

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA
EN EL RÍO TOROCOCHA DE LA CIUDAD DE
JULIACA**

TESIS

PRESENTADA POR LA BACHILLER:

EVELIN AMPARO YANA NEIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ
2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA EN EL
RÍO TOROCOCHA DE LA CIUDAD DE JULIACA

TESIS PRESENTADA POR:

Br. EVELIN AMPARO YANA NEIRA


PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Aprobado por el jurado revisor, conformado por:

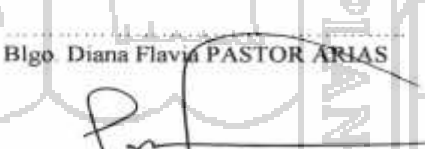
PRESIDENTE DEL JURADO:


Blgo. Herminio René ALFARO TAPIA

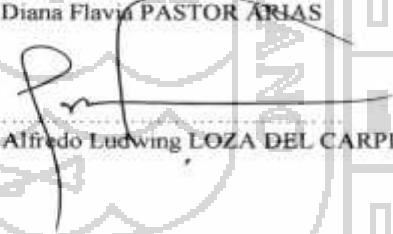
PRIMER MIEMBRO


Dr. Angel CANALES GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO


Blgo. Diana Flavia PASTOR ARIAS

DIRECTOR DE TESIS


M.Sc. Alfredo Ludwing LOZA DEL CARPIO

PUNO - PERÚ
2014

AREA: Ecología

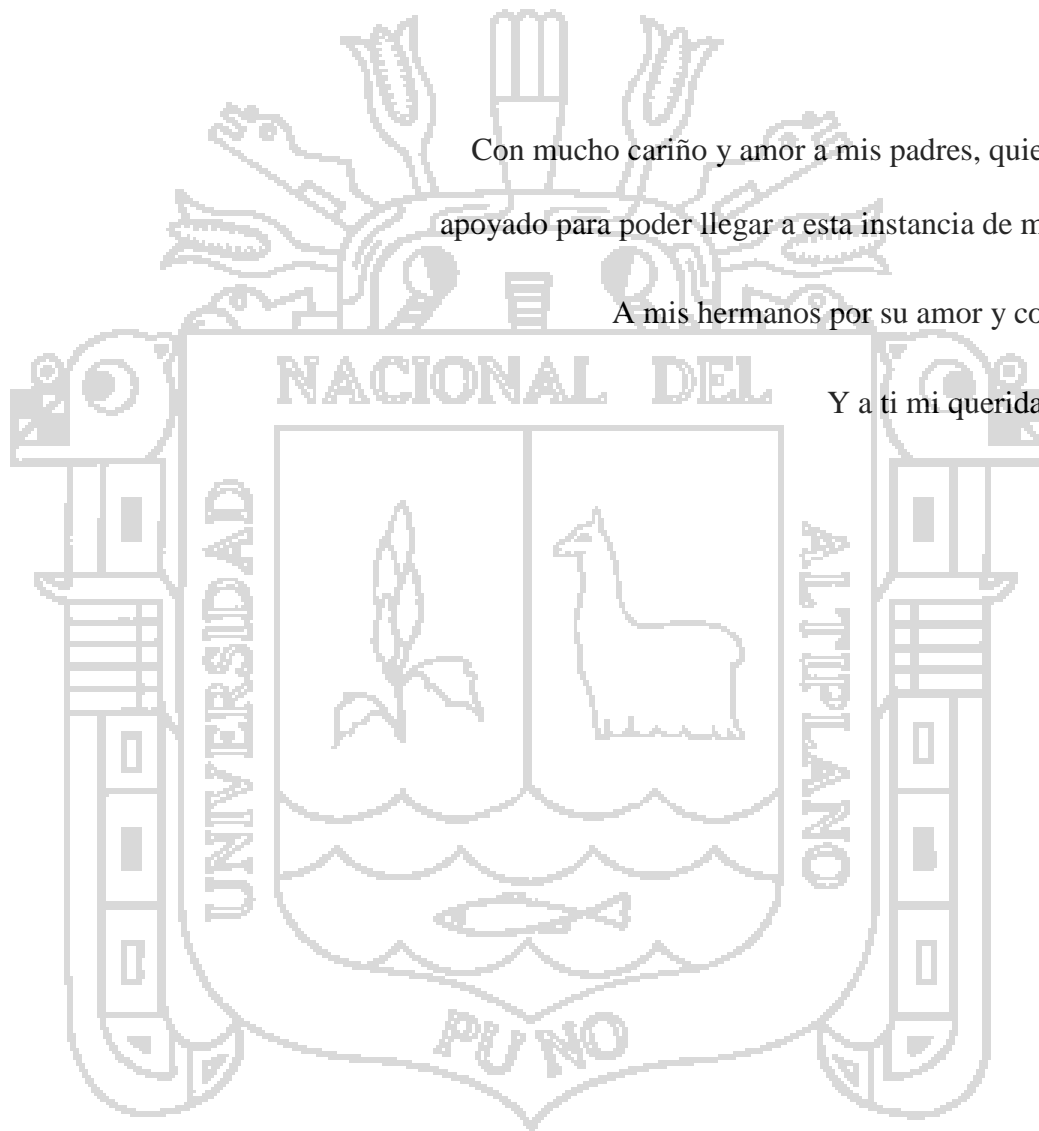
TEMA: Sustancias químicas y materiales peligrosos

DEDICATORIA

Con mucho cariño y amor a mis padres, quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios.

A mis hermanos por su amor y comprensión.

Y a ti mi querida Almendra.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por la confianza y el apoyo brindado en cada momento de mi vida.

A mis hermanos por su comprensión.

A la Universidad Nacional del Altiplano, por haber abierto sus puertas para ingresar en ella y poderme realizar como una excelente profesional.

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

Al Blgo. René Alfaro Tapia y Dr. Ángel Canales Gutiérrez, por participar como jurado revisor del presente proyecto, por haber aportado ideas y conocimientos muy importantes para su elaboración.

Al M.Sc. Alfredo Loza del Carpio, por haberse hecho cargo de la Dirección en la ejecución de esta investigación.

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

Por mucho más, gracias...



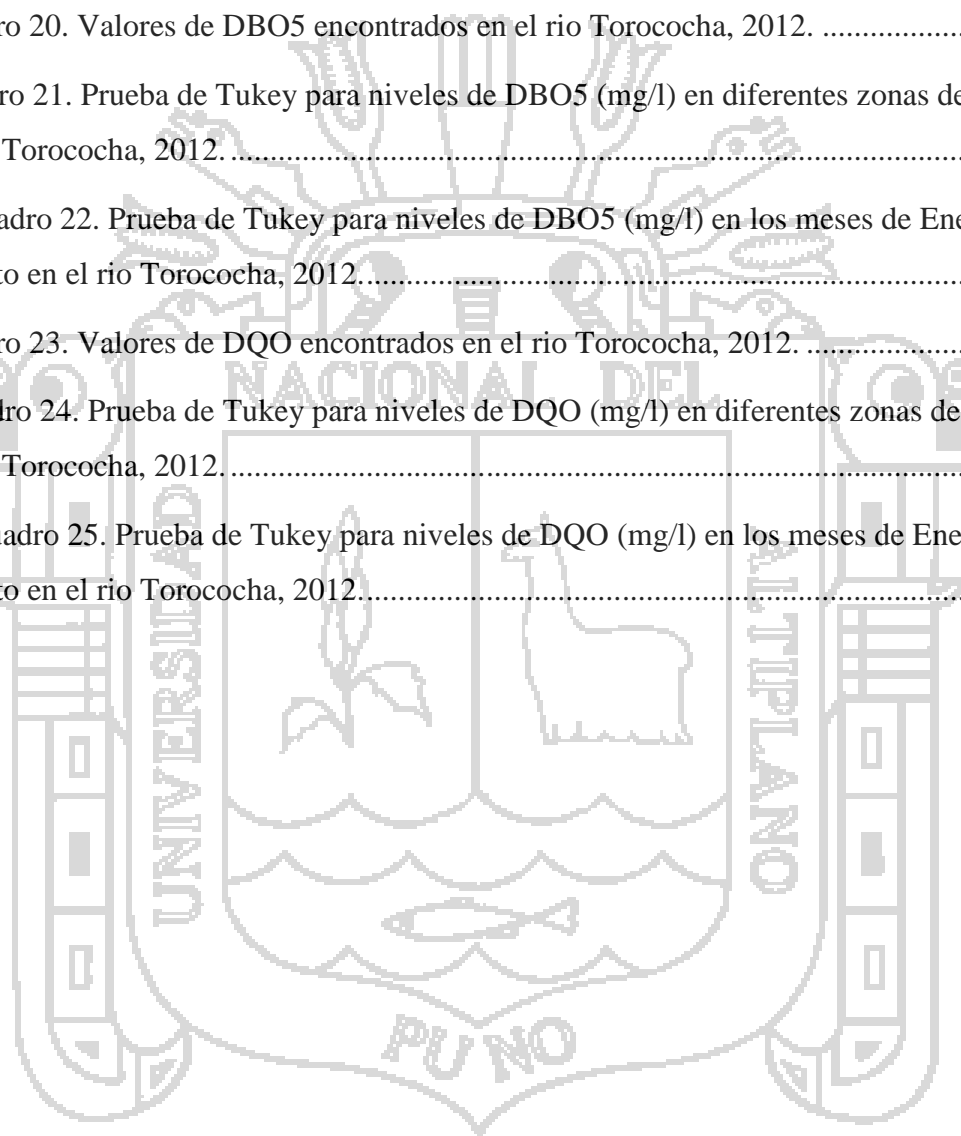
ÍNDICE

RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II.REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA	3
2.1. ANTECEDENTES.....	3
2.2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	22
III.MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. ÁMBITO DEL ESTUDIO	24
3.2. METODOLOGÍA	26
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Caracterización de los principales parámetros fisicoquímicos.....	32
4.2. Niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	53
4.3. Niveles de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	58
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	65
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas.	11
Cuadro 02. Efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales	12
Cuadro 03. Valores típicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad.....	17
Cuadro 04. Estándares de Calidad Ambiental para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.	21
Cuadro 05. Límites máximos permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	21
Cuadro 06. Valores de Transparencia (%) en el río Torococha, 2012.	32
Cuadro 07. Prueba de Tukey para niveles de transparencia (%) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.....	35
Cuadro 08. Prueba de Tukey para niveles de transparencia (%) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.....	35
Cuadro 09. Valores de sólidos suspendidos totales (mg/l) encontrados en el río Torococha, 2012.	37
Cuadro 10. Prueba de Tukey para niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.....	40
Cuadro 11. Prueba de Tukey para niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	40
Cuadro 12. Niveles de Temperatura (°C) encontrados en el río Torococha, 2012.....	42
Cuadro 13. Prueba de Tukey para niveles de temperatura (°C) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.	44
Cuadro 14. Prueba de Tukey para niveles de temperatura (°C) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.....	45
Cuadro 15. Niveles de pH encontrados en el río Torococha, 2012.	46
Cuadro 16. Prueba de Tukey para niveles de pH en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.	48

Cuadro 17. Niveles de Caudal (m ³ /s) encontrados en el río Torococha, 2012.	50
Cuadro 18. Prueba de Tukey para niveles de caudal (m ³ /s) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.	52
Cuadro 19. Prueba de Tukey para niveles de caudal (m ³ /s) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	52
Cuadro 20. Valores de DBO ₅ encontrados en el río Torococha, 2012.	54
Cuadro 21. Prueba de Tukey para niveles de DBO ₅ (mg/l) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.	56
Cuadro 22. Prueba de Tukey para niveles de DBO ₅ (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	57
Cuadro 23. Valores de DQO encontrados en el río Torococha, 2012.	59
Cuadro 24. Prueba de Tukey para niveles de DQO (mg/l) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.	61
Cuadro 25. Prueba de Tukey para niveles de DQO (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	62



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Ubicación de los puntos de muestreo en el trayecto del río Torococha, 2012	25
Figura 02. Comparación de los niveles de transparencia (%) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.....	33
Figura 03. Comparación de niveles de transparencia (%) en tres diferentes Zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.	34
Figura 04. Comparación de niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.....	38
Figura 05. Comparación de niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.	39
Figura 06. Comparación de niveles de temperatura (°C) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.....	43
Figura 07. Comparación de niveles de temperatura (°C) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.	43
Figura 08. Comparación de niveles de pH en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.	47
Figura 09. Comparación de niveles de pH en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	47
Figura 10. Comparación de niveles de caudal (m ³ /s) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	51
Figura 11. Comparación de niveles de caudal (m ³ /s) en diferentes zonas en el Río Torococha, 2012.	51
Figura 12. Comparación de niveles de DBO ₅ (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	55
Figura 13. Comparación de niveles de DBO ₅ (mg/l) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.	55
Figura 14. Comparación de niveles de DQO (mg/l) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.	60
Figura 15. Comparación de niveles de DQO (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.	60

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el río Torococha de la ciudad de Juliaca, en los meses de enero, abril y agosto del 2012, en época de lluvia, intermedia y seca respectivamente. Los objetivos específicos fueron: 1) Caracterizar los principales parámetros fisicoquímicos. 2) Determinar los niveles de contaminación orgánica, representados por la DBO₅. 3) Determinar los niveles de contaminación orgánica representados por DQO. De las zonas establecidas, Zona A (inicio), Zona B (media) y Zona C (final), se recolectaron muestras de agua utilizando envases de vidrio. Se utilizó un ANDEVA de un solo factor, considerando tres tratamientos (zonas de muestreo) y 3 bloques (meses) y para la comparación de niveles por meses y zonas se utilizó la prueba de Tukey. El mayor promedio de transparencia se presentó en la Zona A (24.06%) y en Enero (15.44%), el mayor promedio de sólidos suspendidos totales se halló en la Zona B (192 mg/l) y en Enero (189 mg/l), lo cual se encuentra influenciado por el ciclo de lluvias y el vertimiento de aguas residuales, los promedios de temperatura oscilaron entre 13.33 y 11.66°C, el río presentó un pH promedio entre 7.46 y 6.78, la zona con mayor promedio para el caudal fue la Zona C (3.19 m³/s) y la menor la Zona B (0.17 m³/s) y para los meses Enero (1.52 m³/s) mostró un mayor promedio en comparación a Agosto (1.05 m³/s), la zona que presentó un mayor promedio de DBO₅ es la Zona C (78.64 mg/l) y el menor es la Zona A (15.15 mg/l), Abril (81.55 mg/l) presentó un mayor promedio de DBO₅ y el menor en Enero (25.06 mg/l), estos resultados están influenciados por el ciclo de lluvias, el caudal y la concentración de materia orgánica, para la DQO la Zona C presentó un mayor promedio (99.80 mg/l) y el menor se encontró en la Zona A (29.09 mg/l), Agosto (117.82 mg/l) presentó un promedio mayor de DQO y el menor fue en Enero (24.30 mg/l), los valores elevados se deben a las descargas de aguas residuales al cauce del río sin previo tratamiento.

