.67	14.620	14.990	°C
Oxígeno disuelto de mezcla	6.02	4.700	5.100	mg/L
Oxígeno de saturación de mezcla.	8.846	8.860	9.220	mg/L
Déficit de oxígeno inicial	2.826	4.160	4.120	mg/L
Constante de desoxigenación	0.382	0.380	0.400	días ⁻¹
Constante de reaireación	0.61	0.620	0.613	días ⁻¹
Distancia crítica	1.283	0.710	1.744	km
Tiempo critico	1475.13	814.490	2075.760	segundo
Déficit crítico	5.47	4.330	23.680	mg/L
Oxígeno crítico	3.376	4.516	-14.460	mg/L
DBO critica	8.74	6.960	38.073	mg/L

Cálculo de las constantes cinéticas de autodepuración mediante el modelo de balance de masas para el mes de septiembre, con las cuales se determinó los parámetros y distancia críticas, para las estaciones 001, 002 y 003, después de las descargas de aguas residuales domésticas en el río Naranjos.

B. Segundo análisis de muestras (diciembre del 2017).

Tabla 30

Características del río aguas arriba del punto de vertido.

Parámetros	Resultado		
	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Caudal (m ³ /s)	21	21.91	20.27
Velocidad (m/s)	1.09	1.12	1.07
Materia orgánica, L ₀ (mg/L) o DBO	9	8.45	18
Oxígeno Disuelto	6.4	6.17	6.26
Temperatura (°C)	14	15	14

Características físicas, químicas e hidrológicas del río Naranjos aguas arriba del punto de vertido de aguas residuales, medidos en las estaciones de monitoreo 001, 002 y 003 para el mes de diciembre, donde se muestra la variación de caudal, materia orgánica, oxígeno disuelto y temperatura.

Tabla 31

Características del agua residual.

Parámetros	Resultado		
	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Caudal (m ³ /s)	0.6	0.33	2.62
Materia orgánica, L ₀ (mg/L) o DBO	158	128	238
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1.9	2.64	2.64
Temperatura (°C)	19.5	20	20

Características físicas, químicas e hidrológicas del agua residual doméstica en el punto de vertido de aguas residuales, medidos en las estaciones de monitoreo 001, 002 y 003 para el mes de diciembre, donde se muestra la variación de caudal, materia orgánica, oxígeno disuelto y temperatura.

Tabla 32

Resultado del modelo de balance de masas.

Datos	Estación 001	Estación 002	Estación 003	UND
DBO ₅ (Mezcla)	13.14	10.220	43.180	mg/L
Temperatura de mezcla.	14.15	15.070	14.690	°C
Oxígeno disuelto de mezcla	6.275	6.120	5.850	mg/L
Oxígeno de saturación de mezcla.	8.5	9.170	9.010	mg/L
Déficit de oxígeno inicial	2.225	3.050	3.160	mg/L
Constante de desoxigenación	0.32	0.316	0.320	días ⁻¹
Constante de reaireación	0.6	0.612	0.608	días ⁻¹
Distancia crítica	1.752	1.400	2.007	km

Tiempo crítico	1606.96	1250.250	1875.860	segundo
Déficit crítico	6.97	5.250	22.570	mg/L
Oxígeno crítico	-0.695	0.870	-16.720	mg/L
DBO crítica	13.06	10.170	42.880	mg/L

Cálculo de las constantes cinéticas de autodepuración mediante el modelo de balance de masas para el mes de diciembre, con las cuales se determinó los parámetros y distancia crítica, para las estaciones 001, 002 y 003, después de las descargas de aguas residuales domésticas en el río Naranjos.

Con los datos calculados del proceso de autodepuración en el río Naranjos en los meses de septiembre y diciembre, en las estaciones 001, 002 y 003 definidas en las localidades de (San Agustín, El diamante y Naranjos). Analizando con el modelo de balance de masas por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) tanto por el punto de mezcla como para el punto crítico, se nota la variación en los tres puntos obteniéndose lo siguiente:

Tabla 33

Variación de la DBO₅, por estación y mes de monitoreo.

Datos	Estación 001		Estación 002		Estación 003	
	DBO ₅ Mezcla	DBO ₅ Crítico	DBO ₅ Mezcla	DBO ₅ Crítico	DBO ₅ Mezcla	DBO ₅ Crítico
Septiembre	8.796	8.74	6.98	6.96	38.44	38.073
Diciembre	13.14	13.06	10.22	10.17	43.18	42.88

Variación de la DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), en los meses de septiembre y diciembre para las estaciones de monitoreo 001, 002 y 003 del río Naranjos, comparado con la DBO₅ crítica y en punto de mezcla.

Variación de la OD (oxígeno disuelto), en los meses de septiembre y diciembre para las estaciones de monitoreo 001, 002 y 003 del río Naranjos, comparado con el oxígeno disuelto crítica y en el punto de mezcla.

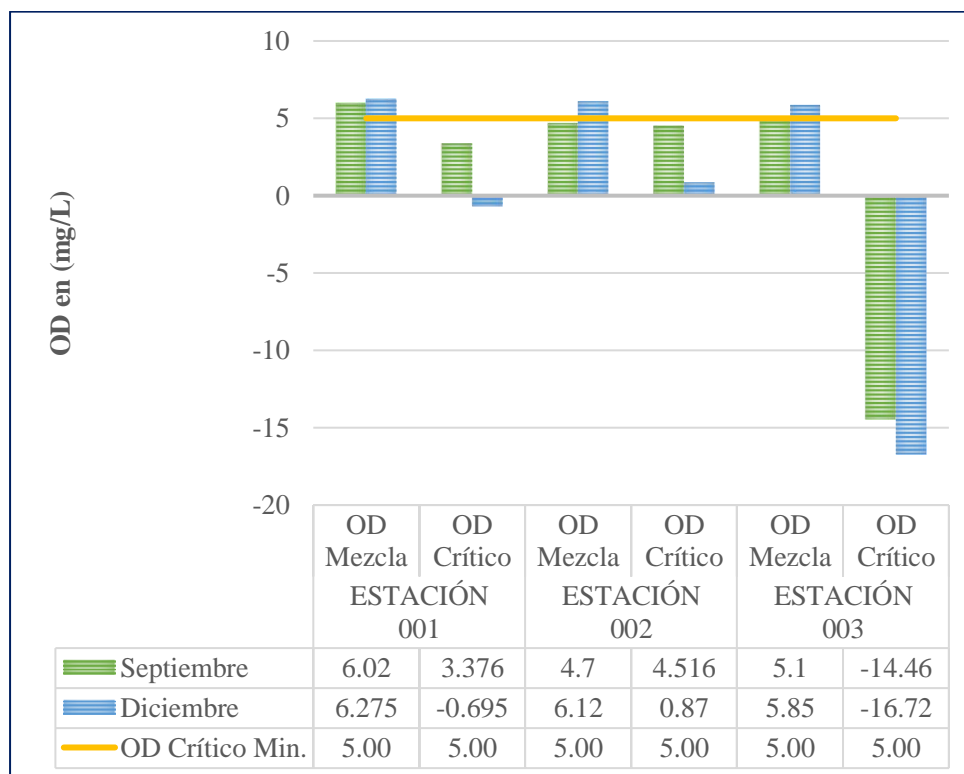


Figura 8. Variación de la OD, por estación y mes de monitoreo.

Nota: La diferencia entre las situaciones de septiembre y diciembre es muy grande. En diciembre, la concentración de oxígeno disuelto en el punto de mezcla es más alto que en septiembre. Los motivos por los cuales sucede esto son: El caudal del río es mayor en diciembre, lo cual hay más turbulencia y velocidad de flujo de masas de agua para la reoxigenación. La constante de velocidad de degradación de la materia orgánica o desoxigenación es menor en diciembre. También se aprecia valores similares de la constante de velocidad de reaireación para ambos meses. De otra forma el oxígeno disuelto en el punto crítico es inferior en diciembre que, en septiembre, debido al aumento de las descargas de aguas, esto a una misma tasa de reoxigenación hace más difícil el proceso de autodepuración, el mes de septiembre en la estación 003 el oxígeno disuelto llega a su punto más bajo siendo un valor negativo, lo mismo en diciembre en la estación 001 y 003, lo que indica contaminación orgánica en el río Naranjos para esos meses.

Tabla 35

Variación de la Temperatura, por estación de monitoreo.

DATOS	Estación 001			Estación 002			Estación 003		
	T Río	T agua res.	T Mezcla	T Río	T agua res.	T Mezcla	T Río	T agua res.	T Mezcla
Septiembre	14.5	19	14.67	14.5	19.5	14.62	14	20.5	14.99
Diciembre	14	19.5	14.15	15	20	15.07	14	20	14.69

Variación de la T (temperatura del agua del río Naranjos), en los meses de septiembre y diciembre para las estaciones de monitoreo 001, 002 y 003, donde se muestra las diferentes mediciones.

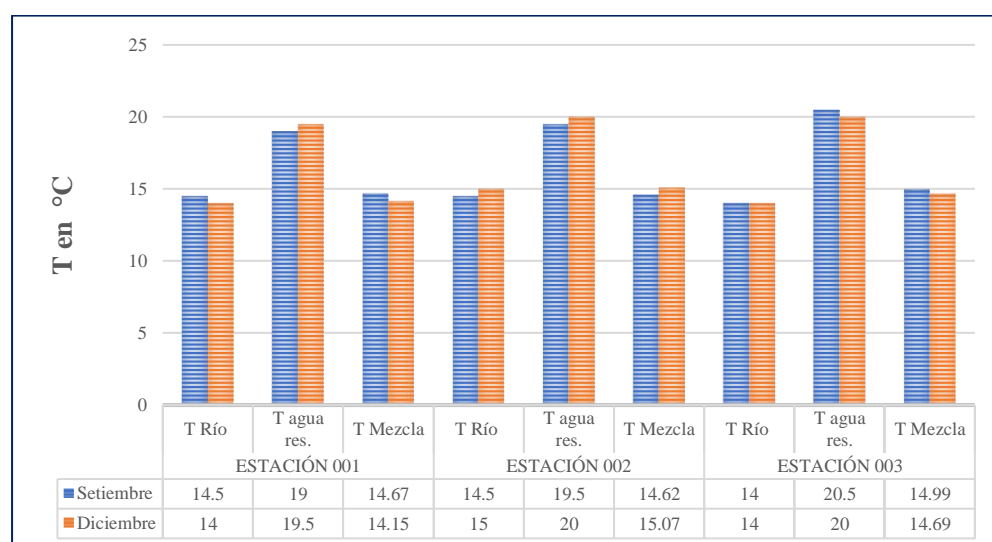


Figura 9. Variación de la Temperatura, por estación de monitoreo.