I. INTRODUCCIÓN.

El agua es el elemento más abundante del planeta, los océanos y mares representan el 97% del agua y el restante 3% se reparte en lagos y ríos (Tyler, 2002). Esta cantidad de agua dulce es muy pequeña y fundamental para la vida animal y vegetal, además el agua es indispensable para la supervivencia de casi todos los organismos vivos del planeta y cada vez es más apreciado, tanto para uso doméstico, industrial y agrícola. Su escasez, sobre todo en las ciudades, la sitúan como prioridad vital para el desarrollo de las poblaciones.

Al descargar cualquier tipo de agua residual doméstica, industrial o de agricultura en un cuerpo de agua, se producen cambios en él, al igual que el vertimiento de basura a la orilla de estos, ocasionando diversos efectos tales como olor desagradable, incremento o descenso de temperatura; estas condiciones del agua, traen como consecuencia la alteración de especies que habitan en el cuerpo receptor, la fauna acuática se asfixia por falta de oxígeno y además pueden causar diversas enfermedades. La basura contiene restos orgánicos e inorgánicos, que no se descomponen o al descomponerse producen sustancias tóxicas de impacto negativo al ecosistema. La contaminación de los cuerpos de agua es producida de dos formas; natural y antropogénica. En condiciones normales los ríos pueden auto depurarse, las aguas arrastran los desechos hacia los océanos, las bacterias utilizan el oxígeno disuelto en las aguas y degradan los compuestos orgánicos, que a su vez, son consumidas por los peces y las plantas acuáticas devolviendo el oxígeno y el carbono a la biosfera; este proceso se ha visto alterado en el río Torococha.

En el río Torococha principalmente desembocan las aguas residuales generadas por la población de la ciudad de Juliaca, hay aglomeración de basura en las riberas del río y la población de los barrios aledaños utiliza las riberas del río como letrinas públicas, lo cual genera muchos problemas de salud y contaminación ambiental. Actualmente es un río que ecológicamente a colapsado, pues sus aguas no albergan ningún tipo de especie en cuanto a fauna acuática, pero si se puede observar la presencia de algunas macrófitas, el problema de la contaminación a este río se agrava cada día más.

La presente investigación tiene por objeto evaluar el nivel de contaminación orgánica mediante la determinación de los parámetros fisicoquímicos, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, puesto que no existe un sistema de monitoreo el cual permita evaluar y determinar la calidad de las aguas del río Torococha, dicha información servirá como base o referencia a estudiantes e investigadores en posteriores estudios de contaminación de cuerpos de agua o para hacer un estudio del mismo río posteriormente y realizar comparaciones, de esta forma se podrá informar, motivar y crear conciencia para el cuidado de este recurso primordial que es tan valioso e irremplazable.

Por lo expuesto en la presente investigación se planteó los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar los principales parámetros fisicoquímicos en el río Torococha.
2. Determinar los niveles de contaminación orgánica, representados por la DBO₅, en el río Torococha.
3. Determinar los niveles de contaminación orgánica representados por DQO, en el río Torococha.



II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA

2.1. ANTECEDENTES.

Mayta (2013), en su estudio sobre los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados de residuos sólidos en cuerpos de agua del botadero de Cancharani-Puno, encontró valores de DBO_5 que oscilan entre 135.41 mg/l y 2839 mg/l, los valores encontrados en todos los puntos de muestreo superaron los permitidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) (≤ 15 mg/l). Los valores promedio del DBO_5 en los 7 puntos de muestreo no presentaron diferencia estadística significativa entre meses pero si entre los puntos de muestreo; y los valores de DQO que se obtuvieron oscilan entre 318.42 mg/l y 6 422 mg/l.

Paredes (2013), reporta que la calidad fisicoquímica del agua de la zona de captación Chimú, del Lago Titicaca destinada para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Puno, en sus tres captaciones registran datos por debajo de los Estándares Nacionales Ambientales de Calidad de Agua, la temperatura promedio es de $15.7^{\circ}C$, con un valor mínimo de $14^{\circ}C$ y máximo de $18^{\circ}C$; el pH promedio es de 8.42 que oscilan de 8.03 a 8.85; la demanda química de oxígeno promedio es de 8.27 mg/l, según este parámetro, las aguas cumplen con los ECA, por lo tanto son aptas para el abastecimiento de agua potable con un tratamiento convencional, encontrándose por debajo de los límites definidos (20 mg/l) para una calidad de Categoría 1, Tipo A2.

Muñoz *et al* (2012), indica que las fuentes de materia orgánica son diversas y entre ellas se encuentran las actividades agrícolas, industriales y las aguas residuales generadas en las zonas urbanas y rurales. La temperatura más baja que registraron fue de $11.5^{\circ}C$ y la más alta de $23.2^{\circ}C$. El pH que encontraron oscilaba entre 7.1 y 8.2. Respecto a la DBO_5 , 20% de los datos de Dos Arroyos y Zacatelco excedieron el límite de 150 mg/l establecido en la norma. Menciona que no existen asentamientos humanos en una de las microcuencas, de la cual se obtuvo los valores más bajos de DBO_5 . El par de DBO_5 y DQO mostró valores de $r^2 > 0.8$ en seis de los doce puntos de muestreo. Una línea de regresión entre la DBO_5 y DQO con pendiente cercana a 1 es teóricamente indicadoras de que la materia presente es de tipo orgánico biodegradable. Se encontró que la DBO_5 es explicada por la población asentada hasta 20 km de la línea del cauce del río.

Rivas *et al* (2012), en su estudio sobre la evaluación de los niveles de contaminación de aguas residuales obtuvo resultados para la época de estiaje y de avenidas, donde se aprecia que la DBO_5 en general es inferior a la DQO, la DBO_5 se encuentra en el rango de 7 a 50 mg/l, con un promedio de 39,50 mg/l en época de estiaje y de 12,33 mg/l en época de avenidas, lo que cataloga a ésta agua como contaminada al sobrepasar en el valor de DBO_5 de 3 mg/l; además se observa que a medida que aumenta el caudal va disminuyendo las concentraciones de DBO_5 y DQO, por la disminución de la materia orgánica ante el incremento del volumen del caudal; el promedio de la DQO es de 50.75 mg/l en épocas de estiaje y de 23,33 mg/l en época de avenidas; la DQO está por debajo de la concentración de aguas brutas residuales al presentar una concentración menor al rango de 200 a 300 mg/L, este parámetro tiene la misma tendencia que la DBO_5 , en mejorar la calidad del agua residual en los meses de altas precipitaciones.

Guzmán *et al* (2011), todas las muestras de agua del río San Pedro presentaron valores de pH entre 6.0 y 8.5, dentro de los Límites Máximos Permisibles (LPM), (5.0-10). Las concentraciones de materia orgánica (DQO y DBO_5) fueron en general elevadas a lo largo del cauce, debido a las descargas residuales sin tratar de origen municipal. Los resultados obtenidos de las muestras de agua sobrepasaron el LPM de referencia, las concentraciones máximas de DBO_5 fueron hasta 7.5 veces superiores a los LPM establecidos (150 mg/l), mientras que los valores de DQO fueron hasta 14 veces superiores al LPM señalado para descargas a ríos y embalses (100 mg/l). Estos elevados niveles de materia orgánica son congruentes con las bajas concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD), dado que la disminución del OD está asociada a su consumo por parte de los organismos.

Espinosa *et al* (2010), en su estudio realizado sobre el comportamiento de lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales los cuales posteriormente llegan al río Almendares y a la cuenca principal de Vento, se encontró que los valores de pH eran superiores a 7 o básicos. Durante la época de lluvia se observaron elevadas concentraciones de DQO (1999, 1478 y 1152 mg/l) y DBO_5 (1128, 917 y 1128 mg/l) en los 3 primeros puntos de muestreo respectivamente, lo cual indica la presencia de grandes cantidades de materia orgánica; comparando los resultados obtenidos en las estaciones de lluvia y de seca, la mayoría de los resultados mostraron una reducción de sus valores debido a su dilución por el agua de lluvia.

Angles (2007), en su estudio sobre la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de la Bahía interior de Puno para determinar el nivel de contaminación, menciona que la DBO₅ que obtuvo para las aguas de la superficie y de profundidad fueron de 1.31 mg/l y 1.11 mg/l como valores promedios respectivamente, también se observó que los puntos de muestreo ubicados a 100 m de la orilla muestran los valores más altos de DBO₅ del agua, esto debido a la cercanía a las orillas donde existe un mayor nivel de contaminación.

Samboni *et al* (2007), menciona que el ICA-NSF (Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation de Estados Unidos), que actualmente es utilizado para supervisar la calidad de los ríos, seleccionaron nueve variables de mayor importancia: OD, coliformes fecales, pH, DBO₅, SDT, NO₃-N, fosfatos, temperatura y turbidez. En la mayoría de los casos las variables más empleadas para la valoración físico-química del agua a partir de indicadores son el pH, OD, DBO₅, una especie de nitrógeno como nitratos o amonio, fósforo total y sólidos suspendidos totales. La DQO es una variable más amplia para evaluar la contaminación de origen orgánico e inorgánico, además el uso de esta variable amplía la gama de usos de ciertos indicadores.

Rivas *et al* (2005), encontraron un promedio de $28,8 \pm 1,84^{\circ}\text{C}$ en la temperatura de los ríos estudiados, los valores de pH en el agua variaron alrededor de la neutralidad en el intervalo 6,28 a 8,04. Para todos los ríos, el valor promedio global estimado de Sólidos Suspendidos Totales (SST) fue de 250,03 mg/l, los cuales pueden ser considerados bajos para la mayoría de los ríos. Las concentraciones de DBO₅ en los ríos Motatán, Chama, Catatumbo y Santa Ana se encontraron por debajo de 2 mg/l indicando una baja concentración de materia orgánica clasificándolos como ríos no contaminados. Las diferencias entre los valores de DBO₅ con relación al resto de los ríos por encima de 2 mg/l pueden ser explicados por la baja velocidad en los mismos, lo cual puede aumentar la acumulación de materia orgánica. La DQO presentó valores altos (38,27 mg/l – 46,66 mg/l) para los ríos Birimbay, Catatumbo y Santa Ana. La relación DBO₅/ DQO en los ríos varió entre 0,006 a 0,394 mg/l indicando una alta cantidad de material biodegradable.

García *et al* (1998), la eliminación de la materia orgánica y los nutrientes se ha evaluado mediante estrategias operacionales diferenciadas definidas a través del control del tiempo de retención hidráulico, las concentraciones medias de la DQO de los efluentes de las dos

lagunas se encuentran por encima del límite de 125 mg/l establecido por la Directiva del Consejo 91/271 de la Unión Europea. Los dos efluentes podrían verterse al medio natural con un tratamiento posterior destinado a mejorar su calidad desde un punto de vista de la DQO. Las dos fracciones de la DQO de los efluentes presentan una relación positiva y más o menos lineal con la DQO total de los efluentes. Sin embargo, la varianza explicada a través del coeficiente de correlación lineal (R^2) de la regresión entre las variables es sensiblemente superior para la fracción particulada.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Propiedades generales del agua.

El agua es el único mineral abundante que es líquido a la temperatura que reina la mayor parte de la superficie de la Tierra; mientras que los estados sólido y gaseoso de la materia se explican hasta un grado avanzado, el estado líquido es más difícil de comprender (Margalef, 1983).

El agua es una molécula formada por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno, por lo que su fórmula química es H_2O . Esta unión es tan fuerte que por mucho tiempo se creyó que el agua era un elemento y no un compuesto. Al unirse estos tres átomos se forma una nueva nube de electrones alrededor de los 3 núcleos, que se sitúan en forma de triángulo. De esta forma se obtiene una molécula bipolar, es decir que tiene dos polos: Negativo en el lado del oxígeno y positivo en el lado de los átomos de hidrógeno. La nube de electrones adopta una forma extraña (enlace de hidrógeno) que hace que atraiga a los átomos de hidrógeno de otras moléculas de agua, uniéndose fuertemente y causando algunas de las curiosas y necesarias propiedades que tiene el agua; de cada 10^7 de moléculas de agua, sólo una se encuentra ionizada (Sawyer, 1994).

Esto explica que la concentración de iones hidronio (H_3O^+) y de los iones hidroxilo (OH^-) sea muy baja. Dado los bajos niveles de H_3O^+ y de OH^- , si al agua se le añade un ácido o una base, aunque sea en poca cantidad, estos niveles varían bruscamente (Sawyer, 1994).

a. Capilaridad y Tensión Superficial. La capilaridad es la propiedad que tiene un líquido a subir por un tubo, desafiando la fuerza de la gravedad. El nivel que alcanza es

directamente proporcional a la tensión superficial del líquido e inversamente proporcional al grosor interno del tubo. El agua tiene una gran tensión superficial debido a sus enlaces de hidrógeno, que buscan adherirse a las paredes del tubo. Esto hace que tenga una gran capilaridad, algo que resulta indispensable para que el agua pueda subir por el tallo de plantas, árboles. Si esto no fuera así no podrían existir las plantas y la vida en el planeta desaparecería. Esta propiedad también es utilizada por la sangre para circular por los diversos organismos, y es la causa de que se forme una pequeña curvatura menisco en la orilla de la superficie del líquido cuando éste está contenido en un vaso (Snoeyink *et al.*, 2000).

b. Densidad. Normalmente las sustancias al enfriarse se hacen más densas, pero en el agua ocurre todo lo contrario, al congelarse disminuye su densidad. Esto hace que el hielo tenga menos densidad que el agua líquida y, por tanto, el hielo flota en el agua. De hecho, el agua consigue su mayor densidad a 4°C. Por debajo de esa temperatura el agua disminuye su densidad hasta que se congela. Cuando la temperatura baja, las moléculas pierden movilidad y tienden a unirse más fuertemente, pero separándose unas moléculas de otras, disminuyendo así su densidad y aumentando su volumen. Por eso, el agua al congelarse aumenta su volumen y flota (Snoeyink *et al.*, 2000).

c. Solubilidad. El agua pura no existe en la naturaleza, pues el agua permite disolver fácilmente en ella otras sustancias. Además, algunas de estas sustancias son fundamentales para la vida y, si el agua no pudiera disolverlas, la vida desaparecería. Por ejemplo, el agua de ríos y mares lleva oxígeno disuelto que respiran los peces. Esta característica es fundamental para la vida, pero tiene el inconveniente de que hace que el agua sea muy fácil de contaminar. Como demostración de esto último véase, por ejemplo, el mar Mediterráneo, el río Ebro, el río Po y tantos otros ríos y mares. El agua es el mejor solvente, aunque esto no significa que pueda disolver todas las sustancias. Por ejemplo, el aceite no puede ser disuelto por el agua. La solubilidad del agua se debe a que es una molécula bipolar, con dos polos (positivo y negativo) y esto hace que se comporte como un imán atrayendo y repeliendo los distintos átomos de otras sustancias (Sawyer, 1994).

d. Capacidad Calórica. Es la cantidad de calor necesaria para elevar o descender la temperatura de una cierta cantidad de una sustancia. Se llama caloría a la cantidad de calor necesaria para elevar o descender 1° la temperatura de 1 gramo de agua. El agua tiene muy

alta su capacidad calórica ($4200 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$), es decir, necesitamos aplicar mucho calor para elevar poco su temperatura. El alcohol, por ejemplo tiene su capacidad calórica un poco menor que la del agua ($2400 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$) y con menor que ésta tenemos el hielo ($2100 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$), el mármol ($880 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$), el vidrio ($630 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$), el acero ($450 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$), el cobre ($380 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$) y el plomo ($130 \text{ J/Kg/}^\circ\text{K}$), por ejemplo. Así, si calentamos un recipiente con agua, notaremos que muy pronto el recipiente se ha calentado mucho, pero que el agua tarda mucho más en calentarse (Sawyer, 1994).

Esta propiedad, unida a que en el planeta tierra existe mucha superficie con agua, hacen menos bruscos los cambios de temperatura entre el día y la noche y entre las estaciones del año. Si esto no fuera así, los días serían abrasadores y las noches serían muy gélidas. Esta propiedad se debe a que el agua traduce la energía que se le aplica en vibraciones moleculares, retardando así su calentamiento y esto es consecuencia de que los enlaces de hidrógeno mantienen muy ordenadas las moléculas del agua (Domenech, 1998).

e. Temperatura de Ebullición: Es la temperatura con la que el agua se convierte en gas (vapor de agua) y depende de la altitud (presión atmosférica): A mayor altitud (menor presión), menor temperatura de ebullición. Por otra parte, los compuestos más ligeros se evaporan a menor temperatura que los más pesados. Siguiendo esta regla, sabiendo que el peso molecular del agua es 18 y comparándolo con otras sustancias, deducimos que la temperatura de ebullición del agua debería ser 91° bajo cero y entonces, a temperatura ambiente no habría agua líquida y, por tanto, no habría vida. Sin embargo, la temperatura de ebullición del agua es, por fortuna, bastante mayor: 100°C a nivel del mar. Esto es así debido a que los átomos de agua están tan fuertemente unidos que se necesita mucha energía (calor) para separarlas (convirtiéndolas en gas). En una olla a presión, como el vapor de agua no puede escapar, aumenta la presión y así aumenta la temperatura de ebullición del agua, situándose por encima de los 100° y consiguiendo que los alimentos se cocinen más rápidamente (Domenech, 1998).

En la atmósfera, con la ayuda del aire y del sol, el vapor de agua se convierte en humedad, niebla, neblina, rocío, escarcha y nubes. Y como nieve sobre las montañas, o como lluvia o granizo en los valles, se escurre, desliza o se filtra en la tierra, donde la recogen los ríos, y de los ríos va al mar, esto es el ciclo hidrológico, o ciclo del agua. El mar retiene la sal del agua

que recogió del suelo, la tierra y las rocas que se encontraban en los lugares por donde pasa el río, la envía a la atmósfera, pura y evaporada (Navarro, 1998).

De la atmósfera, el agua cae como lluvia baja sobre los prados, los campos, nutre las cosechas y la fruta, y corre por los troncos, ramas de las plantas y árboles, llenándolos de flores. Al encontrar grietas en las rocas y en el suelo, el agua penetra hacia adentro de la tierra, formando los ríos subterráneos que llenan los pozos, a veces sale en pequeñas cascadas o manantiales. A todo este proceso se le llama el Ciclo del agua, o ciclo Hidrológico, gracias a él, probablemente tú volverás a beber esta misma agua cien veces durante toda tu vida (Echarri, 1998).

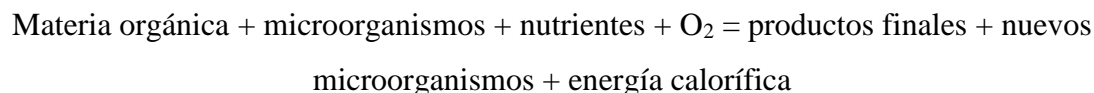
2.2.2. Contaminación del agua por materia orgánica.

El agua se considera un recurso renovable debido a que el ciclo hidrológico asegura, hasta cierto punto, su existencia en la Tierra, sin embargo, la contaminación y la sobre-explotación de los cuerpos de agua dulce han hecho que el vital líquido sea cada vez más escaso donde más se necesita. Se dice que el agua está contaminada cuando contiene sustancias o energía que modifican sus propiedades físicas, químicas y biológicas, de manera que resulta tóxica para los seres vivos y no puede consumirse (Fernicola & Jauge, 2000).

En muchas ocasiones, más de las que quisiéramos, nos encontramos ríos, lagos, y otros cauces contaminados, ofreciendo un paisaje desolador. Las causas de contaminación son variadas; sales, eutrofización, vertidos industriales, etc., destacando la contaminación por parte de la materia orgánica, procedente de vertidos urbanos, actividades ganaderas, agrícolas o industriales con manipulación de compuestos orgánicos. Por ejemplo, en un agua residual de concentración media, cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de son de naturaleza orgánica (Seoanez, 2000).

La contaminación de un cauce, lago o mar con alta concentración de materia orgánica procede de los procesos de descomposición de esta materia orgánica. Estos son básicamente reacciones químicas que requieren el oxígeno disuelto en el agua para su desarrollo. Como este oxígeno, procedente de la atmósfera por intercambio de gases, es el que en condiciones normales es requerido por la flora y fauna del medio para subsistir, ocasiona que el equilibrio del medio se altere, afectando de modo significativo a la vida acuática (Vera, 1998).

La citada descomposición obedece a reacciones de asimilación de la materia orgánica por parte de microorganismos en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo a la siguiente reacción:



Los compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno, azufre, calcio, magnesio, fósforo, hierro, etc. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, 40-60%, hidratos de carbono, 25-50%, y grasas y aceites, 10% (Seoanez, 2000).

La descomposición de estos compuestos se desarrolla mientras que en el medio exista materia orgánica y oxígeno disuelto, afectando a los más sencillos como aminoácidos, azúcares, grasas, proteínas, etc. hasta los más complejos como celulosa, hemicelulosa y lignina (Seoanez, 2000).

El proceso implica precisamente, permitir la entrada de aire, además de controlar la humedad y la temperatura, de modo que el composteo se vuelve simplemente un proceso acelerado de descomposición hacia la transformación en humus, es decir, en compuestos y elementos simples que al ser agregados a cualquier suelo, proporcionan nutrientes para las plantas y mejoran algunas características del suelo (Seoanez, 2000).

Si en la recolección de residuos en las ciudades, se mantuviera separada la materia orgánica del resto de los desechos, y aquella se convirtiera en composta, además de reducir considerablemente (hasta un 50%) la cantidad de basura que va a parar a los rellenos sanitarios, se evitaría controlar la emisión de metano, y la composta es el abono orgánico por excelencia, para usarse en cultivos, jardines, parques, reforestaciones, etc. (Vera 1998).

Cuadro 01. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas.

Contaminantes	Motivo de su importancia
Sólidos Suspendedos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO ₅ y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del Oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuesto orgánico en inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Sawyer *et al.* 1994

Cuando la materia orgánica que contamina al agua se ha agotado, la acción bacteriana de la desoxigenación de las aguas contaminadas oxida al ion amonio, proceso denominado nitrificación; a los procesos de descomposición bacteriana anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica se le llama anaerobiosis. A la descomposición anaeróbica (por enzimas producidas por levaduras) de los carbohidratos o azúcares se le llama fermentación y a la descomposición bacteriana anaeróbica de las proteínas se le llama putrefacción (Seoanez, 2000).

En el proceso de putrefacción, como el metano es insoluble en agua se libera en forma de gas. El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, de mal olor (a huevo podrido) y tóxico (en concentraciones de 5 % es nocivo para la vida), por lo que la putrefacción desprende olor

fétido y los peces y otros animales que requieren del oxígeno no pueden vivir en aguas contaminadas donde ocurra la putrefacción (se le considera la forma peor de contaminación bacteriana) (Vera 1998).

Cuadro 02. Efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales

Contaminantes	Parámetro de caracterización	Tipo de efluentes	Consecuencias
Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos totales	Domésticos Industriales	Problema estéticos Depósitos de barros Adsorción de contaminantes Protección de patógenos
Sólidos flotantes	Aceites y grasas	Domésticos Industriales	Problemas estéticos
Materia orgánica biodegradable	DBO ₅	Domésticos Industriales	Consumo de Oxígeno Mortalidad de peces Condiciones sépticas
Patógenos	Coliformes	Domésticos	Enfermedades transmitidas por el agua.
Nutrientes	Nitrógeno Fósforo	Domésticos Industriales	Crecimiento excesivo de algas (eutrofización del cuerpo receptor) Toxicidad para los peces (amonio) Enfermedades en niños(nitratos) Contaminación del agua subterránea.
Compuestos no biodegradables	Pesticidas Detergentes Otros	Industriales Agrícolas	Toxicidad (varios) Espumas (detergentes) Reducción de la transferencia de Oxígeno(detergentes) No biodegradabilidad Malos olores
Metales pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.)	Industriales	Toxicidad Inhibición al tratamiento biológico de las aguas residuales Problemas con la disposición de los barros en la agricultura Contaminación del agua subterránea.

Fuente: Sawyeret al. 1994

2.2.3. Contaminación del agua por microorganismos patógenos.

El hombre vive en relación íntima con los microorganismos sobre su piel y en su sistema digestivo. En estado de salud, los humanos y los microbios viven juntos para beneficio mutuo. Sin embargo, algunas personas sanas viven en armonía con organismos que pueden resultar patógenos para otros. Por ejemplo, algunas personas están adaptadas a las aguas con bacilos que provocan disentería en otras personas. Por otra parte, resulta muy fácil contaminar el agua con microorganismos como las bacterias intestinales por lo que es muy difícil mantener el agua potable libre de bacterias intestinales y además eliminarlas no es posible, ni benéfico y resulta muy costoso (Lavilla, 2000).

Las bacterias coliformes son microorganismos inofensivos para el hombre y residen en su intestino grueso y abundan en la materia fecal. Forman parte de los desechos de las aguas negras y no se desarrollan en el agua, de manera que un recuento de las bacterias coliformes constituye un indicio del grado de contaminación de esas aguas (Vera, 1998).

Se considera que el número de microorganismos portadores de enfermedad en el agua es proporcional al número total de microorganismos y que una cantidad total baja representa un menor riesgo de contraer una enfermedad. Sin embargo, se han dado casos en que enfermedades virales han sido transmitidas por aguas que cumplen estrictamente con las normas de control de bacterias (Vera, 1998).

Por consiguiente, la presencia de que cualquier impureza típica de las aguas negras, inclusive si no son perjudiciales en sí mismas, implica que el agua en que se encuentran no deja de ser fuente peligrosa de enfermedad (Lavilla, 2000).

El agua contaminada puede estar sucia, mal oliente, ser corrosiva, de mal sabor o poco apta para lavar la ropa con ella. Sin embargo, para el hombre el efecto más perjudicial del agua contaminada ha sido la transmisión de enfermedades por microorganismos que pueden habitar en ella. Por ejemplo, la fiebre tifoidea causada por la bacteria *Salmonella typhi*, el cólera causada por la bacteria *Vibrio cholerae*, la disentería provocada por parásitos como las amibas *Entamoeba histolítica* y la bacteria *Shigella*, la gastroenteritis causada por virus, bacterias y

protozoarios, la hepatitis infecciosa causada por el virus de la hepatitis y la poliomielitis causada por el virus de la poliomielitis (Araujo, 1999).

Por regla general, se considera que el agua es aceptable para beber si:

- a) Contiene menos de 10 bacterias intestinales en cada litro de agua.
- b) Si no presenta mal sabor, olor, color o turbiedad.
- c) Si no contiene impurezas químicas en concentraciones que puedan ser peligrosas para la salud del consumidor.
- d) Si no son corrosivas con respecto al sistema de conducción del agua.
- e) Si no provienen de sistemas acuíferos sujetos a contaminación por aguas negras u otros contaminantes (Vera 1998).

2.2.4. Contaminación por aguas residuales.

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno). (Remenieras, 2000; Araujo, 1999).

La gestión de las aguas residuales representa la mayor fuente mundial de contaminación. Los desechos domésticos e industriales se vierten sobre la superficie de las aguas a través de los sistemas de alcantarillado. En algunos casos, los residuos industriales son liberados directamente sobre los ríos y mares (Domenech, 1998).

La calidad de las aguas residuales depende de los contaminantes que están presentes en el agua y de la medida en que esta agua es tratada antes de liberarla junto con el resto de vías fluviales; las aguas residuales domésticas constan principalmente de papel, jabón, orina, heces

y detergentes. Los desechos industriales, en cambio, son variados y dependen de los procesos específicos de las plantas de las que proceden en origen. También destacan porque apenas tienen carga eléctrica (Araujo, 1999).

El comportamiento de los compuestos orgánicos depende de su estructura molecular, el tamaño, la forma y la presencia de sus grupos funcionales que son los verdaderos e importantes factores determinantes de la toxicidad. Es importante conocer la estructura de los compuestos orgánicos, con el fin de predecir sus efectos en los organismos vivos y el medio ambiente. Los compuestos orgánicos que son peligrosos para el medio ambiente están todos fabricados por la mano del hombre y sólo se ha conocido su existencia desde el siglo pasado (Remenieras, 2000).

Finalmente, la contaminación biológica considerara como contaminante aquellos seres o productos biológicos que afectan al hombre y su entorno, ya sea amenazando a su salud o a su disponibilidad de alimento (Araujo, 1999).

2.2.5. Generalidades de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La estimación de la contaminación orgánica es un problema complejo y delicado, que precisa de las determinaciones y de los test, debido a la naturaleza muy diversa de la materia orgánica y los diversos estados de degradación, no es posible considerar un único método o un solo test que pueda permitir hacerse cargo de la situación del problema. El balance se hará por comparación y relación de los resultados asociados a la verificación de las medidas de los componentes de la materia orgánica (Domenech, 1998).

La oxidación de la materia orgánica para dar anhídrido carbónico y agua, y la de los compuestos minerales del nitrógeno para las sustancias cuaternarias, conducen a un consumo del oxígeno del agua, que es renovado por el oxígeno del aire. En principio, la materia orgánica se utilizan como nutriente de los gérmenes aerobios; el nitrógeno con estado de oxidación superior (nitritos y nitratos), sirve a las nitrobacterias y nitrosoma (Vera, 1998).

Todo el conjunto de reacciones puede conducir en un medio muy pobre en O_2 , como en las aguas estancadas, las bacterias que necesitan oxígeno lo retienen a expensas no solamente de los nitratos y nitritos sino a partir de los sulfatos con desprendimiento de sulfuro de

hidrogeno. Estos fenómenos de oxidación que pueden tener lugar en la naturaleza, son más difíciles de reproducir en el laboratorio y de obtener la degradación última de la materia orgánica. Sin embargo ciertas técnicas como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) o el ensayo del olor, permite una apreciación de los fenómenos por vía biológica, con sus inherentes dificultades de reproducibilidad (Domenech, 1998).

Una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica (sirve como nutriente y requiere oxígeno para su descomposición) es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana y se le denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). La DBO_5 es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo (Vera, 1998).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para descomponer la materia orgánica presente mediante acción de los microorganismos aerobios presentes en el agua. Normalmente se emplea la DBO_5 , que mide el oxígeno consumido por los microorganismos en cinco días. Resulta el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado. La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. La DBO_5 de una muestra de agua expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20°C en un periodo de 5 días. Una DBO_5 grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua (Domenech, 1998).