Nota: En la figura se aprecia la variación de la temperatura, en las diferentes estaciones y meses de monitoreo, y también se muestra la temperatura en el punto de mezcla, después del vertimiento de las aguas residuales domésticas. Se puede apreciar que el agua residual presenta temperatura más elevada que el agua de río, esto debido que el agua del río naranjos tiene sus orígenes en la altura del bosque de protección Alto Mayo y tiende siempre a presentar bajas temperaturas en comparación a otras fuentes de agua existentes en el distrito de Pardo Miguel.

3.1.3. Resultados de los índices de calidad de las aguas (ICA)

1. Primer análisis de muestras (septiembre del 2017).

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se empleó una aplicación en Microsoft Excel (Hoja de Cálculo), un macro donde se introduce los Datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F_1 , F_2 y F_3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, ICA- PE, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente (Ver Tabla N 05).

Para el río Naranjos en los dos meses de estudio nos dio resultados de 32.01 en septiembre y 37.15 en diciembre, clasificando a las aguas del río Naranjos como MALO lo que indica que: La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.

Tabla 36

Índice de calidad del agua ICA (septiembre).

Puntos de Monitoreo			Primer Muestreo			
Parámetros a Evaluar			ECA	Estación 001	Estación 002	Estación 003
Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos	Coliformes Fecales	NMP/100m L	50	460.00	420.00	780.00
	pH	—	6.5- 8.5	8.63	8.49	8.40
	DBO ₅	mg/L	3	4.37	4.36	5.60
	Nitratos	mg/L	10	0.30	1.10	1.50
	Fosfatos	mg/L	250	47.00	3.00	4.00
	Temperatura	°C	—	14.50	14.50	14.00
	Turbidez	UNT	5	2.00	2.63	5.60
	Solidos disueltos Totales	mg/L	1000	101.00	108.00	113.00
	Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	6.11	4.74	5.59

	Números de parámetros que NO cumplen	5
	Número Total de Parámetros a Evaluar	9
Datos	Número de datos que NO cumplen el ECA	10
	Número Total de Datos	27

Índice de calidad del agua (ICA) para el mes de septiembre, determinado mediante los parámetros de calidad del agua y los Estándares de calidad del agua (ECA), donde se evalúa los parámetros que cumplen y no cumplen con el ECA.

Tabla 37

Suma de excedentes, mes de setiembre.

	F1		55.56		
	F2		37.04		
Cálculo de los Factores del ICA-PE Excedentes de Cada Parámetro en Cada Monitoreo	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	8.20	7.40	14.60
	pH	—	0.02		
	DBO ₅	mg/L	0.46	0.45	0.87
	Nitratos	mg/L			
	Fosfatos	mg/L			
	Temperatura	°C			
	Turbidez	UNT	0.12		
	Sólidos disueltos Totales	mg/L			
	Oxígeno Disuelto	mg/L	0.27		0.07
	Sumatoria de los Excedentes		32.45		
	F3		97.01		
		32.01			
	ICA - CCME		Malo		

Índice de calidad del agua (ICA) para el mes de septiembre, determinado mediante los parámetros de calidad del agua y los Estándares de calidad del agua (ECA), se suman los excedentes de cada parámetro en función de los ECAs.

2. Segundo análisis de muestras (diciembre del 2017).

Tabla 38

Índice de calidad del agua ICA (diciembre).

Puntos de Monitoreo			Segundo Muestreo			
Parámetros a Evaluar	ECA	Estación 001	Estación 002	Estación 003		
Coliformes Fecales	NMP/100mL	50	640.00	535.00	866.00	
Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos	pH	—	8.39	8.33	8.35	
	DBO ₅	mg/L	3	9.00	8.45	18.00
	Nitratos	mg/L	10	1.50	0.00	0.00
	Fosfatos	mg/L	250	7.90	3.40	2.60
	Temperatura	°C	—	14.00	15.00	14.00
	Turbidez	UNT	5	12.03	16.32	14.60
	Sólidos disueltos Totales	mg/L	1000	110.00	106.00	96.00
	Oxígeno Disuelto	mg/L	> = 6	6.40	6.17	6.26
	Datos	Números de parámetros que NO cumplen			3	
	Número Total de Parámetros a Evaluar			9		
	Número de datos que NO cumplen el ECA			9		
	Número Total de Datos			27		

Índice de calidad del agua (ICA) para el mes de diciembre, determinado mediante los parámetros de calidad del agua y los Estándares de calidad del agua (ECA), donde se evalúa los parámetros que cumplen y no cumplen con el ECA.

Tabla 39

Suma de excedentes, mes de diciembre.

Cálculo de los Factores del ICA-PE Excedentes de Cada Parámetro en Cada Monitoreo	F1		33.33		
	F2		33.33		
	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	11.80	9.70	16.32
	pH	—			
	DBO ₅	mg/L	2.00	1.82	5.00
	Nitratos	mg/L			
	Fosfatos	mg/L			
	Temperatura	°C			
	Turbidez	UNT	1.41	2.26	1.92
	Sólidos disueltos Totales	mg/L			
	Oxígeno Disuelto	mg/L			
	Sumatoria de los Excedentes		52.23		
	F3		98.12		
	ICA - CCME		37.15		
		Malo			

Índice de calidad del agua (ICA) para el mes de diciembre, determinado mediante los parámetros de calidad del agua y los Estándares de calidad del agua (ECA), se suman los excedentes de cada parámetro en función de los ECAs.

3.1.4. Análisis de los resultados de investigación.

La prueba que se desarrolló para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondiente a la DBO₅ y OD se realizó mediante la evaluación de la eficiencia con el modelo matemático de Streeter y Phelps o modelo matemático del oxígeno disuelto y modelo de balance de masas.

- **Oxígeno disuelto (OD)**

En efecto los resultados del modelo muestran una variación del OD en cada tramo de la siguiente manera:

Análisis del OD inicial.

Datos		Setiembre	Diciembre	ECA	Evaluación
Tramo I	OD Inicial	6.11	6.4	≥ 5.00	Cumple ECA-Agua, para los dos meses.
	OD Crítico	2.53	2.25	≥ 5.00	Excede ECA-Agua, para los dos meses.
Tramo II	OD Inicial	4.74	6.17	≥ 5.00	Cumple ECA-Agua, para el segundo mes.
	OD Crítico	3.97	2.797	≥ 5.00	Excede ECA-Agua, para los dos meses

Análisis del OD en el proceso de mezcla.

Datos		Septiembre	Diciembre	ECA	Evaluación
Estación 001	OD Mezcla	6.02	6.275	≥ 5.0	Cumple ECA-Agua, para los dos meses.
	OD Crítico	3.376	-0.695	≥ 5.0	Excede ECA-Agua, para los dos meses
				0	
Estación 002	OD Mezcla	4.7	6.12	≥ 5.0	Cumple ECA-Agua, para el segundo mes.
	OD Crítico	4.516	0.87	≥ 5.0	Excede ECA-Agua, para los dos meses.
				0	
Estación 003	OD Mezcla	5.1	5.85	≥ 5.0	Cumple ECA-Agua, para los dos meses.
	OD Crítico	-14.46	-16.72	≥ 5.0	Excede ECA-Agua, para los dos meses.
				0	

- **Un análisis de la materia orgánica en términos de DBO₅.**

En efecto los resultados del modelo muestran una variación del DBO₅ en cada estación de la siguiente manera:

Análisis del DBO en el proceso de mezcla.

Datos		Septiembre	Diciembre	ECA	Evaluación
Estación 001	DBO ₅ Mezcla	8.796	13.14	10	Cumple ECA-Agua, para el primer mes.
	DBO ₅ Crítico	8.74	13.06	10	Cumple ECA-Agua, para el primer mes.
Estación 002	DBO ₅ Mezcla	6.98	10.22	10	Cumple ECA-Agua, para el primer mes.
	DBO ₅ Crítico	6.96	10.17	10	Cumple ECA-Agua, para el primer mes.
Estación 003	DBO ₅ Mezcla	38.44	43.18	10	Excede ECA-Agua, para los dos meses.
	DBO ₅ Crítico	38.073	42.88	10	Excede ECA-Agua, para los dos meses.

Clasificación de la calidad del agua, según (CONAGUA, 2006)

Datos		Septiembre	Conagua	Evaluación
Estación 001	DBO ₅ Mezcla	8.796	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
	DBO ₅ Crítico	8.74	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
Estación 002	DBO ₅ Mezcla	6.98	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
	DBO ₅ Crítico	6.96	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
Estación 003	DBO ₅ Mezcla	38.44	30 < DBO ₅ < 120	Contaminada
	DBO ₅ Crítico	38.073	30 < DBO ₅ < 120	Contaminada

Clasificación de la calidad del agua, según (CONAGUA, 2006)

Datos		Diciembre	Conagua	Evaluación
Estación 001	DBO ₅ Mezcla	13.14	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
	DBO ₅ Crítico	13.06	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
Estación 002	DBO ₅ Mezcla	10.22	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
	DBO ₅ Crítico	10.17	6.0 < DBO ₅ < 30.0	Aceptable
Estación 003	DBO ₅ Mezcla	43.18	30 < DBO ₅ < 120	Contaminada
	DBO ₅ Crítico	42.88	30 < DBO ₅ < 120	Contaminada

Donde:

Aceptable: Con indicio de contaminación, con capacidad de dilución o con descargas biotratadas.

Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas contaminadas no tratadas.

Posteriormente se calculó la distancia crítica para que el oxígeno en la estación 001 centro poblado de San Agustín, para que llegue al valor mínimo u oxígeno crítico, obteniendo una distancia crítica ($X_c = 1.752$ km), que está dentro del rango analizado, necesitando un tiempo crítico para recorrer ($T_c = 1609.96$ segundos), para la estación 002 centro poblado El Diamante se obtuvo una distancia crítica ($X_c = 1.4$ km), que está dentro del rango analizado, necesitando un tiempo crítico para recorrer esa distancia ($T_c = 1250.25$ segundos) y para la estación 003 localidad de Naranjos se obtuvo una distancia crítica ($X_c = 2.007$ km), que está dentro del rango analizado, necesitando un tiempo crítico para recorrer esa distancia ($T_c = 1875.86$ segundos). Se observa que en la estación 003 de la localidad de Naranjos la recuperación de la calidad del agua del río Naranjos después del vertido de aguas residuales domésticas lleva más tiempo y distancia de recorrido para que el agua comience a recuperar su calidad, seguido por la estación 001 y 002 respectivamente.

- **Conclusión:**

En los tramos y estaciones de monitoreo algunos parámetros exceden los ECA-agua, también en relación a DBO_5 , en la estación 003 de la localidad de Naranjos para el punto de mezcla y crítico no tiene la eficiencia de autodepuración correspondiente, encontrándose valores superiores a 30 mg/L de DBO_5 , clasificándose según CONAGUA como Agua contaminada con presencia de descargas de aguas residuales no tratadas. Por lo tanto, este resultado permite declarar parcialmente: *“El proceso de autodepuración, determinado mediante los coeficientes cinéticos, permite recuperar la calidad del agua del río Naranjos, después de la después de una descarga de aguas residuales doméstica y cumplir con los estándares de calidad ambiental del agua, distrito de Pardo Miguel - San Martín 2017”*.

3.2. Discusión

- En la evaluación hidrológica del río Naranjos, se encontró que los caudales experimentan un incremento en algunas fechas, pero a su vez decrecen en otras. Como muestra de aquello, la fecha en la que hubo mayor caudal fue diciembre, registrando un caudal de 21 m³/s en la estación 001, alcanzando los 2.91m³/s en la estación 002, y 20. 27 en la estación 003. También, se observa las velocidades de las corrientes de agua, siendo la velocidad más rápida 1.12 m/s en los la estación 002 de los meses de octubre y diciembre; también, se muestra la menor velocidad registrado 0.81 m/s en los meses de julio y agosto en las estaciones 001 y 002; presentando una velocidad promedio de 0.92 m/s. demostrando ser un río caudaloso, con comparación con (Gutiérrez, 2015) en su trabajo de investigación “Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la auto purificación de un río de montaña para el Área Metropolitana de Bucaramanga”, encontró caudal aforado en 1.8 m³/s,
- Caracterización fisicoquímica del agua del Río Naranjos, en la primera caracterización en la estación 001 encontramos, OD 6.11mg/L, DBO₅ 4.37 mg/L en el río; OD 3.62 mg/L, DBO₅ 120 mg/L, en el agua residual del centro poblado San Agustín. En la estación 002 encontramos, OD 4.74 mg/L, DBO₅ 4.36 mg/L en el río; OD 2.45 mg/L, DBO₅ 116 mg/L, en el agua residual del centro poblado El Diamante. En la estación 003 encontramos, OD 5.59 mg/L, DBO₅ 5.60 mg/L en el río, OD 2.4 mg/L, DBO₅ 220 mg/L, en el agua residual de la localidad de Naranjos. En la segunda caracterización en la estación 001 encontramos, OD 6.40 mg/L, DBO₅ 9 mg/L en el río; OD 1.90 mg/L, DBO₅ 158 mg/L, en el agua residual del centro poblado San Agustín. En la estación 002 encontramos, OD 6.17 mg/L, DBO₅ 8.45 mg/L en el río; OD 2.02 mg/L, DBO₅ 128 mg/L, en el agua residual del centro poblado El Diamante. En la estación 003 encontramos, OD 6.26 mg/L, DBO₅ 18 mg/L en el río; OD 2.64 mg/L, DBO₅ 238 mg/L, en la descarga de agua residual de la localidad de Naranjos. En comparación con la investigación de (Carrera, 2011), quien encontró DBO 5.38 mg/L, del mismo modo (Gutiérrez, 2015), en su investigación encontró OD 8 mg/L y DBO 2 mg/L en el río y DBO de 80 mg/L y 400 mg/L en el agua residual, valores similares a esta investigación donde se concluye que los ríos tienen alta capacidad de autodepuración.

- Mediante el modelo de Streeter y Phelps, se calculó la constante constante de desoxigenación. En la primera medición, para el tramo I se encontró una constante cinética de desoxigenación ($K_1 = 0.37 \text{ día}^{-1}$), y para el tramo II se encontró un ($K_1 = 0.38 \text{ día}^{-1}$), un valor similar donde indica que el río mantiene la similitud de desoxigenación. El cálculo de la constante constante de reoxigenación K_2 se encontró para el tramo I ($K_2 = 0.598 \text{ día}^{-1}$). En el tramo II se encontró una ($K_2 = 0.61 \text{ día}^{-1}$), demostrando que el tramo II tiene una mayor reoxigenación que el tramo I. Mediante el modelo de balance de masas, encontró la constante constante de desoxigenación K_1 y reoxigenación K_2 , para la estación 001 ($K_1 = 0.382 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.61 \text{ día}^{-1}$), para la estación 002 ($K_1 = 0.38 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.62 \text{ día}^{-1}$), para la estación 003 ($K_1 = 0.40 \text{ día}^{-1}$) y ($K_2 = 0.613 \text{ día}^{-1}$), la cual concuerda con (Rivera, 2008), en su trabajo de investigación encontró (desoxigenación k_1) y de reaireación (reoxigenación k_2), determinados experimentalmente entre las estaciones 001 y la 002 son: $k_1 = 6.28 \text{ día}^{-1}$ con una desviación estándar de 2.96 y $k_2 = 19.73 \text{ día}^{-1}$, se muestra la tasa de reoxigenación mayor a la tasa de desoxigenación clasifica la parte alta de la cuenca del río Naranjo como corrientes rápidas, lo que indica que las aguas del río Naranjo tienen alta capacidad de auto depuración para determinadas descargas de aguas residuales domésticas.
- Mediante el modelo de Streeter y Phelps, la distancia crítica para que el oxígeno en el tramo I llegue al valor mínimo en la primera medición ($X_c = 0.72 \text{ km}$), necesitando un tiempo crítico para recorrer esa distancia ($T_c = 827.58 \text{ segundos}$). Para el tramo II se obtuvo ($X_c = 0.066 \text{ km}$), y ($T_c = 76.67 \text{ segundos}$). Para la segunda medición para el tramo I ($X_c = 1.532 \text{ km}$), y ($T_c = 1406.09 \text{ segundos}$). Para el tramo II se obtuvo ($X_c = 1.2748 \text{ km}$) y ($T_c = 1138.24 \text{ segundos}$). Con el modelo de balance de masas, para la estación 001 centro poblado de San Agustín, ($X_c = 1.283 \text{ km}$), y ($T_c = 1475.13 \text{ segundos}$), para la estación 002 centro poblado El Diamante ($X_c = 0.71 \text{ km}$), y ($T_c = 814.49 \text{ segundos}$) y para la estación 003 localidad de Naranjos ($X_c = 1.7436 \text{ km}$), y ($T_c = 2075.76 \text{ segundos}$). Se observa que en la estación 003 de la localidad de Naranjos la recuperación de la calidad del agua del río Naranjos después del vertido de aguas residuales domesticas lleva más tiempo y distancia de recorrido para que el agua comience a recuperar su calidad, seguido por la estación 001 y 002 respectivamente. Valores que son similares a

(Nadal, Cossavella, Larrosa, 2014), que encontró tiempo de críticos de TM1 resultó en 13,5 min, mientras que TM2 fue igual a 38,5 min.

Índice de calidad del agua (ICA-PE). En el mes de septiembre nos dio un ICA = 32.01 y en el mes de diciembre un ICA = 37.15, valores que se encuentran comprendido en: 30-44 (Contaminado) según las tablas 35, 36, 37 y 38, lo que significa que la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento. En comparación con (Laurente, 2015) en su trabajo de investigación “Variación del índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento (ICA - NSF) en un tramo de la quebrada cruz de Motupe”. En el primer punto (parte alta) es 76.13; en el segundo punto (parte media) es 71.05, clasificándose los dos puntos de estudio según ICA-NSF como aguas de calidad “agua con uso potencial para consumo poblacional”. Cabe mencionar que este índice calculado no es corregido por los excedentes y no es el mismo modelo propuesto por la autoridad nacional del agua, con el que se trabajó e esta investigación.

CONCLUSIONES

- La calidad del agua del río Naranjos, determinada mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración, en las estaciones 001 y 002, (centro poblado de San Agustín y El Diamante), como también para los tramos I y II (San Agustín – El Diamante y El Diamante - Naranjos) en los meses de Septiembre y diciembre; presentando oxígeno crítico con valores positivos, sin embargo en la estación 003 (localidad de Naranjos) para los dos meses de monitoreo presenta valores de oxígeno crítico con valores negativos, por lo que se concluye que en la estación 003 presenta contaminación orgánica, el proceso de autodepuración no logra recuperar la calidad del agua del río Naranjos después de la descarga de agua residual de dicha localidad.
- Las características hidrológicas del río Naranjos, presenta caudales máximos en diciembre, con $21 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación 001, alcanzando los $2.91 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación 002, y $20.27 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación 003. En cuanto a las características físicas químicas y biológicas, el río Naranjos no presenta valores elevados, viéndose estos afectados con las descargas residuales domésticas de las localidades, lo que altera la calidad del agua.
- Al relacionar los parámetros de calidad del agua y las características hidrológicas del río Naranjos, concluimos que el río presenta alta tasa de autodepuración, sin embargo las descargas de aguas residuales no tratadas hacen que el río no logre recuperarse de forma óptima.
- Se puede decir que en el mes de Septiembre las cargas contaminantes del río Naranjos y de las descargas residuales de domesticas en las tres estaciones establecidas son menores a las medidas en el mes de diciembre, del análisis se puede observar que el río Naranjos en el mes de Septiembre, la autodepuración logra remover la carga contaminante en las estaciones 001 y 002.
- Presenta para septiembre un $\text{ICA} = 32.01$ y en el mes de diciembre un $\text{ICA} = 37.15$, valores que se encuentran comprendido en: 30-44 clasificado como (agua que presenta contaminación orgánica), lo que significa que la calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Para mucho de los usos necesitan tratamiento.