El agua potable tiene una DBO_5 de 0.75 a 1.5 ppm de oxígeno y se considera que el agua está contaminada si la DBO_5 es mayor de 5 ppm. Las aguas negras municipales contienen entre 100 y 400 ppm, pero los desechos industriales y los agrícolas contienen niveles de DBO_5 del

orden de miles de ppm. La reducción de los niveles de DBO_5 se hace mediante tratamiento de aguas negras (Vera, 1998).

Cuadro 03. Valores típicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad.

TIPO DE AGUA	DBO_5 mg/L
Agua potable	0.75 a 1.5
Agua poco contaminada	5 a 50
Agua potable negra municipal	10 a 400
Residuos industriales	500 a 10 000

Fuente: Remenieras, 2000

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (Araujo, 1999).

Un valor de DBO_5 de más de 10 mg/l rebasa la máxima cantidad de oxígeno que puede haber disuelto en el agua y representa una situación de tensión; la concentración y el gradiente a lo largo del río será función de la dilución del aporte contaminado en el río, del flujo y de aireación; vertidos domésticos pueden tener una DBO_5 de 300 a 500 mg/l residuos de la industria agrícola, 800-3000 mg/l (Margalef, 1983).

Los valores típicos de la DBO_5 para aguas residuales domésticas se sitúan entre los 250 - 350 g/m³, mientras que ciertas aguas residuales industriales pueden alcanzar cifras de hasta varios miles de gramos de oxígeno por metro cúbico de agua. Por comparación, los valores de la DBO_5 en un río no contaminado no han de superar los 3 g/m³, mientras que uno muy contaminado podría tener valores aproximados a 10 g/m³. Estas cifras pueden variar según la fuente consultada (Domenech, 1998).

En el tratamiento primario de potabilización del agua existe una fase llamada sedimentación, en la que se depositan los materiales orgánicos y se retiran para su eliminación. Este depósito se conoce como fosa séptica, en la que sedimentan los sólidos y asciende la materia flotante, mientras que el agua fluye hacia zanjas subterráneas, donde se oxida aeróbicamente. Con este

proceso se reducen los sólidos en suspensión y la DBO_5 entre un 20 y un 40% (Domenech, 1998).

En el tratamiento secundario de las aguas residuales se utiliza un proceso denominado filtro de goteo, en el que la materia orgánica es absorbida por una película microbiana y transformada en sedimentos, lo que reduce cerca de un 85% la DBO_5 . Al método anterior le sigue el tratamiento aeróbico de fangos activados, en el que las partículas de lodo absorben la materia orgánica y la convierten en productos aeróbicos. Se disminuye así la DBO_5 entre un 60 y un 85% (Domenech, 1998).

El proceso correlativo, es un estanque de estabilización o laguna cuya función es oxidar la materia orgánica disuelta y coloidal, restringiéndose de un 75 a un 80% la DBO_5 . Para llegar a rebajar este parámetro en un 99% se utiliza el tratamiento avanzado, que consiste en pasos adicionales al tratamiento terciario para mejorar la calidad del efluente eliminando los componentes recalcitrantes (Domenech, 1998).

2.2.6. Generalidades de la Demanda Química de Oxígeno.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato potásico, el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse (Folch, 2000). Martínez (2006), menciona que esta determinación da una medida de la cantidad de materia oxidable presente en el agua tanto orgánica como inorgánica.

La demanda de oxígeno de un agua residual es la cantidad de oxígeno que es consumido por las sustancias contaminantes que están en esa agua durante un cierto tiempo, ya sean sustancias contaminantes orgánicas o inorgánicas. Las técnicas basadas en el consumo de oxígeno son la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica del oxígeno (DBO_5) y el carbono orgánico total, COT o TOC (Domenech, 1998).

Para poder evaluar el daño que pueden llegar a producir las aguas residuales, se emplean diversas técnicas. Para aguas negras, que tienen una composición más o menos constante, se emplea la cantidad de carbono presente en las mismas, ya sea directamente, midiendo el carbono orgánico total, COT, o TOC en inglés, o indirectamente, midiendo la capacidad reductora del carbono existente en dichas aguas. Estas últimas son la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Así, con estas técnicas podemos determinar la cantidad de materia orgánica putrescibles que están en el agua contaminada. En principio, entre ellas, no hay relación en cuanto a los resultados, ya que los efectos que se producen en el agua varían al aplicar cada técnica, de unas aguas contaminadas a otras. Para el mismo fin se emplea a veces otro parámetro, la Oxidabilidad al Permanganato (Folch, 2000).

La Oxidabilidad al permanganato es otra característica del agua a tener en cuenta. El agua se trata con permanganato potásico, KMnO₄, que oxida a las sustancias de origen orgánico del agua. Después se determina la cantidad de permanganato. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño (Domenech, 1998).

Destacar, por último, que en aguas residuales procedentes de industrias alimentarias la DBO₅ se presenta muy elevada. También en el caso de las industrias de tipo textil, pero acompañado de un incremento de la Demanda Química de Oxígeno (Domenech, 1998).

2.2.7. Ecología de ríos.

Los ríos tienen una enorme importancia por conectar las cuencas terrestres con la atmósfera y con el mar, funcionando como los auténticos riñones de la Tierra. De esta forma, además de agua, transporta sales, sedimentos y organismos, y las complejas reacciones químicas y biológicas que se producen en los cauces fluviales son responsables en parte de las características químicas del agua retenida en los grandes reservorios, como los lagos y océanos. Desde una perspectiva geológica, los ríos han transportado durante millones de años buena parte de los sedimentos que afloran en las orogenias y forman parte del sustrato litológico de las placas continentales. Estos sedimentos provienen de la acción de los agentes erosivos, por lo que los ríos no sólo son cruciales para entender el ciclo hidrológico, sino que

su papel va más allá, hasta el ciclo de formación de rocas, la orogenia y la denudación de los continentes. Cabe destacar que los ríos suelen perdurar más que los lagos, ya que éstos tienden a colmatarse de sedimentos y desaparecer (Elosegi & Sabater, 2009).

a. Retención de nutrientes

Los ecosistemas fluviales son sistemas abiertos expuestos a una entrada continua de materiales particulados y disueltos procedentes de la cuenca de drenaje. Parte de este material es procesado por los organismos. El ciclo de un nutriente en un sistema fluvial no ocurre en un mismo tramo, sino que se cierra aguas abajo. Las comunidades fluviales denominados también organismos bentónicos, retienen una fracción de los nutrientes disponibles y los transfieren a través de las redes tróficas, de modo que reducen temporalmente la carga de nutrientes aguas abajo. Así, el flujo de nutrientes en los ríos depende de la relación entre la retención y la regeneración de nutrientes y de la entrada continua de nutrientes (Sabater & Martí, 2009).

b. Contaminación de Ríos

Los ríos pueden recuperarse rápidamente de los residuos degradables, demandantes de oxígeno y del calor excesivo por una combinación de dilución y descomposición bacteriana. Este proceso natural de recuperación funciona en tanto los cursos no estén sobrecargados con estos contaminantes y no se reduzcan con sequías, presas o desviación a la agricultura o a la industria. Sin embargo, estos procesos naturales de dilución y biodegradación no eliminan los contaminantes no degradables o que se degradan con lentitud. La descomposición de residuos degradables por las bacterias reduce el oxígeno disuelto, lo cual reduce o elimina poblaciones de organismos con alta exigencia de oxígeno hasta que la corriente quede limpia de residuos (Tyler, 2002).

En un río contaminado, la estructura normal vertical de un ecosistema acuático está exagerada, y deformada porque el gradiente máximo se hace aproximadamente horizontal; el sistema fluvial, por la extensa superficie de contacto con la atmósfera y por la mezcla de los distintos elementos que reaccionan dentro del agua, está particularmente preadaptado a una descomposición relativamente rápida y en términos ecológicos, poco eficiente de la materia orgánica que se introduce en él; la disponibilidad de luz en todas las etapas del proceso es otro

factor importante, pues permite el desarrollo de autótrofos, que aceleran el proceso (Margalef, 1984).

Cuadro 04. Estándares de Calidad Ambiental para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES		
PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS	UNIDAD	VALOR
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< = 15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos	mg/L	1
Nitratos	mg/L	10
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6.5-8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05

Fuente: MINAM (2008)

Cuadro 05. Límites máximos permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

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

Fuente: MINAM (2010)

2.3. MARCO CONCEPTUAL.

Agua residual. Aguas de composición variada proveniente de las descargas poblacionales, industriales, agrícolas, pecuarios, y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (MINAM, 2010).

Aguas servidas. Aguas contaminadas por uso doméstico, industrial o agrícola. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto de los últimos años por la contaminación que genera a los ecosistemas (MINAM, 2010).

Contaminante degradable. Producto químico potencialmente contaminante que se descompone completamente o se reduce a niveles aceptables por procesos naturales, físicos, químicos y biológicos. (Tyler, 2002)

Contaminación del agua. Cualquier cambio físico o químico en el agua de superficie o subterránea que puede ser nocivo para los organismos vivos o volverla no apta para ciertos usos (Tyler, 2002)

Contaminante no degradable. Material que no se descompone por los procesos naturales (Tyler, 2002).

DBO. (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Cantidad de oxígeno disuelto en un volumen dado de agua a una temperatura y presión en particular que a menudo se expresa en partes de oxígeno por millones de partes de agua (Tyler, 2002).

DQO. (Demanda Química de Oxígeno). Cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas (Folch, 2000).

ECA: Estándares de Calidad Ambiental. Son indicadores que 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 ni al ambiente (MINAM, 2013).

Ecosistema. Es el conjunto formado por la biocenosis (fase biótica) y el biotopo (fase abiótica) que se interactúan. Los ecosistemas pueden tener distintos tamaños, desde un humilde charco hasta un bioma. Grupo de animales y plantas que conviven la parte del ambiente físico en la cual interactúan un ecosistema es una entidad casi autónoma del modo que la materia que fluye dentro y fuera del mismo es pequeña en comparación a las cantidades que se reciclan dentro de un intercambio continuo de las sustancias esenciales para la vida (Turk, *et al.* 1981).

LMP: Límites Máximos Permisibles. Instrumentos de gestión ambiental que miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva (minería, hidrocarburos, electricidad, etc.), que al exceder causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, 2013).

Materia orgánica. Conjunto de materiales vegetales y animales total o parcialmente descompuestos por la acción de los microorganismos presentes en el suelo (Camacho & Ariosa, 2000).

Sólidos suspendidos totales. Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno (Clescerl *et al.*, 1999)

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. ÁMBITO DEL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Río Torococha el cual se encuentra ubicado en el Altiplano Peruano localizada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno a 3 826 msnm en la coordenadas $15^{\circ} 29' 24''$ de latitud sur y $70^{\circ} 09' 00''$ de longitud oeste, la ciudad está atravesada de Oeste a Este por el Río Torococha. Se realizaron visitas previas al estudio para la identificación de los lugares idóneos donde realizar los muestreos y ver las condiciones en las que se encontraba el río a lo largo de su cauce dentro de la ciudad de Juliaca. Los puntos se localizaran en tres zonas y por cada zona se tomaron 4 muestreos en lugares representativos:

1. Zona A o de inicio: Salida Arequipa - Chullunquiari con las coordenadas UTM 374349 E, 8285289 N.
2. Zona B o media: Ciudad de Juliaca - Av. Circunvalación con las coordenadas UTM 379799 E, 8286885 N.
3. Zona C o final: Morogachi en las coordenadas UTM 384853 E, 8285301 N.

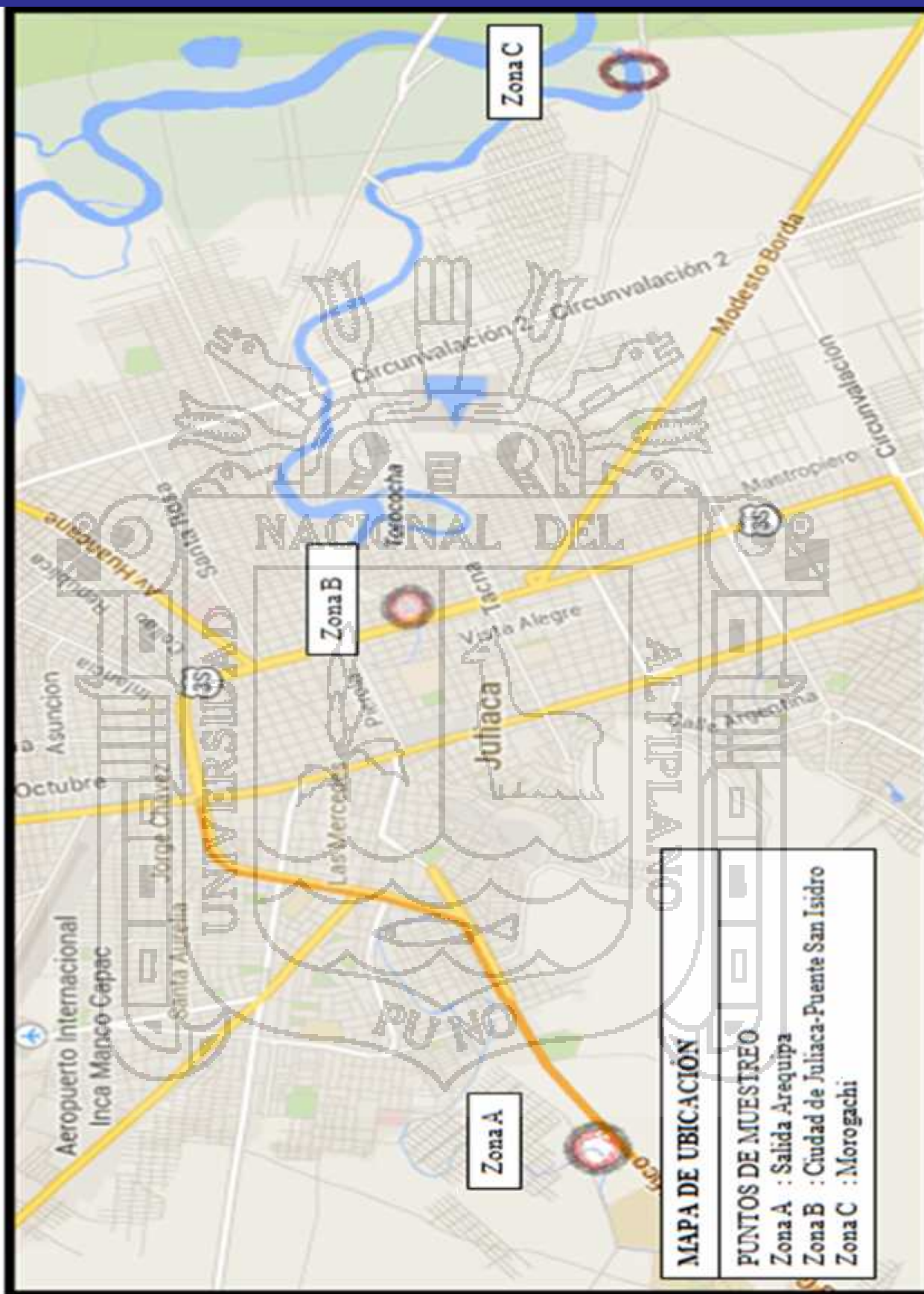


Figura 01. Ubicación de los puntos de muestreo en el trayecto del Río Torococha, 2012.
 Fuente: Google Map 2014]

3.2. METODOLOGÍA

El estudio se realizó en los meses de enero, abril y agosto del 2012, considerando que estos meses representan a la época lluviosa (enero), intermedia (abril) y seca (agosto), realizándose muestreos en tres zonas a lo largo de su cauce, además en cada zona se tomaron cuatro puntos de muestreos y la distancia entre cada punto de muestreo por zona fue de 100 metros. La distancia en línea recta que existe entre la Zona A y la Zona B es de 4.80 km y entre la Zona B y la Zona C es de 4.93 km. Para determinar el grado de contaminación del río Torococha y la zona más afectada se realizaron pruebas de DBO₅, DQO y exámenes fisicoquímicos.

3.2.1. Caracterización de los principales parámetros fisicoquímicos.

a) Determinación de la transparencia.

Para este estudio por tratarse de una corriente de agua poco profunda y contaminada por desechos domésticos, se realizó la medida mediante un tubo de turbidez, modificado de Acuña & Torres (2012). Se utilizó un tubo de vidrio transparente de 4,5 x 150 cm de altura, en la base del tubo se colocó un disco con una figura similar al del disco Secchi, con sus cuatro cuadrantes pintados de manera alternada de color blanco y negro, en el lateral del tubo se contaba con una escala dividida en centímetros.

Para la medición de la transparencia se recogió agua directamente del río con un balde pequeño, se homogenizó y se vertió el agua en el tubo de turbidez hasta que el disco del fondo ya no era visible. Luego se procedió a anotar la altura de la columna de agua en el tubo, la cual se registró como medida de la transparencia en centímetros que posteriormente se convirtió a porcentaje. El mismo procedimiento se repitió para cada zona de muestreo y de acuerdo a los meses indicados. Para convertir la altura dada en centímetros a porcentaje, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{h \times 1}{h}$$

Dónde:

h1: es la altura del tubo

h2: es la altura medida de transparencia

b) Determinación de la temperatura.

La lectura de la temperatura se realizó sumergiendo un termómetro digital en el interior de la muestra, en cada punto de muestreo y esperando hasta una lectura constante, esta medida se realizó *in situ* y se tomó nota de las temperaturas registradas respectivamente.

c) Determinación del nivel de pH.

Las medidas de pH se realizaron con un pH-metro (CRISON Modelo 507) tomando una muestra de las aguas del río, se procedió a tomar las medidas de pH por zona de muestreo.

d) Determinación del caudal.

Para aplicar este procedimiento se trazó una distancia de 10 metros entre los puntos A y B, se soltó un corcho que hizo el papel de flotador y se tomó el tiempo con un cronómetro desde que se soltó el corcho en el punto A hasta que llegó al punto B. La medición se hizo tres veces por zona para aumentar la precisión y se obtuvo un promedio de los tres datos para cada zona. Para la profundidad del río se tomaron 5 medidas en diferentes puntos a lo largo de un transecto y también se obtuvo un promedio de los datos obtenidos, luego se procedió a medir el ancho del río (Magdaleno, 2009).

La velocidad de la corriente de agua del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$Q(\text{Caudal}) = \frac{D \cdot \frac{(m) \times A}{T} \cdot \frac{(m) \times P}{(s)}}{(m)} \times \text{Factor de corrección}$$

$$Q = m^3 / \text{seg}$$

Dónde:

Factor de corrección: 0.9 por tratarse de un fondo lodoso.

e) Determinación de los sólidos suspendidos totales

La toma de agua se hizo de forma manual introduciendo una botella en el punto de muestreo, a una profundidad no mayor de 15 cm. El análisis se realizó mediante el método gravimétrico, primero se preparó el filtro (Millipore) de 0.42 μm colocándolo en un equipo de filtración, se aplicó vacío y se lavó con 3 porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, luego se procedió a secar durante una hora a 103-105°C hasta obtener un peso constante, se colocó en el desecador durante 30 minutos y luego se pesó el filtro antes de usarlo. Para el tratamiento de la muestra se colocó el filtro en el equipo de filtración y se vertió 50 ml de muestra de agua, aplicando vacío, se procedió a enjuagar el embudo y el filtro con agua destilada, se removió y secó el filtro en un horno a 103-105°C, se llevó a un desecador durante 30 minutos y se pesó hasta alcanzar un peso constante. Instituto de investigaciones marinas y costeras (2003). El contenido de sólidos suspendidos totales se calculó mediante la siguiente fórmula:

CALCULOS.

$$S_{m/l} = \frac{(A - B) \times 10^6}{V_l \cdot d \cdot m} \quad (1)$$

Dónde:

A = peso del filtro + residuo seco en g.

B = peso del filtro en g.

Análisis estadísticos.

Los datos de transparencia, sólidos suspendidos totales y caudal fueron transformados a logaritmo 10 para un mejor ajuste de la prueba paramétrica. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk y Levene para comprobar los supuestos de Normalidad y Homogeneidad para el análisis de varianza. Para cada parámetro fisicoquímico de este estudio se utilizó un ANDEVA, considerando tres tratamientos (zonas de muestreo) y 3 bloques (meses), la fórmula fue la siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable de respuesta

μ : parámetro común para todos los tratamientos (media general).

i : representa las zonas de muestreo (A,B y C)

j : representa los meses (enero, abril y agosto)

ij : error experimental.

Además se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar las diferencias específicas entre zonas y meses de muestreo. El análisis estadístico se ejecutó en el software SPSS versión 20, con el nivel $\alpha = 0.05$.

3.2.2. Niveles de contaminación orgánica con Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

De cada punto de muestreo del río Torococha se recolectaron muestras de agua utilizando envases de vidrio con capacidad de 500 ml, previamente lavados, esterilizados y respectivamente rotulados, luego para proceder a recoger la muestra se homogenizaban lavándolos previamente de 2 a 3 veces con el agua a muestrear. En todos los puntos hubo dificultad para la recolección directa en el envase, por lo que se adecuó un recipiente para recolectar la muestra y luego depositarla en el envase llenándolo por completo, evitando la presencia de burbujas. Las muestras fueron colocadas en un cooler con hielo gel para su preservación, para luego ser enviadas al laboratorio (Laboratorio Louis Pasteur S.R.LTDA - Cusco) lo más pronto posible, para su determinación, aplicando el Método Winkler para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Método estándar para el examen de agua y aguas residuales – APHA AWWA WEF 21th Ed, 2005 Part 5210 B.

Análisis estadísticos.

Los datos de DBO₅ fueron transformados a logaritmo 10 para un mejor ajuste de la prueba paramétrica. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk y Levene para comprobar los supuestos de Normalidad y Homogeneidad para el análisis de varianza. Para este parámetro se utilizó un ANDEVA, considerando tres tratamientos (zonas de muestreo) y 3 bloques (meses), la fórmula fue la siguiente:

$$Y_{i} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{i}$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable de respuesta (mg/l de DBO_5)

μ : parámetro común para todos los tratamientos llamado la media general

i : representa las zonas de muestreo (A,B y C)

j : representa los meses (enero, abril y agosto)

ij : error experimental.

Además se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar las diferencias específicas entre zonas y meses de muestreo. El análisis estadístico se ejecutó en el software SPSS versión 20, con el nivel $\alpha=0.05$.

3.2.3. Niveles de contaminación orgánica con Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Las muestras se recolectaron de cada punto de muestreo del río Torococha, en envases de vidrio con capacidad de 1000 ml, previamente lavados, esterilizados y respectivamente rotulados, puesto que el análisis no se pudo realizar de inmediato, el laboratorio envió los frascos con 2 ml de ácido sulfúrico concentrado, para disminuir el pH de la muestra por debajo de 2 unidades para evitar el crecimiento bacteriano. En todos los puntos hubo dificultad para la recolección directa en el envase al igual que en el anterior punto, por lo que se adecuó un recipiente para recolectar la muestra y luego depositarla en el envase. Las muestras fueron colocadas en un cooler con hielo gel para su preservación, para luego ser enviadas al laboratorio (Laboratorio Louis Pasteur S.R.LTDA - Cusco) lo más pronto posible, para su determinación, aplicando el Método de reflujó con dicromato de potasio para la Demanda Química de Oxígeno (DQO): Método estándar para el examen de agua y aguas residuales – APHA AWWA WEF 21th Ed, 2005 Part 5210 B pag 5-2.

Análisis estadísticos.

Los datos de DQO fueron transformados a logaritmo 10 para un mejor ajuste de la prueba paramétrica. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk y Levene para comprobar los supuestos de Normalidad y Homogeneidad para el análisis de varianza. Para este parámetro de este estudio se utilizó un ANDEVA, considerando tres tratamientos (zonas de muestreo) y 3 bloques (meses), la fórmula fue la siguiente:

$$Y_{i,j} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{i,j}$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable de respuesta (mg/l de DQO)

μ : parámetro común para todos los tratamientos (media general)

i : representa las zonas de muestreo (A,B y C)

j : representa los meses (enero, abril y agosto)

ε_{ij} : error experimental.

Además se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar las diferencias específicas entre zonas y meses de muestreo. El análisis estadístico se ejecutó en el software SPSS versión 20, con el nivel $\alpha = 0.05$.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Caracterización de los principales parámetros fisicoquímicos.

4.1.1. Niveles de Transparencia.

Los valores obtenidos para la transparencia (%) en el mes de Enero para la Zona A fueron 30, 28.67, 26.67 y 27.33 %; para la Zona B fueron de 8, 9.33, 6.67 y 8.00 % y para la Zona C 11.33, 10, 9.33 y 10 %. Para el mes de Abril en la Zona A los valores de transparencia fueron 24.67, 22.67, 24.67 y 21.33 %; en la Zona B fueron 4.67, 6.67, 8 y 6 % y en la Zona C 8, 9.33, 10 y 6.67 %. Para el mes de Agosto en la Zona A los valores obtenidos de transparencia fueron 18.67, 22.67, 20 y 21.33 %; en la zona B fue de 5.33, 6, 5.33 y 4.67 % y finalmente para la Zona C la transparencia fue de 7.33, 6.67, 8 y 6.67 %.

Cuadro 06. Valores de Transparencia (%) en el río Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	Promedio	EE
Enero	30.00	8.00	11.33	15.44	±2.79
	28.67	9.33	10.00		
	26.67	6.67	9.33		
	27.33	8.00	10.00		
Abril	24.67	4.67	8.00	12.83	±2.29
	22.67	6.67	9.33		
	24.67	8.00	10.00		
	21.33	6.00	8.00		
Agosto	18.67	5.33	7.33	11.06	±2.08
	22.67	6.00	6.67		
	20.00	5.33	8.00		
	21.33	4.67	6.67		
Promedio	24.06	6.56	8.72		
EE	±1.03	±0.43	±0.43		

Fuente: Elaboración propia.

Los valores registrados para la transparencia estuvieron en un rango de 4.67 a 30% y tienen un promedio de $15.44 \pm 2.79\%$ para el mes de Enero, seguido por el mes de Abril con $12.83 \pm 2.29\%$ y finalmente el mes de Agosto con $11.06 \pm 2.08\%$ de transparencia, esto debido a que en el mes de Enero se dan las precipitaciones pluviales a comparación de Abril

que disminuyen y en el mes Agosto no hay incidencia de lluvias. Los promedios para la Zona A es de $24.06 \pm 1.03\%$, mientras que para la Zona C es de $8.72 \pm 0.43\%$ y para la Zona B es de $6.56 \pm 0.43\%$, como se aprecia la Zona A presentó el mayor promedio de transparencia debido a que no se encontró rastros de vertimiento de aguas residuales al cauce del río (cuadro 06).

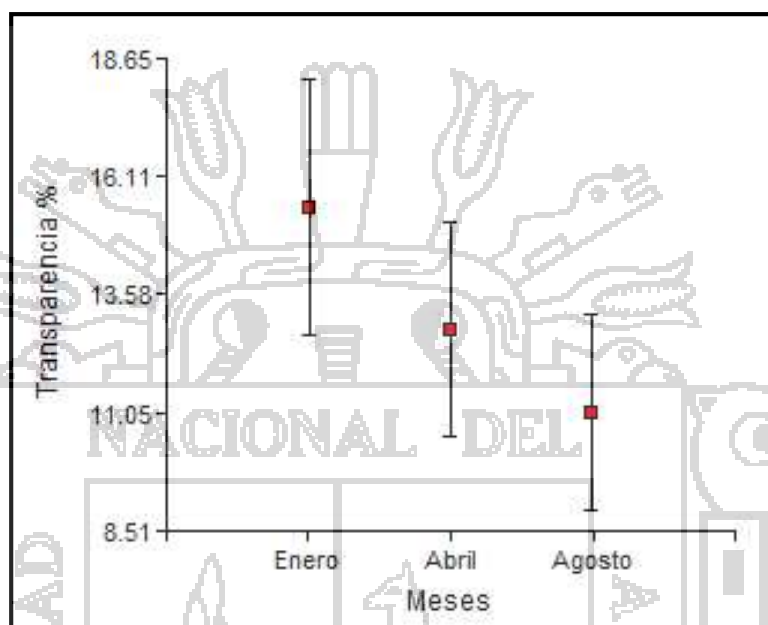


Figura 02. Comparación de los niveles de transparencia (%) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

En el mes de Enero se reportó el mayor de promedio de transparencia con 15.44%, seguido de Abril con 12.83% y finalmente Agosto con 11.06%, la cual disminuye mientras transcurren los meses; estos valores guardan relación directa con el ciclo de lluvias en el Altiplano (Figura 02).

Acuña & Torres (2012), indica que la mayoría de las aguas naturales tienen una transparencia que oscila entre uno y varios metros, la transparencia depende de la cantidad de partículas en suspensión y la cantidad de algas y de otras formas de crecimiento en el sitio de estudio; la transparencia puede cambiar estacionalmente conforme a las variaciones de los sólidos en estación seca y a las precipitaciones en la estación lluviosa que arrastran ciertas partículas en suspensión provocando que se disminuya la transparencia del agua.

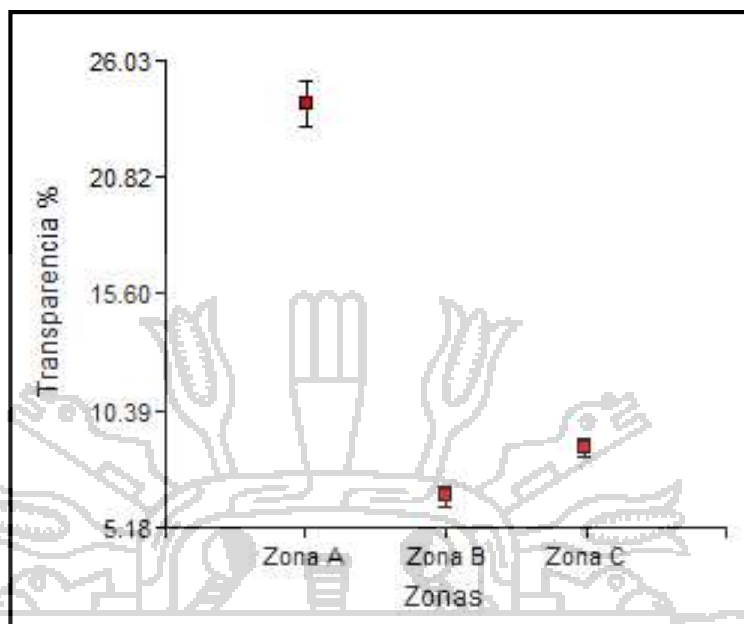


Figura 03. Comparación de niveles de transparencia (%) en tres diferentes Zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

El mayor nivel de transparencia se presentó en la Zona A (24.06%), debido a que se mostró un menor caudal y no hubo ingreso de aguas residuales en esta zona, seguida por la Zona C (8.72%) donde se observó la presencia de macrófitas (totorales), esto hace que exista una sedimentación de las partículas y aumente ligeramente la transparencia de esta zona y posteriormente la Zona B (6.56%), que presentó el menor nivel de porcentaje de transparencia debido a la remoción de fondo causada por la corriente del caudal y el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico (Figura 03).