RECOMENDACIONES

- A la autoridad local de salud se recomienda realizar monitoreos constantes, para determinar la calidad del agua del río Naranjos, especialmente en las zonas comprendidas en las distancias críticas calculadas, que varía entre los 100 y 100 metros aguas debajo de los puntos de descarga de las aguas residuales domésticas.
- Se recomienda también, proponer políticas, planes programas de control y recuperación de zonas de vida y protección ribereña del río Naranjos.
- A la municipalidad distrital de Pardo Miguel, la importancia de la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que mediante la presente investigación se ha demostrado que las descargas de agua residuales de los centros poblados de San Agustín, El Diamante y la localidad de Naranjos, están alterando la calidad del agua del río Naranjos; en especial en la localidad de Naranjos, pues se ha demostrado que el agua no logra autodepurarse después de la descarga de agua residual, presentando déficit crítico de oxígeno negativo.
- A la UNSM – T, implementar el laboratorio de análisis de agua para obtener resultados más óptimos y eficientes que garanticen una investigación más precisa mediante equipos que midan in situ para obtener resultados de una muestra constante y poco variable ya que mantiene sus condiciones iniciales.
- A los estudiantes en general, realizar estudios de modelamientos de agua de ríos, con la finalidad de recomendar su uso en otros campos como la agricultura, y su adecuado aprovechamiento como fuente de agua para riego o en otros usos en caso de ser necesaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

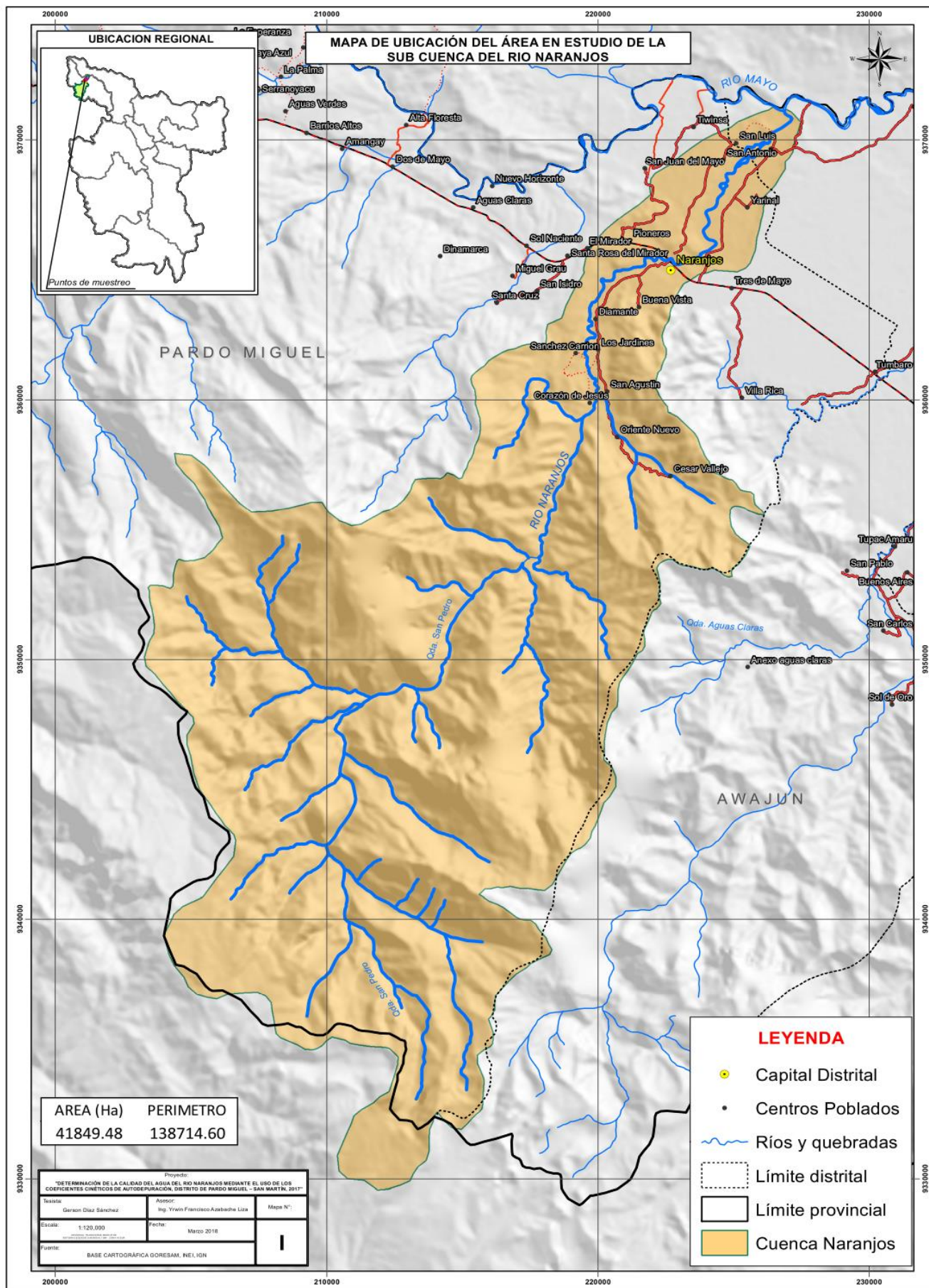
- Autoridad Nacional del agua. (2018). *Metodología para el cálculo del índice ICA-PE*. Recuperado de <http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-068-2018-ana>
- Carrera, G. (2011). *Propuesta para evaluar el grado de contaminación por materia orgánica del Río San Pedro, en el tramo comprendido entre Amaguaña y Guangopolo (tesis de pre grado)*. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- Centro de salud – Naranjos. (2017). *Principales enfermedades por consumir agua y alimentos contaminados*. Micro red de salud Naranjos-distrito Pardo Miguel.
- CEPIS/OMS/OPS. (2010). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida- Manual 1 tomo 1, capítulo 1*. Lima, Perú.
- Chapra, S., Pelletier, G. (2008). *Qual2K, a Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Medford, MA: Documentation and User's Manual*. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University.
- Chuquimbalqui, Y. (2017). *Determinación de parámetros físico – químicos y biológicos del agua del río Tío Yacu, para uso recreacional y riego de vegetales, del distrito de Elías Soplín Vargas – Rioja, 2015*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología. Moyobamba, Perú.
- Cobos, F. (2016). *Determinación del estado ecológico de la quebrada de Juningullo mediante parámetros hidrobiológicos y fisicoquímicos. Moyobamba – 2016*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología. Moyobamba, Perú.
- CONAGUA. (2006). *Comisión Nacional del Agua. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua*, Ciudad de México, México.
- Diaz, J. (2015). *Modelamiento hidrogeológico para estimar el caudal óptimo de la parte baja del acuífero del valle del río Lurín*. (Tesis de pre grado), Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería escuela académico profesional de ingeniería civil, Lima, Perú.
- Drolc, A., & Koncan, J. (1999). *Calibration of QUAL2E model for the Sava River*. Water Science and Technology, pág. 40(10), 111-118. Slovenia.

- Electinar. (2009). *Plan de manejo ambiental para la construcción de la central hidroeléctrica Naranjos II*. Recuperado de <https://docplayer.es/78797864-Estudio-de-impacto-ambiental-de-la-central-hidroelectrica-naranjos-ii.html>.
- EDZ. (2012). *Análisis socio-económico y ambiental de la cuenca de alto mayo*, gobierno provincial de rioja, Rioja, Perú.
- Gutiérrez, J (2015). *Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la auto purificación de un río de montaña para el Área Metropolitana de Bucaramanga*. (tesis de pre grado). Universidad nacional de Colombia Cede Medellín, Facultad de Minas, Colombia.
- Hernández, R. (2013). *Metodología de la investigación*. México.
- IMTA. (1991), *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Manual de foros, Kenedy P. A.* Colecciones manuales. Pag. 3-25.
- INEI (2013). *Censos nacionales XI de población y vivienda, principales indicadores de desarrollo del distrito de Pardo Miguel, 2007*. Recuperado de: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- Jayo, S. (2011). *Modelación de la relación precipitación - escorrentía en la cuenca del río mala, mediante el modelo PRECAUD V.1.0*. (tesis de pre grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Limas, Perú.
- Jolánkai, G. (1997). *Basic river water quality models” Technical Documents in Hydrology No. 13, International Hydrological Programme, UNESCO, París 1997*. 50 pp.
- Laurente, J. (2015). *Variación del índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento (ICA - NSF) en un tramo de la quebrada cruz de Motupe* (Informe de práctica pre profesional). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Tingo María, Perú.
- Metcalf y Heddy. (1997). *Ingeniería de las Aguas Residuales” tratamiento vertido y reutilización*. Tercera edición volumen I, Capítulo 3, Editorial McGraw-Hill.
- Minam. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”*, Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/DS-003-2017-MINAM.pdf
- Municipalidad distrital de Pardo Miguel. (2016). *Mejoramiento, ampliación del sistema de agua potable y alcantarillado en la localidad de Naranjos*. Distrito de Pardo Miguel Rioja, San Martín.