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos ($\alpha: 0.05$, gl: 36, $p= 0.0734$) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, $p: 0.1173$). El análisis de varianza para los promedios de transparencia (Cuadro 28), encontró diferencia estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{\text{calc}} = 462.94 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), del mismo modo se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ($F_{\text{calc}} = 30.69 >$

$F_{\text{tab}} = 3.305$; $gl: 2$; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas y los meses se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 07. Prueba de Tukey para niveles de transparencia (%) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedio	Grupos de Tukey		
A	24.06	1		
C	8.72		2	
B	6.56			3

La prueba de Tukey indica que la Zona A presentó el mayor promedio de transparencia (24.06%), en segundo lugar se encuentra la Zona C (8.72%) y finalmente la Zona B (6.56%) con el menor valor de transparencia al resto de zonas de muestreo (Cuadro 07). Según Navarro (2003), el nivel de transparencia o turbidez es considerada una buena medida de la calidad de agua, cuanto más turbia menor será su calidad, el origen de esta turbiedad se debe a que existen diferentes parámetros que influyen en la turbidez, dentro de estos, en el estudio se diferencian la presencia de sedimentos procedentes de la erosión y de la descarga de efluentes (aguas servidas y escorrentías urbanas), Gaber (1999).

Cuadro 08. Prueba de Tukey para niveles de transparencia (%) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Meses	Promedio	Grupos de Tukey		
Enero	15.44	1		
Abril	12.83		2	
Agosto	11.06			3

Para los meses de muestreo Enero presentó la mayor transparencia (15.44%) estadísticamente superior al resto de meses, Abril presenta una transparencia intermedia (12.83%), finalmente Agosto presenta la menor transparencia (11.06%) estadísticamente menor al resto de meses (Cuadro 08).

Esto se debe al ciclo de lluvias que se da en el Altiplano, Acuña & Torres (2012), obtuvo una mayor transparencia de 72.67% (109 cm) durante el mes de marzo y menciona que la transparencia es el grado en el que la luz penetra dentro del agua y esta puede verse afectada

por las escorrentías propias de la época lluviosa, que arrastran tanto sedimentos naturales como humanos, para interpretar acertadamente los datos de transparencia es necesario observar el entorno, ya que, los cambios estacionales en la cobertura terrestre pueden afectar la transparencia.

Rivas *et al* (2012) indica que en los meses de avenidas (lluvia) existe una autodepuración, por el aumento notable del caudal del afluente, lo que indica que existirá una mayor transparencia durante los meses de lluvias. Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella, estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis, las plantas producen menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de oxígeno disuelto, estas mueren más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de oxígeno disuelto aún más; las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente, el agua caliente no es capaz de almacenar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de oxígeno disuelto bajarán, especialmente cerca de la superficie (Brenes & Rojas, 2005). Las partículas en suspensión dispersan la luz de esa forma decreciendo la actividad fotosintética en plantas y algas que contribuye a bajar la concentración de oxígeno aún más (Guerra, 1991).

4.1.2. Niveles de Sólidos Suspendidos Totales.

Los niveles de Sólidos Suspendidos Totales (mg/l) encontrados en el mes de Enero para la Zona A fueron de 120, 117, 128 y 125 mg/l; en la Zona B fue de 245, 237, 252 y 249 mg/l y en la Zona C se encontraron valores de 201, 197, 206 y 203 mg/l. En el mes de Abril para la Zona A presentaron valores de 98, 95, 101 y 104 mg/, en la Zona B fueron de 192, 190, 187 y 198 mg/l y en la Zona C fue de 126, 123, 131 y 129 mg/l. Finalmente en el mes de Agosto en la Zona A los valores fueron de 50, 62, 58 y 53 mg/l; en la Zona B se hallaron valores de 115, 123, 112 y 127 mg/l y en la Zona C fue de 91, 104, 98 y 88 mg/l.

Cuadro 09. Valores de sólidos suspendidos totales (mg/l) encontrados en el río Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	Promedio	EE
Enero	120	245	201	190	±16.16
	117	237	197		
	128	252	206		
	125	249	203		
Abril	98	192	126	139.5	±14.50
	95	190	123		
	101	187	131		
	104	198	129		
Agosto	50	115	91	90.08	±11.77
	62	123	104		
	58	112	98		
	53	127	88		
Promedio	92.58	185.58	141.42		
EE	±8.44	±15.85	± 13.61		

Fuente: Elaboración propia.

Los valores encontrados para los sólidos suspendidos totales se encontraron en un rango de 50 a 252 mg/l, tienen un promedio de 190 ± 16.16 mg/l para el mes de Enero, seguido por el mes de Abril con 139.50 ± 14.50 mg/l y finalmente el mes de Agosto con 90.08 ± 11.77 mg/l. Los promedios para la Zona A es de 92.58 ± 8.44 mg/l, mientras que para la Zona B es de 185.58 ± 15.85 mg/l y para la Zona C es de 141.42 ± 13.61 mg/l, como se aprecia la Zona B presentó un nivel más alto de sólidos suspendidos totales puesto que existe una remoción del fondo causada por la corriente del caudal y el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico, seguida por la Zona C donde las aguas residuales van mezcladas con el cauce del río y por último la Zona A que presentó los valores más bajos, debido a que en este punto no se encontró vías de vertimiento de aguas residuales (Cuadro 09).

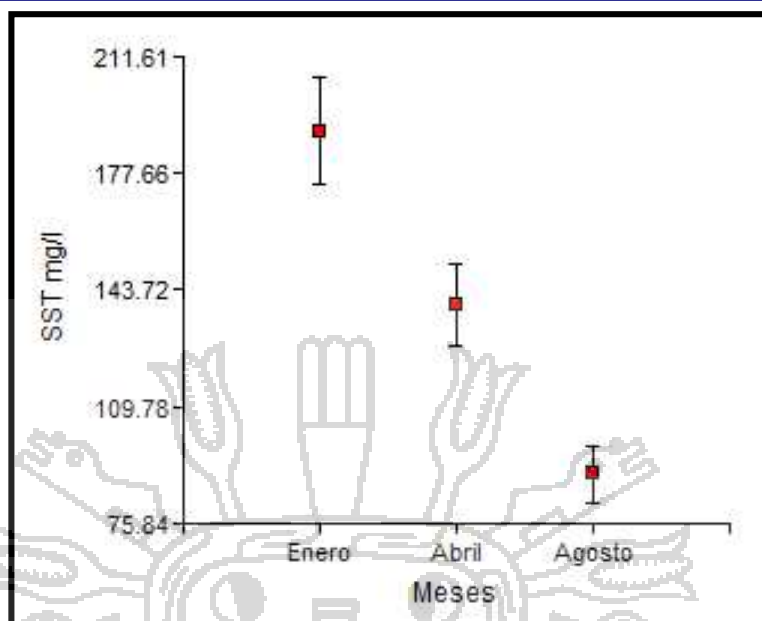


Figura 04. Comparación de niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

En la figura 04 se puede observar la diferencia entre los distintos meses, Enero presentó el mayor promedio de sólidos suspendidos totales (190 mg/l), seguido de Abril (139.50 mg/l) y finalmente Agosto (90.08 mg/l), el cual disminuye mientras transcurren los meses, esto debido al ciclo de lluvias del Altiplano, del mismo modo Rivas *et al* (2012) encontró un promedio de 170 mg/l en época de estiaje y de 193.33 mg/l en época de avenidas; los mismos que representan la cantidad de sólidos que esta agua residual ha conservado después de 10 minutos de asentamiento; además menciona que en los meses de avenidas existe un notable aumento del caudal del afluente, lo que indica que existirá una mayor remoción de sedimentos en época de lluvia debido a las precipitaciones, los sedimentos que se encuentran en el fondo del río son removidos hacia la superficie, por lo tanto se presenta un mayor nivel de sólidos suspendidos totales en época de lluvia y conforme disminuyen las lluvias los sedimentos que estaban en la superficie van de nuevo al fondo del río.

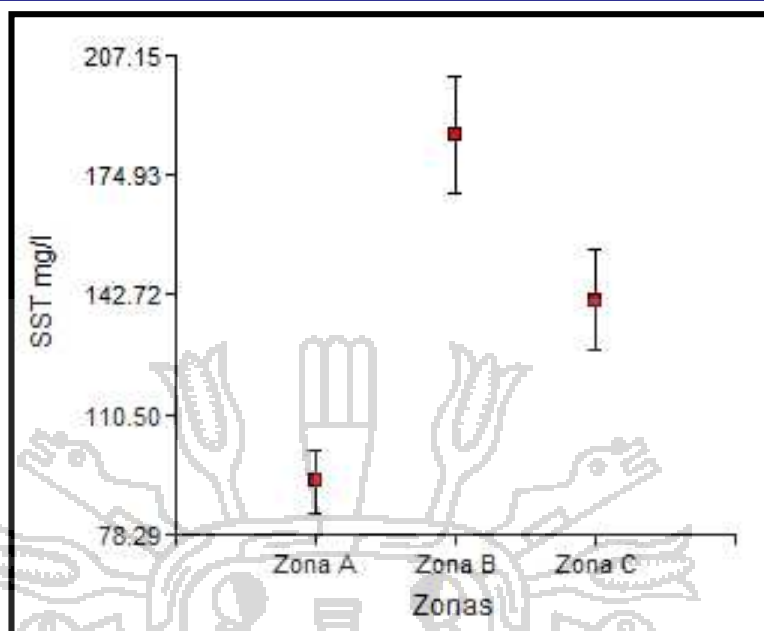


Figura 05. Comparación de niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.

En la figura 05, la zona con mayor nivel de sólidos suspendidos totales es la Zona B (185.58 mg/l), seguidos de la Zona C (141.42 mg/l) y los niveles más bajos se encontraron en la Zona A (92.58 mg/l), a lo que Rivas *et al* (2005) menciona que la actividad agrícola, el grado de deforestación, así como la alta pendiente conjugan para se produzca remoción de suelos y sedimentos, para lo cual se pudo observar algunos sembríos en la Zona A y C, existiendo macrófitas acuáticas en la Zona C que desaceleran el caudal del río.

Como se observa estos datos son inversamente proporcionales a los de transparencia, a mayor nivel de SST menor transparencia en las aguas. Estos niveles, además, guardan relación directa con el grado de turbiedad que presenta en río en sus diferentes puntos de muestreo a lo largo de su cauce. En la Zona B esta turbiedad es originada por las partículas en suspensión que son vertidas por las aguas residuales que desembocan en el río.

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos ($\alpha: 0.05$, gl: 36, $p= 0.0581$) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, $p: 0.7748$). El análisis de varianza para los niveles de Sólidos Suspendidos Totales (Cuadro 29), encontró diferencia

estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{\text{calc}} = 259.58 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), del mismo modo se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ($F_{\text{calc}} = 297.16 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas y los meses se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 10. Prueba de Tukey para niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedio	Grupos de Tukey		
B	185.58	1		
C	141.42		2	
A	92.58			3

La prueba de Tukey indica que la Zona B presenta el mayor promedio de Sólidos Suspendidos Totales (185.58 mg/l) estadísticamente superior al resto de zonas, en segundo lugar se encuentra la Zona C de muestreo (141.42 mg/l) y finalmente la Zona A (92.58 mg/l) con el menor valor de sólidos suspendidos totales al resto de zonas de muestreo (cuadro 10).

Cuadro 11. Prueba de Tukey para niveles de sólidos suspendidos totales (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Meses	Promedio	Grupos de Tukey		
Enero	190.00	1		
Abril	139.50		2	
Agosto	90.08			3

Para los meses de muestreo Enero presentó el mayor promedio de sólidos suspendidos totales (190.00 mg/l) estadísticamente superior al resto de meses, seguido de Abril (139.50 mg/l), finalmente Agosto presenta el menor promedio de sólidos suspendidos totales (90.08 mg/l) estadísticamente menor al resto de meses (Cuadro 11). El mayor promedio de sólidos suspendidos totales fue de 190 mg/l, el cual sobrepasa los LPM establecidos de 150 mg/l para una planta de tratamiento de aguas residuales.

Rivas *et al* (2005), encontraron para todos los ríos, el valor promedio global estimado de Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 250,03 mg/l, los cuales pueden ser considerados bajos para la mayoría de los ríos, siendo el Chama el que presentó el más alto valor promedio de 884.42 mg/l. Glynn (1999), afirma que los sólidos en suspensión son aquellos que se

encuentran en el agua sin estar disueltos en ellas, pueden ser sedimentables o no. Torres (2008), refiere que en la naturaleza, toda agua contiene algunas impurezas; a medida que el agua fluye en los arroyos, se estanca en los lagos, y se filtra a través de capas del suelo y roca en la tierra, disuelve o absorbe las sustancias con las cuales hace contacto.

Paredes (2013), indica que la suspensión de materia y la turbiedad en las aguas naturales suele evolucionar en el mismo sentido al aporte de aguas de escorrentías al medio hídrico, a su vez también provocada por la existencia de precipitaciones, especialmente si estas son de carácter torrencial, y si el medio acuático es lo suficientemente profundo, los fenómenos de sedimentación natural provocan el descenso del valor de la turbiedad. Jenkins (2011), indica que los sólidos suspendidos son partículas sólidas pequeñas, inmersas en un fluido en flujo turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias, que contrarrestan la fuerza de la gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo; los factores que influyen para que una partícula no decante en el fondo son el tamaño, la densidad, forma de la partícula y la velocidad del agua.

4.1.3. Niveles de Temperatura.

Los niveles de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) encontrados en el mes de Enero para la Zona A fueron de 12.8, 12.5, 13 y 11.7°C ; en la Zona B presentaron valores de 11.4, 10.4, 11.7 y 10.3°C y en la Zona C fueron de 14.2, 12.7, 13.8 y 12.4°C . En el mes de Abril para la Zona A se encontraron valores de 13.2, 13, 12.7 y 13.4°C ; en la Zona B fueron de 12.8, 11.4, 12.3 y 11.8°C y en la Zona C las temperaturas fueron de 14, 13.7, 13.9 y 13.6°C . Finalmente en el mes de Agosto para la Zona A los valores encontrados fueron de 12.1, 12.7, 13.2 y 12.9°C ; en la Zona B fueron de 11.9, 12.3, 12 y 11.6°C y para la Zona C presentaron valores de 13, 12.5, 13.3 y 12.9°C .