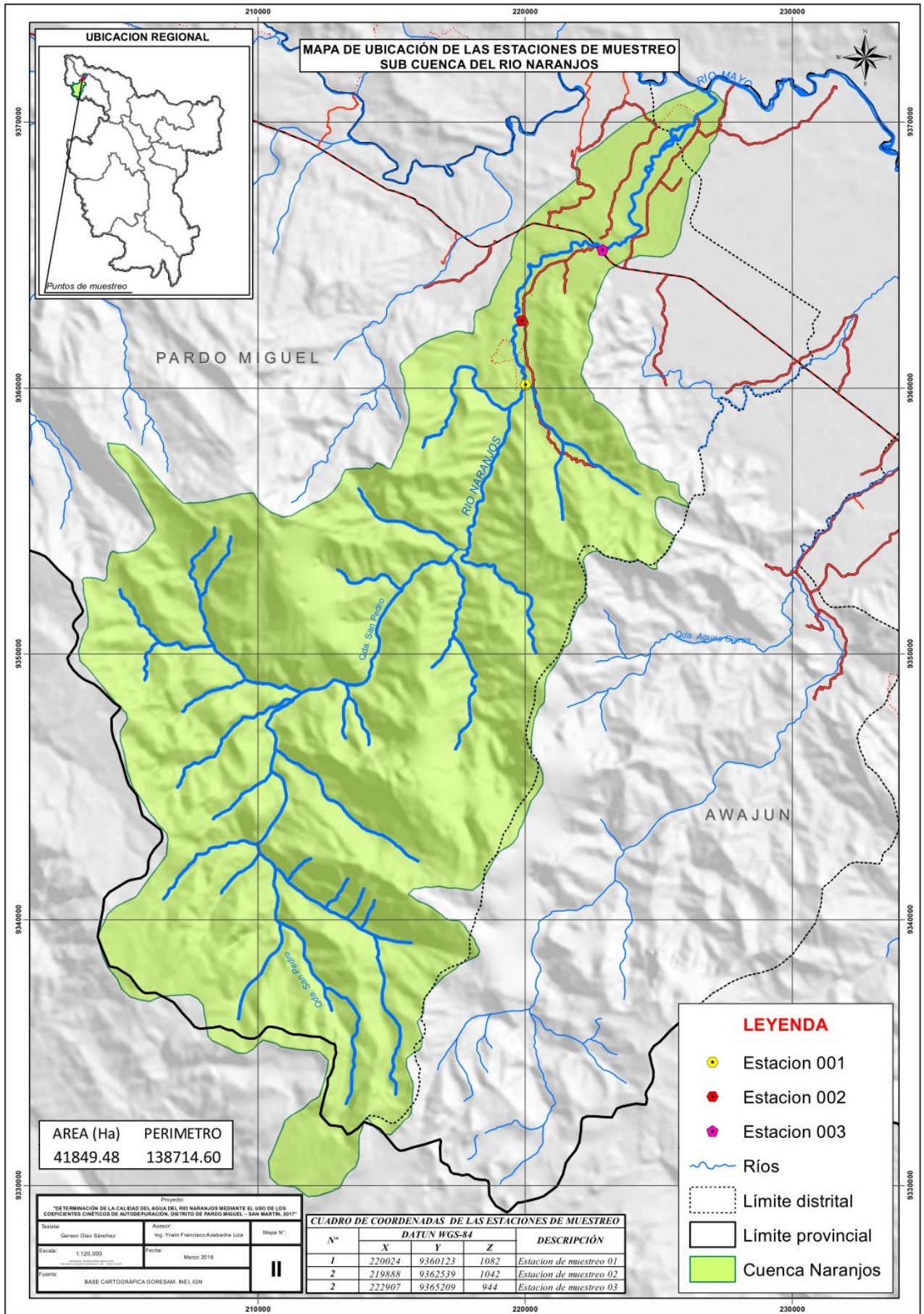
- Nadal, A., Cossavella, A., y Larrosa, N. (2014). *Determinación de la capacidad de autodepuración del río Tercero (Ctalamochita), provincia de Córdoba*. (tesis de maestría). Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 1, Argentina.
- RED MAPSA. (2007). *Red de Monitoreo ambiental Participativo de sistemas Acuáticos, Oxígeno Disuelto*, México.
- Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano. (2011). *D.S. N° 031-2010-SA /Ministerio de Salud*. Dirección General de Salud Ambiental; 2011. 44 p.; ilustraciones. Lima, Perú.
- Rivera G. (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 Departamentos de San Marcos Quetzaltenango*. (tesis de maestría). Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Rueda, J. (2005). *Autodepuración y vertidos en cursos fluviales. Ingeniería Sanitaria*. Universidad de Granada, Granada.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnostico*. (1a ed.) Ediciones de la Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
- Streeter y Phelps. (1994). *A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. Factors Concerned in the Phenomena of Oxidation and Reaeration*, United States Public Health Service. Public Health Bulletin No. 146 February, 1994, 69 pp, versión electrónica.
- Suárez, J. (2008). *Modelos de Calidad de Aguas: "Calidad de Aguas en Ríos Autodepuración"*, Universidad de Coruña, Master en Ingeniería del Agua, tema 5, Página 1-28.
- Wachsman, M. (2006), *Aplicación de diferentes técnicas de recuento para bacterias de importancia sanitaria*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina.
- Wright y Mcdonell. (1979). *Determinación de los coeficientes de oxigenación y desoxigenación para la curva de comportamiento*.

ANEXOS

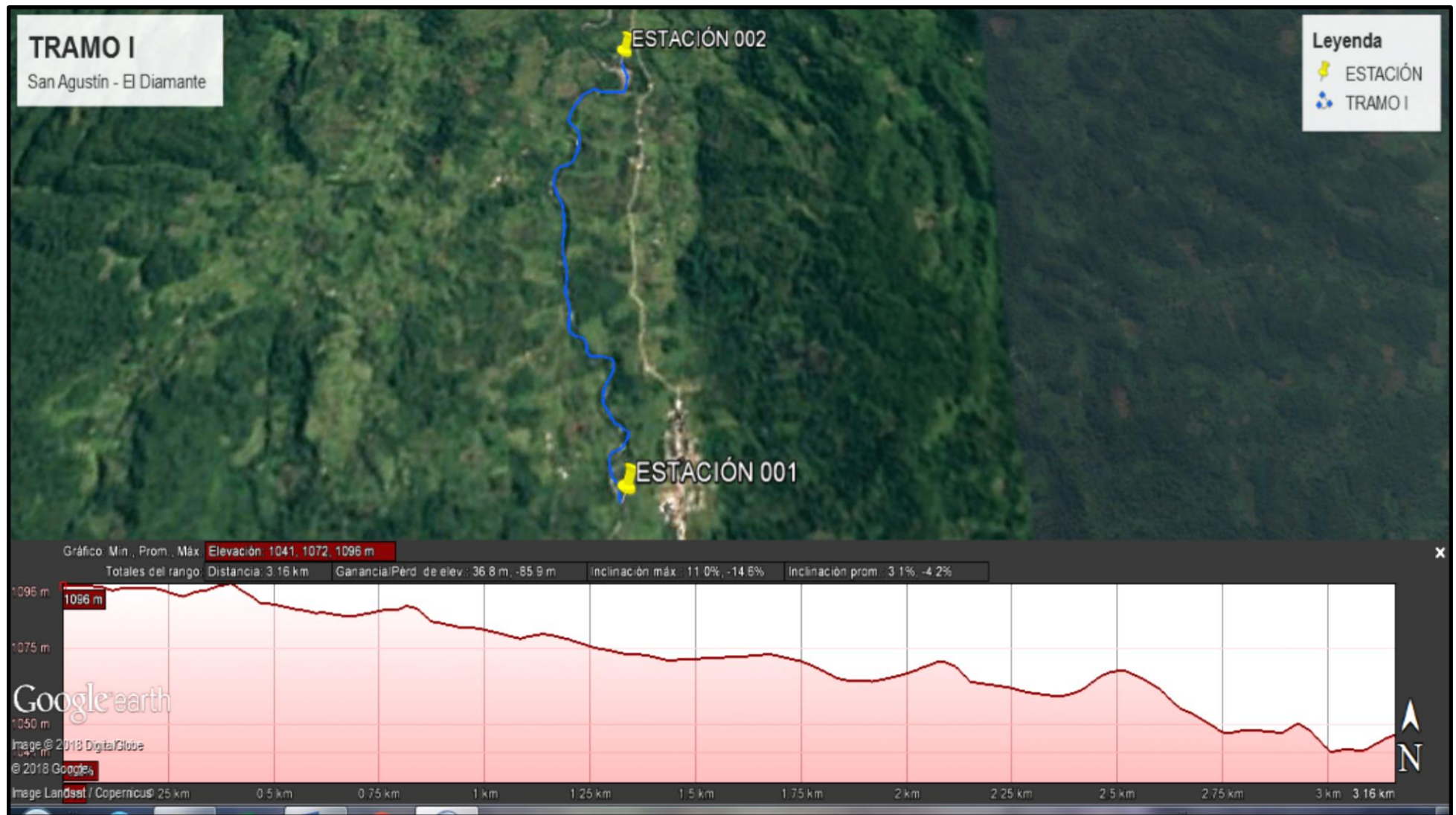
Anexo 01: Mapa de ubicación del área de estudio.



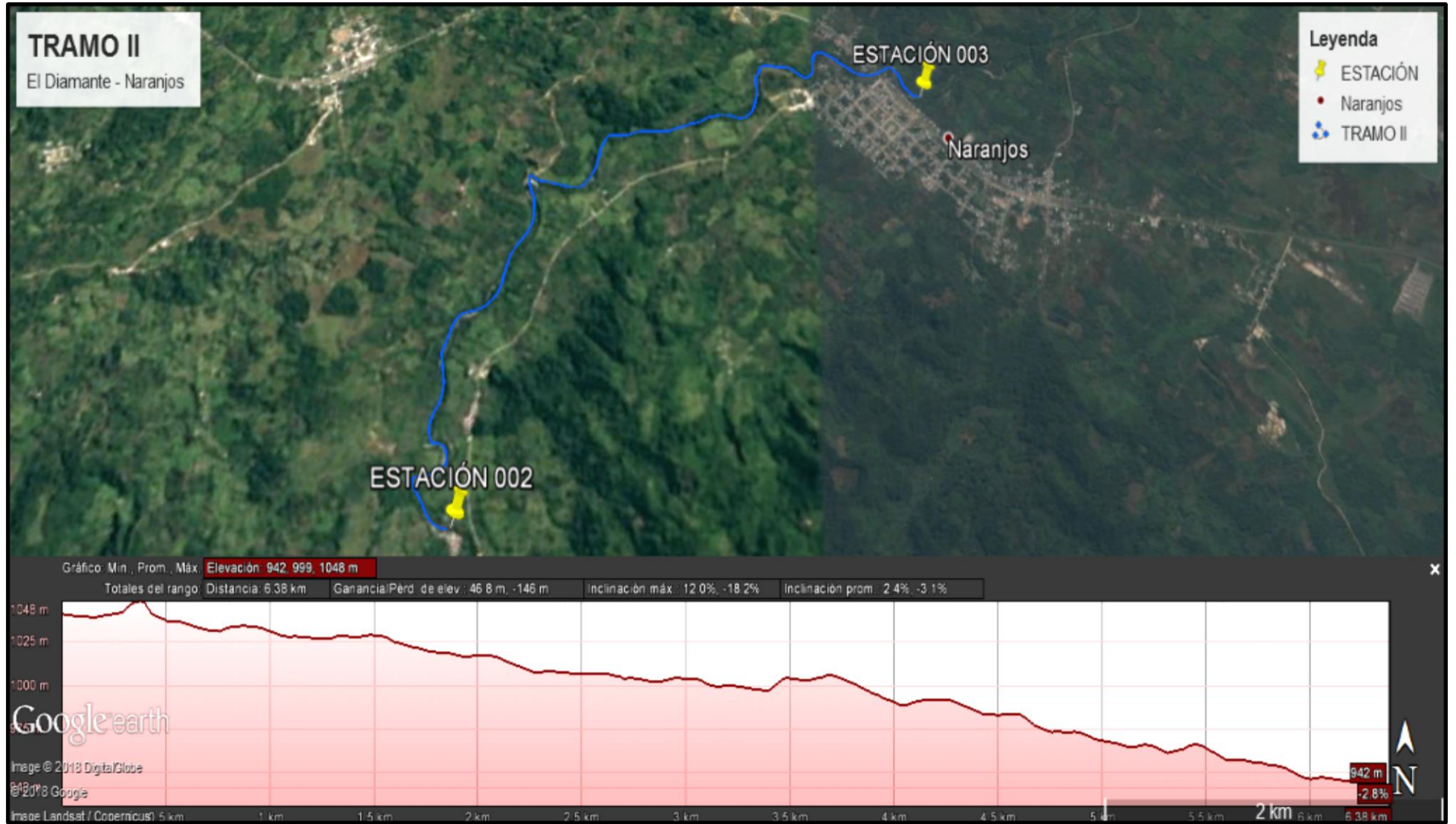
Anexo 02: Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo.



Anexo 03: Perfil longitudinal Tramo I y tramo I.



Fuente: Google Earth.



Fuente: Google Earth.

Anexo 04: Análisis de agua red de distribución – Naranjos.



INFORME DE ENSAYO N° 352- 2016 - LICCAYA-HOSP.MINSA. II-1.MOY.

I.- DEL SOLICITANTE: RED DE SERVICIOS DE SALUD DE RIOJA

II.- DATOS DEL MUESTREO

Localidad : Naranjos	Fecha/Hora de Muestreo: 28 - noviembre - 2016 - 7:30 a.m.
Distrito : Pardo Miguel	Fecha/Hora de Recepción en el Laboratorio: 28 - noviembre - 2016 - 10:03 a.m.
Provincia : Rioja	Fecha de Inicio del Análisis: 28 - noviembre - 2016. Hora: 10:30 a.m.
Departamento: San Martín	Cantidad de Muestra: 01 Fscs de vidrio por 500 ml. Aprox. En cadena de frío.
	Muestra tomada por: Personal de Salud: Teresa Acuña Guevara.

III.- RESULTADOS

COD. LAB	MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		PARÁMETRO ORGANOLÉPTICO	Bacterias Heterotróficas (35 ° C) UFC/ml	Coliformos Totales (35±0.5°C) UFC/100 ml	Coliformos termotolerantes (44,5±0.2°C) UFC/100 ml	Escherichia coli (44.5 ±0.2°C) P - A/100 ml
			pH	CLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)	Turbiedad (UNT)				
352	AGUA DE CONSUMO HUMANO	CONEXIÓN DOMICILIARIA	N.C	0.0	1.12	16 x 10	P	P	P

P: Presencia; N.C: No consigna

Límites Máximos Permisibles para los parámetros contemplados en la tabla anterior: Coliformos Totales (0); Coliformos Termotolerantes fecales (0); Bacterias Heterotróficas (500); Escherichia coli (0); pH (6.5-8.5); Cloro Residual (0.5-5.0); Turbiedad (5).

MÉTODOS DE ENSAYO EMPLEADOS

Bacterias Coliformos Totales: APHA, AWWA, WEF, Part.9222 B, 22nd Edition, 2012. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group, Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.
Coliformos Termotolerantes: APHA, AWWA, WEF, Part.9222 D, 22nd Edition, 2012. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group, Thermotolerant (Fecal) Coliform Membrane Filter Procedure.
Bacterias Heterotróficas: APHA, AWWA, WEF, Part.9215 B, 22nd Edition, 2012. Heterotrophic Plate Count, Pour Plate Method.
Método de Presencia o Ausencia: APHA, AWWA, WEF, Part.9222 G, 1, de 22nd Edition, 2012 MF Partition Procedures.
Escherichia coli Partition Methods.
ReadyCall Coliforms 100.
Cloro residual libre: Pastillas DPD 1; pH: Pastillas de Papel de Fenol. Turbiedad: Método Turbidimétrico.

DOCUMENTO DE REFERENCIA

Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 21 th Edition.

REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS

DS N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

REQUISITOS FÍSICO-QUÍMICOS-ORGANOLÉPTICOS

DS N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2010

IV.- OBSERVACIONES:

La muestra analizada no se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano en relación a los parámetros contemplados en la tabla del ítem III. Se recomienda el tratamiento respectivo para alcanzar los parámetros establecidos en la Norma.

V.- VALIDEZ DEL DOCUMENTO

Este documento tiene validez para la muestra descrita en los puntos 1 y 2, por un período de 3 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra. El presente informe de ensayo sólo es válido para fines de vigilancia.

Emisión de Resultados: Moyobamba, 03 de diciembre del 2016.



MINISTERIO DE SALUD
HOSPITAL II - 1 MOYOBAMBA
Dr. Julio C. Espinoza López
MÉDICO OFTALMOLOGO
C.O.P. 37747 ANE 22429
DIRECTOR

MINISTERIO DE SALUD
HOSPITAL II - 1 MOYOBAMBA
Dña. María Juana Villacencio Gordón
MSTR. LAB. INTER. CONTROL CALIDAD ALIMENTOS Y AGUAS
DIRECTORA

INFORME DE ENSAYO N° 351- 2016 - LICAYA-HOSP.MINSA. II-1.MOY.

I.- DEL SOLICITANTE: RED DE SERVICIOS DE SALUD DE RIOJA

II.- DATOS DEL MUESTREO

Localidad : Pardo Miguel Fecha/Hora de Muestreo: 28 - noviembre - 2016 - 7:40 a.m.
 Distrito : Pardo Miguel Fecha/Hora de Recepción en el Laboratorio: 28 -noviembre - 2016 - 10:03 a.m.
 Provincia : Rioja Fecha de Inicio del Análisis: 28 - noviembre - 2016. Hora: 10:30 a.m.
 Departamento: San Martín Cantidad de Muestra: 01 Fasco de vidrio por 500 ml. Aprox. En cadena de frío.
 Muestra tomada por: Personal de Salud: Teresa Acuña Guavara.

III.- RESULTADOS

COD. LAB	MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		PARÁMETRO ORGANOLÉPTICO	Bacterias Heterotróficas (35° C) UFC/ml	Coliformes Totales (20±2°C) UFC/100 ml	Coliformes Termotolerantes (44.5±1.2°C) UFC/100 ml	Escherichia coli (44.5±1.2°C) P-A/100 ml
			pH	CLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)	Turbiedad (UNT)				
351	AGUA DE CONSUMO HUMANO	CONEXIÓN DOMICILIARIA				21 x 10 ²	P	P	P
			N.C	0.0	1.15				

P: Presencia; N.C: No consigna

Limites Máximos Permisibles para los parámetros contemplados en la tabla anterior: Coliformes Totales (0); Coliformes Termotolerantes (0); Bacterias Heterotróficas (500); Escherichia coli (0); pH (6.5-8.5); Cloro Residual (0.5-5.0); Turbiedad (5).

MÉTODOS DE ENSAYO EMPLEADOS

Bacterias Coliformes Totales: APHA, AWWA, WEF, Part.9222 B, 22nd Edition, 2012. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group, Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure.
 Coliformes Termotolerantes: APHA, AWWA, WEF, Part.9222 D, 22nd Edition, 2012. Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group, Thermotolerant (Fecal) Coliform Membrane Filter Procedure.
 Bacterias Heterotróficas: APHA, AWWA, WEF, Part.9215 B 22nd Edition, 2012. Heterotrophic Plate Count, Pour Plate Method.
 Método de Presencia o Ausencia: APHA, AWWA, WEF, Part.9222 G 1.d.c 22nd Edition, 2012. MF Partition Procedures, Escherichia coli Partition Methods.
 Resequit Coliforms 100.
 Cloro residual libre: Pastillas DPD 1; pH: Pastillas de Rolo de Fenol; Turbiedad: Método Turbidimétrico.