Cuadro 12. Niveles de Temperatura (°C) encontrados en el río Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	Promedio	EE
Enero	12.8	11.4	14.2	12.24	±0.35
	12.5	10.4	12.7		
	13	11.7	13.8		
	11.7	10.3	12.4		
Abril	13.2	12.8	14	12.98	±0.30
	13	11.4	13.7		
	12.7	12.3	13.9		
	13.4	11.8	13.6		
Agosto	12.1	11.9	13	12.53	± 0.19
	12.7	12.3	12.5		
	13.2	12	13.3		
	12.9	11.6	12.9		
Promedio	12.77	11.66	13.33		
EE	± 0.14	± 0.21	± 0.18		

Fuente: Elaboración propia

Los valores encontrados para la temperatura se encuentran en un rango de 10.3 a 14.2°C y tienen un promedio de 12.98 ± 0.30°C para Abril, seguido por Agosto con 12.53 ± 0.19°C y finalmente Enero con 12.24 ± 0.35°C, Muñoz *et al* (2012) en su estudio encontró una temperatura de 11.5°C como mínima y una máxima de 23.2°C a una altura de 2680 msnm, Angles (2007) obtuvo valores mínimos de temperatura para el 1er y 4to mes de 12.52°C y Mayta (2013) reportó una temperatura que osciló entre 10.99 y 13.85°C.

Los promedios de temperatura de acuerdo a las Zonas son de 13.33 ± 0.18°C para la Zona C, seguida de la Zona A con 12.77 ± 0.14°C y finalmente se encuentra la Zona B con 11.66 ± 0.21°C, esta zona presenta una menor temperatura puesto que antes de que sus aguas aparezcan a la altura del Puente San Isidro tienen una canalización techada que se inicia cuando el río comienza a aparecer en la ciudad de Juliaca hasta dicho puente, por ende no está expuesta a los rayos del sol que hacen que los cuerpos de agua se calienten; el agua tiene una capacidad calórica muy alta, por lo que se necesita aplicar mucho calor para elevar poco su temperatura (Sawyer, 1994) a comparación de la Zona A y C que se encuentran expuestas a la radiación solar, presentando la Zona C una mayor cantidad de agua por esta misma razón demora más tiempo en perder su energía calorífica, lo que se ve reflejado en su temperatura.

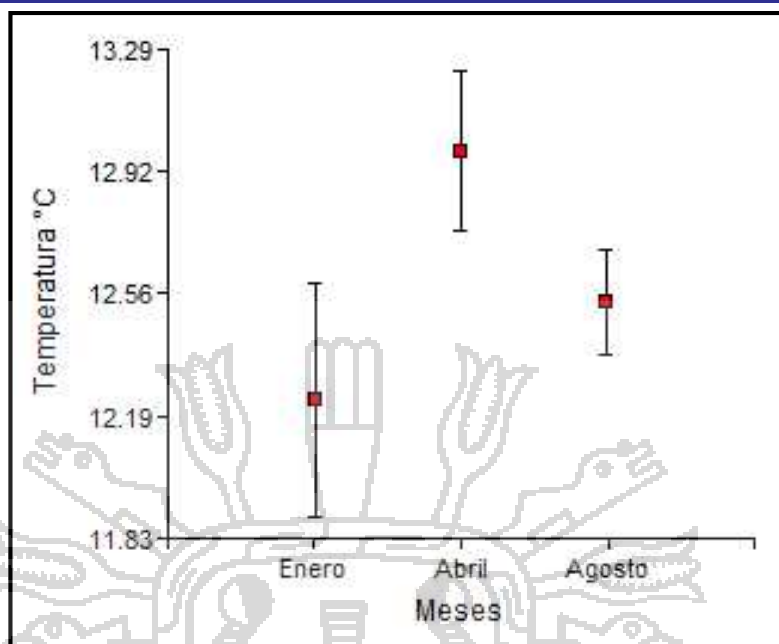


Figura 06. Comparación de niveles de temperatura (°C) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Como se observa en la figura 06 el mes que presenta el mayor nivel de temperatura es Abril (12.98°C), seguido de Agosto (12.53°C) y los niveles más bajos se encuentran durante el mes de Enero (12.24°C).

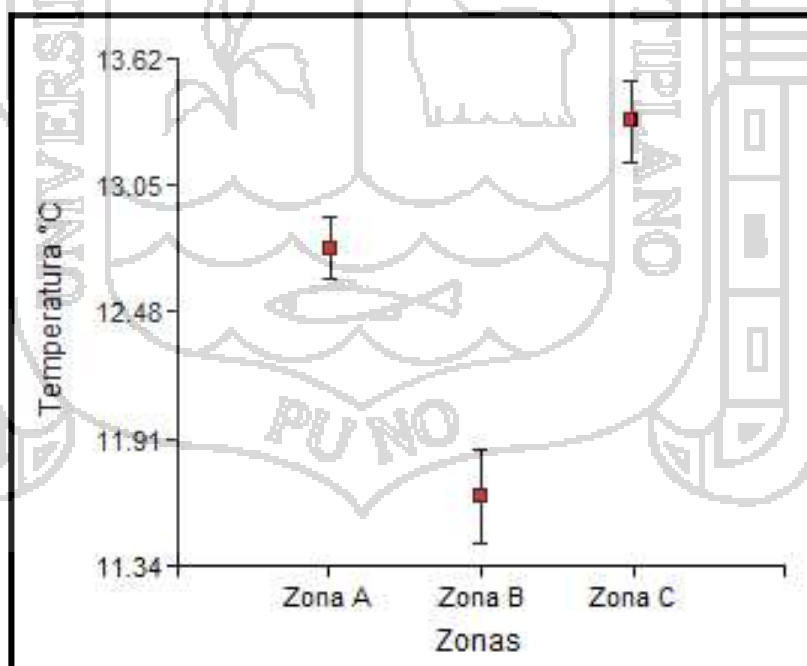


Figura 07. Comparación de niveles de temperatura (°C) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.

Como se observa en la figura 07 la zona con mayor nivel de temperatura es la Zona C (13.33°C), seguidos de la Zona A (12.77°C) y los niveles más bajos se encuentran en la Zona B (11.66°C).

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos (α : 0.05, gl: 36, p = 0.440) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, p : 0.3590). El análisis de varianza para los niveles de Temperatura (Cuadro 30), encontró diferencia estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{\text{calc}} = 28.99 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), del mismo modo se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ($F_{\text{calc}} = 5.58 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas y los meses se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para niveles de temperatura (°C) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedio	Grupos de Tukey		
C	13.33	1		
A	12.77		2	
B	11.66			3

La prueba de Tukey indica que la Zona C (13.33°C) presenta el mayor promedio de Temperatura estadísticamente superior al resto de zonas, en segundo lugar se encuentra la Zona A de muestreo (12.77°C) y finalmente la Zona B (11.66°C) con el menor valor de Temperatura al resto de zonas de muestreo (Cuadro 13).

Martínez (2006), indica que la temperatura en cuerpos de agua, es el reflejo del contenido de calor que depende del balance instantáneo entre la entrada, almacenamiento y salida de este, además es importante considerar que la temperatura del agua varía en relación con la temperatura del aire y esto se refleja en los valores obtenidos.

Rivas *et al* (2005) menciona que las temperaturas más bajas que obtuvo fueron motivadas a la mayor altura sobre el nivel del mar y la distancia recorrida por el río y Mayta (2013) menciona que los valores de la temperatura del agua de diversos ecosistemas acuáticos varían según su localización y altitud sobre el nivel del mar, a lo que podemos decir que el nivel de temperaturas encontradas en esta investigación están relacionadas a la altura y puesto que el

Altiplano es una planicie con algunas llanuras bajas hay incidencia de vientos continuos, donde influye también la localización de cada zona.

Cuadro 14. Prueba de Tukey para niveles de temperatura (°C) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Meses	Promedio	Grupos de Tukey	
Abril	12.99	1	
Agosto	12.53	1	2
Enero	12.24		2

Para los meses de muestreo se observó que Abril (12.99°C) y Agosto (12.53°C) presentaron valores estadísticamente similares entre sí, de igual manera Agosto (12.53°C) y Enero (12.24°C), pero los meses de Abril (12.99°C) y Enero (12.24°C) presentaron valores estadísticamente diferentes entre sí (Cuadro 14).

El oxígeno es el responsable de que se produzcan dos fenómenos imprescindibles para mantener un ecosistema activo, la respiración de los seres vivos y la descomposición de la materia orgánica cuando muere, además, los animales y plantas acuáticas de cada tramo de un río están adaptadas a vivir en unas condiciones determinadas, cambios bruscos o prolongados en la temperatura del agua pueden afectarles, llegando incluso a morir, además, el oxígeno, fundamental para la vida en el río, se disuelve mejor en aguas frías que calientes. Angles (2007) indica que las temperaturas bajas se deben a que empieza la temporada de frío. Paredes (2013), menciona que la temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35°C, los procesos de digestión aerobia y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores del orden de los 50°C; la principal fuente de temperatura de un cuerpo de agua, es la radiación solar, además de corrientes de aire y sedimentos, este parámetro puede variar según las estaciones del año, además la concentración de sedimentos son una fuente importante de aporte de calor absorbido de la radiación solar.

4.1.4. Niveles de pH.

Los niveles de pH encontrados en el mes de Enero para la Zona A fueron de 6.8, 6.2, 6.9 y 6.7; en la Zona B presentaron valores de 7.7, 7.3, 7.5 y 7 y en la Zona C fueron de 7.2, 7, 7.4 y 7.5. En el mes de Abril para la Zona A se encontraron valores de 7, 6.7, 6.9 y 6.4; en la

Zona B fueron de 7.1, 6.9, 7.3 y 7.5 y en la Zona C los niveles de pH fueron de 7.8, 7.7, 7.9 y 7.5. Finalmente en el mes de Agosto para la Zona A los valores encontrados fueron de 6.9, 6.7, 7 y 7.1; en la Zona B fueron de 7.6, 7.3, 7.4 y 6.7 y para la Zona C presentaron valores de 7, 7.4, 7.6 y 7.5.

Cuadro15. Niveles de pH encontrados en el rio Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	Promedio	EE
Enero	6.8	7.7	7.2	7.1	± 0.12
	6.2	7.3	7		
	6.9	7.5	7.4		
	6.7	7	7.5		
Abril	7	7.1	7.8	7.23	± 0.13
	6.7	6.9	7.7		
	6.9	7.3	7.9		
Agosto	6.4	7.5	7.5	7.18	± 0.09
	6.9	7.6	7		
	6.7	7.3	7.4		
	7	7.4	7.6		
Promedio	6.78	7.28	7.46		
EE	± 0.07	± 0.09	± 0.08		

Fuente: Elaboración propia

Los valores encontrados para el pH se encontraron en un rango de 6.2 a 7.9 y el mayor promedio de pH lo presentó la Zona C que es de 7.46 ± 0.08 , luego la Zona B con 7.28 ± 0.09 , seguida de la Zona A con 6.78 ± 0.07 , el pH que va aumentando conforme avanzamos las zonas de muestreo de inicio a final. Los promedios de pH de acuerdo a las meses presentaron un promedio de 7.23 ± 0.13 para el mes de Abril, seguido por el mes de Agosto con 7.18 ± 0.09 y finalmente el mes de Enero con 7.10 ± 0.12 (Cuadro 15).

Torres (2008), indica que todas las muestras de pH en su estudio cumplían con el límite máximo permisible de 6.5-8.5, aunque algunas superaban el límite máximo aceptable, el cual es de 7.0-7.5, pero el límite máximo permisible es el mismo propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

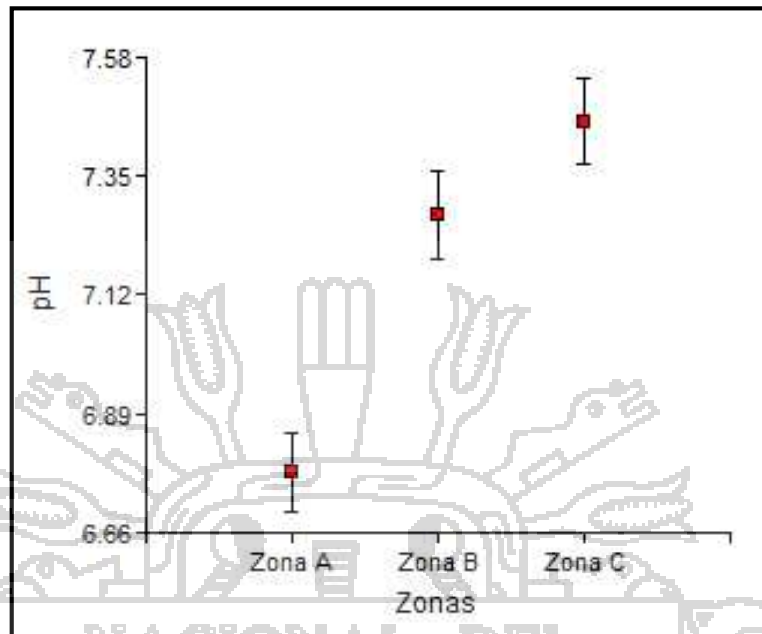


Figura 08. Comparación de niveles de pH en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.

El mayor promedio de pH se presentó en la Zona C (pH 7.5), seguida por la Zona B (pH 7.3) y finalmente la Zona A (pH 6.8), (Figura 08).

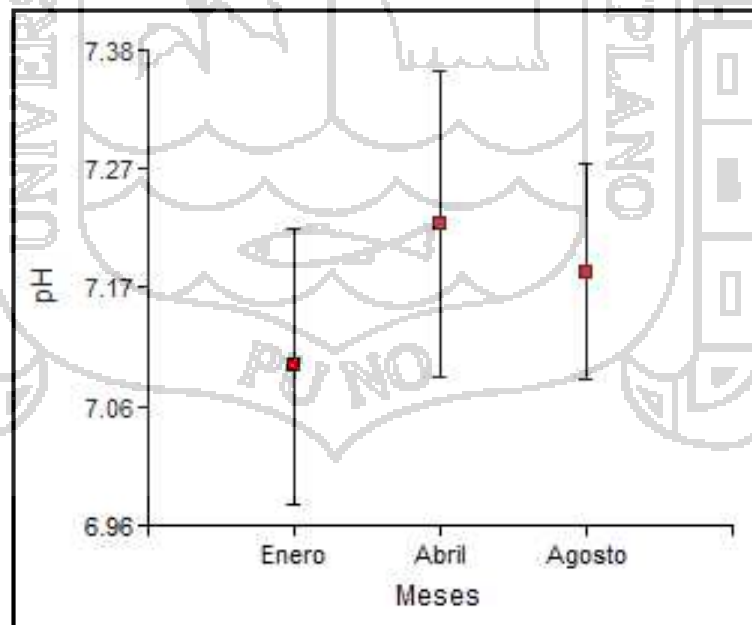


Figura 09. Comparación de niveles de pH en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Los promedios de pH por meses presentaron una similitud entre sí, para el mes de Enero se obtuvo un pH de promedio de 7.1, para Abril y Agosto se encontró un pH promedio 7.2 (Figura 09).