DOCUMENTO DE REFERENCIA

Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 21th Edition.

REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS

DS N° 031-2010-SA: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

REQUISITOS FÍSICO-QUÍMICOS-ORGANOLÉPTICOS

DS N° 031-2010-SA: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2010.

IV.- OBSERVACIONES:

La muestra analizada no se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano en relación a los parámetros contemplados en la tabla del ítem III. Se recomienda el tratamiento respectivo para alcanzar los parámetros establecidos en la Norma.

V.- VALIDEZ DEL DOCUMENTO

Este documento tiene validez para la muestra descrita en los puntos 1 y 2, por un periodo de 3 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra. El presente informe de ensayo sólo es válido para fines de vigilancia.

Emisión de Resultados: Moyobamba, 03 de diciembre del 2016.



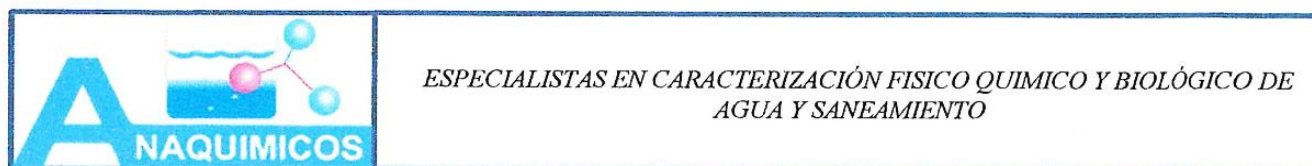
MINISTERIO DE SALUD
HOSPITAL II - 1 MOYOBAMBA

Dr. Julio C. Casas López
MÉDICO OFTALMÓLOGO
CNP 5779 RNE 22429
DIRECTOR

MINISTERIO DE SALUD
HOSPITAL II - 1 MOYOBAMBA

Blga. Melya Juana Wenceslao Gardini
REF. LAB. INTERM. CONTROL ALIBRO ALIMENTOS Y AGUAS

Anexo 05: Análisis del agua Río Naranjos.



INFORME DE ENSAYO N° 0115-B-M/ANAQUIMICOS/CC

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO : Estación 001- San Agustín
MUESTRA : Agua Superficial- Río Naranjos
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 12-09-2017.
HORA TOMA DE MUESTRA : 8:53 a.m
MUESTREADO POR : Solicitante.
FECHA DE EMISIÓN : 14-09-2017

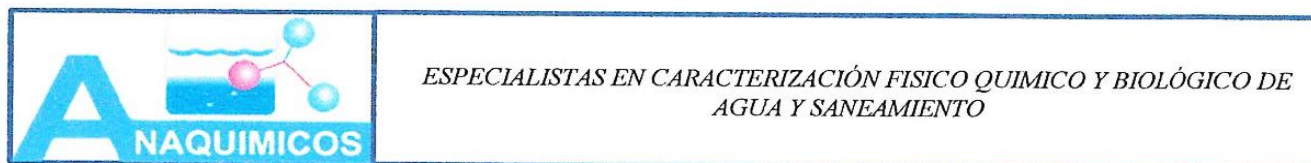
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	Coliformes Totales	UFC/100mL	460

- Metodología: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Superficiales y Residuales – American Public Health Association, American Water Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”

ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES S.R.L.


 Ing. Samuel López Chávez
 CIP: N° 140674
 TITULAR GERENTE



INFORME DE ENSAYO N° 0117-B-M/ANAQUIMICOS/CC

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO : Estación 002-El Diamante

MUESTRA : Agua Superficial-Río Naranjos

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 12-09-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : 9:30 a.m

MUESTREADO POR : Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 14-09-2017

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	Coliformes Totales	UFC/100mL	420

- Metodología: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Superficiales y Residuales – American Public Health Association, American Water Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES S.R.L.



Ing. Samuel López Chávez
 CIP: N° 140874
 TITULAR GERENTE



ESPECIALISTAS EN CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE
AGUA Y SANEAMIENTO

INFORME DE ENSAYO N° 0119-B-M/ANAQUIMICOS/CC

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO : Estación 003- Naranjos

MUESTRA : Agua Superficial- Río Naranjos

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 12-09-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : 10:08 a.m

MUESTREADO POR : Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 14-09-2017

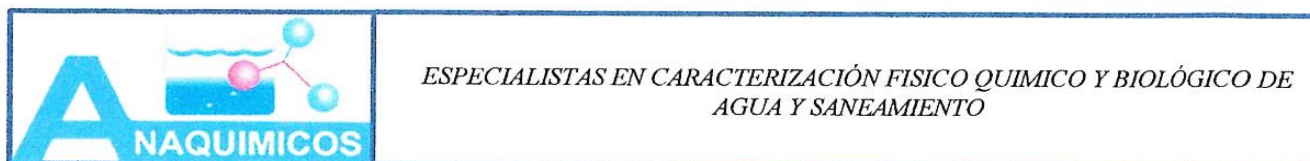
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	Coliformes Totales	UFC/100mL	780

- Metodología: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Superficiales y Residuales – American Public Health Association, American Water Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”

ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Samuel López Chávez
Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ESPECIALISTAS EN CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE
AGUA Y SANEAMIENTO

INFORME DE ENSAYO N° 0116-B-M/ANAQUIMICOS/CC

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO : Estación 001- San Agustín

MUESTRA : Agua Superficial- Río Naranjos

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 30-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : 9:10 a.m

MUESTREADO POR : Solicitante.

FECHA DE EMISIÓN : 07-01-2018

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	Coliformes Totales	UFC/100mL	640

- Metodología: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Superficiales y Residuales – American Public Health Association, American Water Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”

ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Ing. Samuel López Chávez

CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ESPECIALISTAS EN CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE
AGUA Y SANEAMIENTO

INFORME DE ENSAYO N° 0118-B-M/ANAQUIMICOS/CC

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO : Estación 002- El Diamante

MUESTRA : Agua Superficial-Río Naranjos

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 30-12-2017.

HORA TOMA DE MUESTRA : 9:48 a.m

MUESTREADO POR : Solicitante.


FECHA DE EMISIÓN : 07-01-2018

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	Coliformes Totales	UFC/100mL	535

- Metodología: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Superficiales y Residuales – American Public Health Association, American Water Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE



ESPECIALISTAS EN CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE
AGUA Y SANEAMIENTO

INFORME DE ENSAYO N° 0120-B-M/ANAQUIMICOS/CC

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO : Estación 003- Naranjos
MUESTRA : Agua Superficial- Río Naranjos
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 30-12-2017.
HORA TOMA DE MUESTRA : 10:25 a.m
MUESTREADO POR : Solicitante.
FECHA DE EMISIÓN : 07-01-2018

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICO

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	Coliformes Totales	UFC/100mL	866

- Metodología: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Superficiales y Residuales – American Public Health Association, American Water Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”

ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES S.R.L.


 Ing. Samuel López Chávez
 CIP: N° 140674
 TITULAR GERENTE

Anexo 06: Ficha de recolección de datos de campo

FICHA DE DATOS

SOLICITANTE : GERSON DÍAZ SÁNCHEZ

PROYECTO : “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NARANJOS MEDIANTE EL USO DE LOS COEFICIENTES CINÉTICOS DE AUTO DEPURACIÓN, DISTRITO DE PARDO MIGUEL – SAN MARTÍN, 2017”

PUNTO DE MUESTREO :

MUESTRA :

FECHA DE TOMA DE MUESTRA :

HORA DE TOMA DE MUESTRA :

MUESTREADO POR : SOLICITANTE

FECHA DE EMISIÓN :

RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	OXÍGENO DISUELTO		
02	COLIFORMES TOTALES		
03	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO		
04	NITRATOS		
05	pH		
06	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS		
07	TEMPERATURA		
08	FOSFATOS		
09	TURBIEDAD		

Anexo 07: Memoria de cálculo.

1. Primer análisis de oxígeno en el río Naranjos.

A. Tramo I (San Agustín – El Diamante).

Estación	Tiempo (días)	Distancia	OD (mg/L)	DBO5(mg/L)	Caudal(Q)
001	0	0	6.11	4.37	14.32 m ³ /s
002	0.042	3160			

Con la ayuda de un mapa cartográfico nos ayudó a determinar las distancias:

1. Demanda de oxígeno en el tramo I:

Constante cinética de desoxigenación (K_1) de la ecuación 24 tenemos:

$$K_1 = 1.796 \times Q^{-0.49}$$

$$K_1 = 1.796 \times 14.32^{-0.49}$$

$$K_1 = 0.4874 \text{ día}^{-1}$$

La corrección de la constante se la realiza con la ecuación 04.

$$k_{1(T^{\circ}\text{C})} = k_{1(20^{\circ}\text{C})} \times \theta^{T-20^{\circ}\text{C}}$$

Donde, la constante de variación de la temperatura θ , (1,047).

$$k_{1(14)} = 0.4874 \times 1.047^{14-20^{\circ}\text{C}}$$

$$k_{1(14)} = 0.37 \text{ día}^{-1}$$

Calculo de la DBO₅ última: De la ecuación 2 tenemos:

$$L = L_0 \times e^{-k_1 \times t}$$

$$L = 4.37 \times e^{-0.37 \times 0.042}$$

$$L = 4.30 \text{ mg/L}$$

2. Aporte de oxígeno en el tramo I:

Calculo de la tasa de reaireación del río: De la tabla 2 asumimos.

$$K_2 = 0.69 \text{ día}^{-1}$$

La corrección de la constante se la realiza con la ecuación 04.

$$k_{2(T^{\circ}\text{C})} = k_{2(20^{\circ}\text{C})} \times \theta^{T-20^{\circ}\text{C}}$$

Donde, la constante de variación de la temperatura θ , normalmente es 1,024.

$$k_{2(14)} = 0.69_{(20^{\circ}\text{C})} \times 1.024^{14-20^{\circ}\text{C}}$$

$$k_{2(14)} = 0.598 \text{ día}^{-1}$$

Calculo del oxígeno de saturación a 1atm de presión.

$$O_{\text{sat.}} = T_m - 0.41022(T_m) + 0.007991(T_m^2) - 0.000077774(T_m^3)$$

$$O_{\text{sat.}} = 14 - 0.41022(14) + 0.007991(14^2) - 0.000077774(14^3)$$

$$O_{\text{sat.}} = 9.96 \text{ mg/L}$$

Corrección del oxígeno de saturación a la de presión de trabajo.

$$P = 760 \times e^{\frac{-E}{8005}}$$

$$P = 760 \times e^{\frac{-1082}{8005}}$$

$$P = 663.9142$$

El oxígeno disuelto de saturación corregido será:

$$OD_{SC} = O_{sat} \times \frac{P}{760}$$

$$OD_{SC} = 9.96 \times \frac{663.9142}{760}$$

$$OD_{SC} = 8.70 \text{ mg/L}$$

El déficit de oxígeno en el tramo I es: De la ecuación 5 tenemos.

$$D = C_s - C_0$$

$$D = 8.70 - 6.11$$

$$D = 2.59 \text{ mg/L}$$

De la ecuación 7 calculamos el déficit final de oxígeno para el tramo I:

$$D_t = D_0 \times e^{k_2 \times t}$$

$$D_t = 2.59 \times e^{0.598 \times 0.042}$$

$$D_t = 2.66 \text{ mg/L}$$

3. Balance de oxígeno en el tramo I:

El déficit neto de oxígeno en el tramo I es: De la ecuación 13 tenemos.

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t}$$

$$D = \frac{0.37 \times 4.37}{0.598 - 0.37} (e^{-0.37 \times 0.042} - e^{-0.598 \times 0.042}) + 2.59 \times e^{-0.598 \times 0.042}$$

$$D = 2.59 \text{ mg/L}$$

El déficit crítico de oxígeno en el tramo I es:

$$D_C = \frac{K_1}{K_2} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_1 t}$$

$$D_C = \frac{0.37}{0.598} (e^{-0.37 \times 0.042} - e^{-0.598 \times 0.042}) + 2.59 \times e^{-0.598 \times 0.042}$$

$$D_C = 2.53 \text{ mg/L}$$

El tiempo crítico de oxígeno en el tramo I es: De la ecuación 15 tenemos.

$$X_c = \frac{1}{k_1 - k_2} \times \ln \times \left(\frac{k_1}{k_2} \left(1 - D_0 \times \frac{k_1 - k_2}{k_1 \times L} \right) \right)$$

$$X_c = \frac{1}{0.37 - 0.598} \times \ln \times \left(\frac{0.37}{0.598} \left(1 - 2.59 \times \frac{0.37 - 0.598}{0.37 \times 4.30} \right) \right)$$

$$X_c = 0.72 \text{ km}$$

El tiempo crítico es: De la ecuación 16 tenemos.

$$T_C = \frac{X_c}{v}$$

$$T_C = \frac{720}{0.87}$$

$$T_C = 827.59 \text{ s}$$

$$T_C = 1138.24 \text{ s}$$

Modelo de balance de masas (calculo).

1. Primer análisis de muestras (setiembre del 2017).

A. Estación N° 001: Caserío San Agustín

Características del río aguas arriba del punto de vertido.

	Resultado
Caudal (m ³ /s)	14.32
Velocidad (m/s)	0.869
Materia orgánica, L ₀ (mg/L) o DBO	4.37
Oxígeno Disuelto	6.11
Temperatura (°C)	14.5

Características del agua residual prevista.

	Resultado
Caudal (m ³ /s)	0.57
Materia orgánica, L ₀ (mg/L)	120
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3.66
Temperatura (°C)	19

➤ **Cálculo de la concentración de la DBO₅ en el momento de mezcla para la estación 001.**

$$DBO_5 \text{ Mezcla} = \frac{Q_r \times DBO_r + Q_v \times DBO_v}{Q_r + Q_v}$$

$$DBO_5 \text{ Mezcla} = \frac{14.32 \times 4.37 + 0.57 \times 120}{14.32 + 0.57}$$

$$DBO_5 \text{ Mezcla} = 8.796 \text{ mg/L}$$

➤ **Cálculo de la temperatura en el momento de mezcla para la estación 001.**

$$T_{\text{Mezcla}} = \frac{Q_r \times T_r + Q_v \times T_v}{Q_r + Q_v}$$

$$T_{\text{Mezcla}} = \frac{14.32 \times 14.5 + 0.57 \times 19}{14.32 + 0.57}$$

$$T_{\text{Mezcla}} = 14.67 \text{ °C}$$

➤ **Cálculo de la concentración de Oxígeno disuelto en el momento de mezcla para la estación 001.**

$$OD_{\text{Mezcla}} = \frac{Q_r \times OD_r + Q_v \times OD_v}{Q_r + Q_v}$$

$$OD_{\text{Mezcla}} = \frac{14.32 \times 6.11 + 0.57 \times 3.66}{14.32 + 0.57}$$

$$OD_{\text{Mezcla}} = 6.02 \text{ mg/L}$$

➤ **Cálculo modelo del oxígeno de saturación en el punto de mezcla.**

$$O_{\text{sat.}} = T_m - 0.41022(T_m) + 0.007991(T_m^2) - 0.000077774(T_m^3)$$

$$O_{\text{sat.}} = 14.67 - 0.41022(14.67) + 0.007991(14.67^2) - 0.000077774(14.67^3)$$

$$O_{\text{sat.}} = 10.126 \text{ mg/L}$$

Corrección del oxígeno de saturación a la de presión de trabajo.

$$P = 760 \times e^{\frac{-E}{8005}}$$

$$P = 760 \times e^{\frac{-1082}{8005}}$$

$$P = 663.9142$$

El oxígeno disuelto de saturación corregido:

$$OD_{SC} = O_{sat} \times \frac{P}{760}$$

$$OD_{SC} = 10.126 \times \frac{663.9142}{760}$$

$$OD_{SC} = 8.846 \text{ mg/L}$$

➤ **Cálculo modelo del déficit de oxígeno inicial en el tramo del vertido.**

$$D_o = OD_{SC} - O_{Mezcla}$$

$$D_o = 8.846 - 6.02$$

$$D_o = 2.826 \text{ mg/L}$$

➤ **Cálculo de las constantes cinéticas de autodepuración.**

✓ **Constante de desoxigenación:**

Datos del río Naranjos estación 001 (setiembre)

Velocidad media	14.32 m ³ /s
------------------------	-------------------------

$$K_1 = 1.796 \times Q^{-0.49}$$

$$K_1 = 1.796 \times 14.32^{-0.49}$$

$$K_1 = 0.4874 \text{ día}^{-1}$$

La corrección de la constante se la realiza con.

$$k_1(T^{\circ}\text{C}) = k_1(20^{\circ}\text{C}) \times \theta^{T-20^{\circ}\text{C}}$$

Donde, la constante de variación de la temperatura θ , (1,047).

$$k_1(14.67) = 0.4874 \times 1.047^{14.67-20^{\circ}\text{C}}$$

$$k_1(14.67) = 0.382 \text{ día}^{-1}$$

✓ **Constante de reaireación:** En este caso usaremos la tabla.

Cuerpos de agua	Rangos de k_2 a 20 °C
Aguas estancadas	0,10 – 0,23
Corrientes lentas	0,23 – 0,35
Corrientes grandes con baja velocidad	0,35 – 0,46
Corrientes grandes con velocidad normal	0,46 – 0,69
Corrientes rápidas	0,69 – 1,15
Cataratas y cascadas	>1,15

$$K_2 = 0.69 \text{ día}^{-1}$$

La corrección de la constante se la realiza con.

$$k_2(T^{\circ}\text{C}) = k_2(20^{\circ}\text{C}) \times \theta^{T-20^{\circ}\text{C}}$$

Donde, la constante de variación de la temperatura θ , es 1,024 para la reaireación.

$$k_2(14.67) = 0.69_{(20^\circ\text{C})} \times 1.024^{14.67-20^\circ\text{C}}$$

$$k_2(14.67) = 0.61 \text{ día}^{-1}$$

➤ **Calculo del tiempo crítico y distancia crítica en la estación 001:**

$$X_c = \frac{1}{k_1 - k_2} \times \ln \times \left(\frac{k_1}{k_2} \left(1 - D_o \times \frac{k_1 - k_2}{k_1 \times L} \right) \right)$$

$$X_c = \frac{1}{0.382 - 0.61} \times \ln \times \left(\frac{0.382}{0.61} \left(1 - 2.826 \times \frac{0.382 - 0.61}{0.382 \times 8.796} \right) \right)$$

$$X_c = 1.283 \text{ km}$$

El tiempo crítico es:

$$T_c = \frac{X_c}{v}$$

$$T_c = \frac{1283.36}{0.87}$$

$$T_c = 1475.13 \text{ s}$$

➤ **Déficit crítico:**

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \times \text{DBO}_{5m} \times e^{(-k_1 \times t_c)}$$

$$D_c = \frac{0.382}{0.61} \times 8.796 \times e^{(-0.382 \times 0.0171)}$$

$$D_c = 5.47 \text{ mg/L}$$

➤ **Oxígeno crítico:**

$$[\text{O}_2]_c = [\text{O}_2]_{\text{sat}} - D_c$$

$$[\text{O}_2]_c = 8.846 - 5.47$$

$$[\text{O}_2]_c = 3.376 \text{ mg/L}$$

➤ **La concentración de la materia orgánica o DBO crítica:**

$$\text{DBO}_{5 \text{ crítico}} = \text{DBO}_{5m} \times e^{(-k_1 \times t_c)}$$

$$\text{DBO}_{5 \text{ crítico}} = 8.796 \times e^{(-0.382 \times 0.0171)}$$

$$\text{DBO}_{5 \text{ crítico}} = 8.74 \text{ mg/L}$$