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos (α : 0.05, gl: 36, $p= 0.385$) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, p : 0.8697). El análisis de varianza para los niveles de pH (Cuadro 31), encontró diferencia estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{\text{calc}} = 18.49 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), a comparación de los meses de muestreo que no presento diferencia significativa ($F_{\text{calc}} = 0.60 < F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 16. Prueba de Tukey para niveles de pH en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedio	Grupos de Tukey	
C	7.46	1	
B	7.28	1	
A	6.78		2

La prueba de Tukey indica que la Zona C (7.46) y la Zona B (7.28) presentaron valores estadísticamente similares y presentaron un mayor promedio de pH estadísticamente superior a la Zona A (6.78), seguidos de la Zona A de muestreo (6.78) con el menor valor de pH en comparación a los dos primeras zonas de muestreo, por lo tanto estos dos grupos son estadísticamente diferentes entre sí. Los promedios de pH se encuentran dentro de los valores para los ECA (6.5-8.5).

Jenkins (2011) indica que la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales, el intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico, también, el agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas, en el río Torococha según los resultados obtenidos, la vida natural ya no está presente, ya que en los muestreos no se evidencio

macroinvertebrados o algas propias en los ríos del altiplano. Paredes (2013), menciona que la variación de pH, se debe a la concentración de iones H^+ e OH^- , que otorga acidez o alcalinidad al agua, la fermentación microbiana, nitrificación del amonio y la oxidación de sulfuros provocan una reducción del pH por la generación de CO_2 .

Según Martínez (2006), refiere que las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO_2 disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO_2 formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato. El pH de las aguas superficiales de los cuerpos de agua debe encontrarse en el intervalo de 6.0 a 8.5 en unidades de pH, en su estudio obtuvo un valor extremo de 5.92 de pH e indica que esta tendencia a una disminución se debe a la precipitación característica de la temporada lluviosa y a la cantidad de materia orgánica disuelta.

4.1.5. Niveles de Caudal.

Los niveles de caudal que se encontraron en el mes de Enero para la Zona A fueron de 0.24, 0.21, 0.18 y 0.25 m^3/s ; en la Zona B presentaron valores de 0.68, 0.63, 0.59 y 0.61 m^3/s y en la Zona C fueron de 3.72, 3.67, 3.65 y 3.76 m^3/s . En el mes de Abril para la Zona A se encontraron valores de 0.15, 0.19, 0.17 y 0.20 m^3/s ; en la Zona B fueron de 0.47, 0.50, 0.54 y 0.64 m^3/s y en la Zona C los niveles de caudal fueron de 2.79, 3.09, 3.41 y 3.66 m^3/s . Finalmente en el mes de Agosto para la Zona A los valores encontrados fueron de 0.13, 0.11, 0.15 y 0.09 m^3/s ; en la Zona B fueron de 0.45, 0.38, 0.41 y 0.33 m^3/s y para la Zona C presentaron valores de 2.82, 2.75, 2.53 y 2.46 m^3/s .

Cuadro 17. Niveles de Caudal (m^3/s) encontrados en el río Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	PROMEDIO	EE
Enero	0.24	0.68	3.72	1.52	± 0.47
	0.21	0.63	3.67		
	0.18	0.59	3.65		
	0.25	0.61	3.76		
Abril	0.15	0.47	2.79	1.32	± 0.42
	0.19	0.5	3.09		
	0.17	0.54	3.41		
	0.2	0.64	3.66		
Agosto	0.13	0.45	2.82	1.05	± 0.34
	0.11	0.38	2.75		
	0.15	0.41	2.53		
	0.09	0.33	2.46		
PROMEDIO	0.17	0.52	3.19		
EE	± 0.01	± 0.03	± 0.15		

Fuente: Elaboración propia

Los valores encontrados para el caudal se encuentran en un rango de 0.09 a 3.76 m^3/s y el mayor promedio de caudal es de $1.52 \pm 0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ para Enero, seguido por Abril con $1.32 \pm 0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ y finalmente Agosto con $1.05 \pm 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$. Los promedios de caudal de acuerdo a las zonas fue mayor en la Zona C con un caudal de $3.19 \pm 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, seguida por la Zona B con $0.52 \pm 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ y finalmente se encuentra la Zona A con el menor promedio de caudal $0.17 \pm 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$, (Cuadro 17).

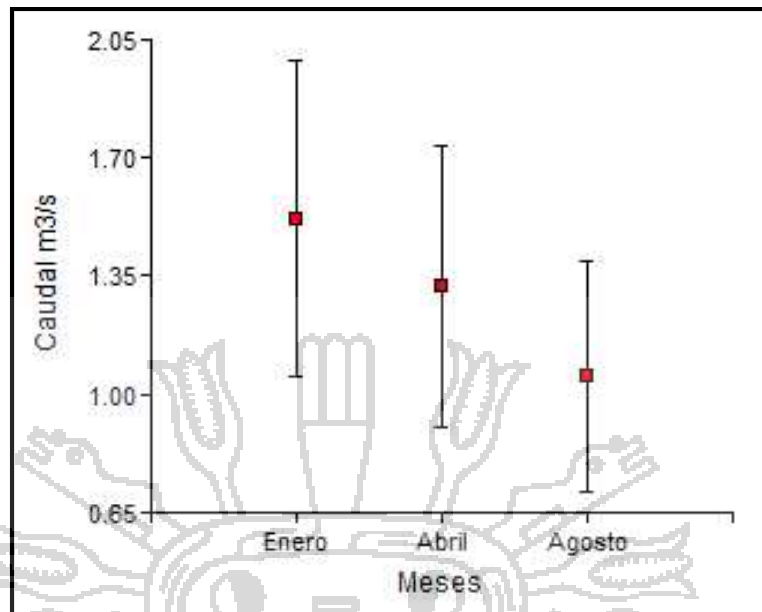


Figura 10. Comparación de niveles de caudal (m^3/s) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Como se observa en la figura 10 el mes con mayor nivel de caudal es Enero con $1.52 m^3/s$, seguido por el mes de Abril con $1.32 m^3/s$ y el mes que presentó el menor nivel de caudal fue Agosto con $1.05 m^3/s$, el caudal disminuye a medida que transcurren los meses, esto debido al ciclo de lluvias que se presentan en el Altiplano, los cuales comienzan en el mes de diciembre y se prolongan más o menos hasta marzo, incrementando la cantidad de agua en los ríos.

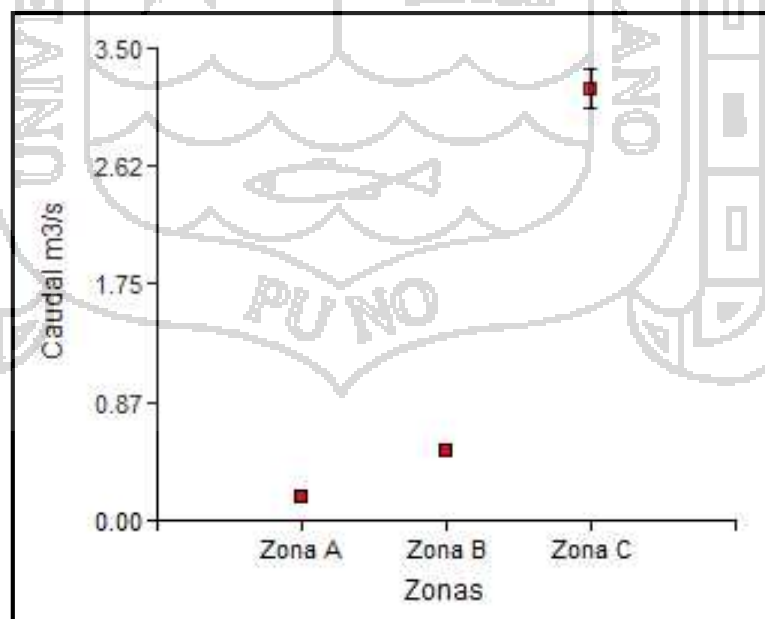


Figura 11. Comparación de niveles de caudal (m^3/s) en diferentes zonas en el Río Torococha, 2012.

La zona con mayor nivel de caudal es la Zona C con 3.19 m³/s, seguido por la Zona B con 0.52 m³/s y la zona que presentó el menor nivel de caudal fue la Zona A con 0.17 m³/s (Figura 11), el caudal va en aumento desde la Zona A, Zona B e incrementándose aún más en la Zona C, puesto que el ancho de río aumenta y es más amplio en la Zona C.

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos ($\alpha: 0.05$, gl: 36, $p= 0.060$) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, $p: 0.1038$). El análisis de varianza para los niveles de Caudal (Cuadro 32), encontró diferencia estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{calc} = 1601.32 > F_{tab} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), del mismo modo se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ($F_{calc} = 42.15 > F_{tab} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas y los meses se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 18. Prueba de Tukey para niveles de caudal (m³/s) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedio	Grupos de Tukey		
C	3.19	1		
B	0.52		2	
A	0.17			3

La prueba de Tukey indica que la Zona C presenta el mayor promedio de Caudal (3.19m³/s) estadísticamente superior al resto de zonas, en segundo lugar se encuentra la Zona B (0.52m³/s) de muestreo y finalmente la Zona A (0.17 m³/s) con el menor valor de Caudal al resto de zonas de muestreo (Cuadro 18).

Cuadro 19. Prueba de Tukey para niveles de caudal (m³/s) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Meses	Promedio	Grupos de Tukey	
Enero	1.52	1	
Abril	1.32	1	
Agosto	1.05		2

Para los meses de muestreo se observó que Enero (1.52m³/s) y Abril (1.32m³/s) presentaron los mayores promedios de caudal y que estos valores estadísticamente son similares entre sí,

seguido de Agosto ($1.05 \text{ m}^3/\text{s}$) que presentó el menor promedio de caudal y que estadísticamente es diferente al mes de Enero y Abril (Cuadro 19).

Welch (1992), durante y después de las tormentas, los flujos de aguas pluviales y desbordamientos de alcantarillado combinado, pueden contribuir como constituyentes en aguas residuales y en concentraciones relativamente altas. Rivas *et al* (2012) menciona que en los meses de avenidas (lluvia) existe un notable aumento del caudal del afluente.

La hipótesis se cumple debido a que todos los parámetros fisicoquímicos se encuentran relacionados entre sí, indicando que existe mayor contaminación en época seca y en las Zonas B y C, debido a la descarga de aguas residuales. Según Sandoval (2009), los parámetros de campo muestran el estado tangible del río, las variaciones en el caudal y su velocidad, los cambios de color y olor muestran la magnitud de las descargas que lo impactan, causantes de su deterioro. Orozco *et al* (2005), indica que los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico.

4.2. Niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Los niveles de DBO₅ encontrados en el mes de Enero para la Zona A fueron de 5.95, 6.23, 6.02 y 8.55 mg/l; en la Zona B presentaron valores de 14.84, 13.23, 12.65 y 13.64 mg/l y en la Zona C fueron de 108, 50.47, 40.55 y 20.53 mg/l. En el mes de Abril para la Zona A se encontraron valores de 25.11, 30.21, 27.54 y 26.78 mg/l; en la Zona B fueron de 102.25, 100.71, 86.17 y 90 mg/l y en la Zona C los niveles fueron de 135, 125.45, 112.14 y 117.28 mg/l. Finalmente en el mes de Agosto para la Zona A los valores encontrados fueron de 8.42, 12.55, 10.97 y 13.52 mg/l; en la Zona B fueron de 87.21, 92.44, 86.17 y 90.62 mg/l y para la Zona C presentaron valores de 75, 62.14, 50.12 y 47 mg/l.

Cuadro 20. Valores de DBO₅ encontrados en el río Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	PROMEDIO	EE
Enero	5.95	14.84	108	25.06	± 8.56
	6.23	13.23	50.47		
	6.02	12.65	40.55		
	8.55	13.64	20.53		
Abril	25.11	102.25	135	81.55	± 2.19
	30.21	100.71	125.45		
	27.54	86.17	112.14		
	26.78	90	117.28		
Agosto	8.42	87.21	75	53.01	± 9.85
	12.55	92.44	62.14		
	10.97	86.17	50.12		
	13.52	90.62	47		
PROMEDIO	15.15	65.83	78.64		
EE	± 2.72	± 11.23	± 11.20		

Fuente: Elaboración propia

Los valores encontrados para la DBO₅ se encontraron en un rango de 5.95 a 135 mg/l y los promedios de DBO₅ obtenidos para los diferentes meses de estudio, fueron mayores durante el mes de Enero (81.55 ± 2.19 mg/l), seguido por el mes de Agosto (53.01 ± 9.85 mg/l) y el mes con menor promedio de DBO₅ fue Enero (25.06 ± 8.56 mg/l). Los promedios de DBO₅ obtenidos para las diferentes zonas de muestreo presentaron un mayor promedio en la Zona C (78.64 ± 11.20 mg/l), seguido por la Zona B (65.83 ± 11.23 mg/l) y finalmente la zona que presentó el menor promedio de DBO₅ fue la Zona A (15.15 ± 2.72 mg/l) (Cuadro 20). Los valores encontrados en todos los puntos de muestreo a excepción de los obtenidos en la Zona A durante los meses de Enero y Agosto, superaron a los valores permitidos en los ECA (15 mg/l) para riego de vegetales y bebida de animales.

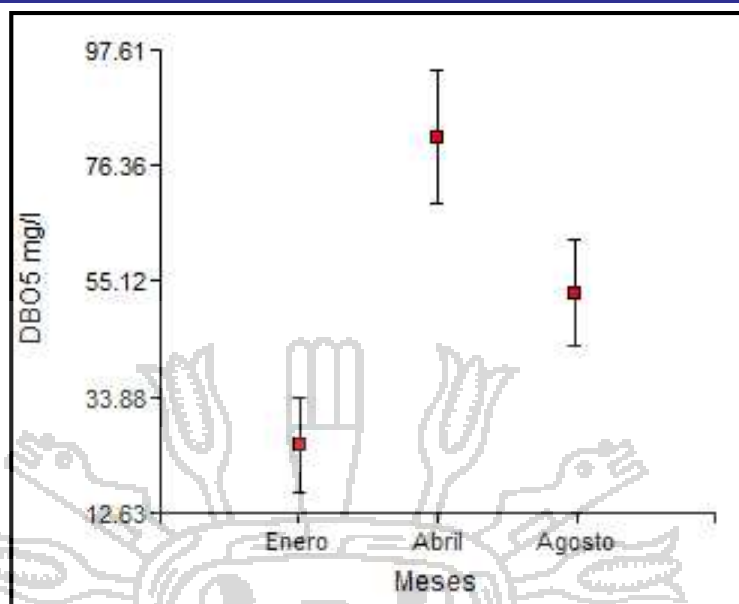


Figura 12. Comparación de niveles de DBO₅ (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Los valores encontrados para la DBO₅ tienen un mayor promedio durante el mes de Abril (81.55 mg/l), seguido por Agosto (53.01 mg/l) y finalmente el mes de Enero (25.06 mg/l) que presentó el menor promedio de DBO₅ (Figura 12), por lo podemos decir que en los meses de lluvia el nivel de DBO₅ disminuye, en las épocas secas este se incrementa.

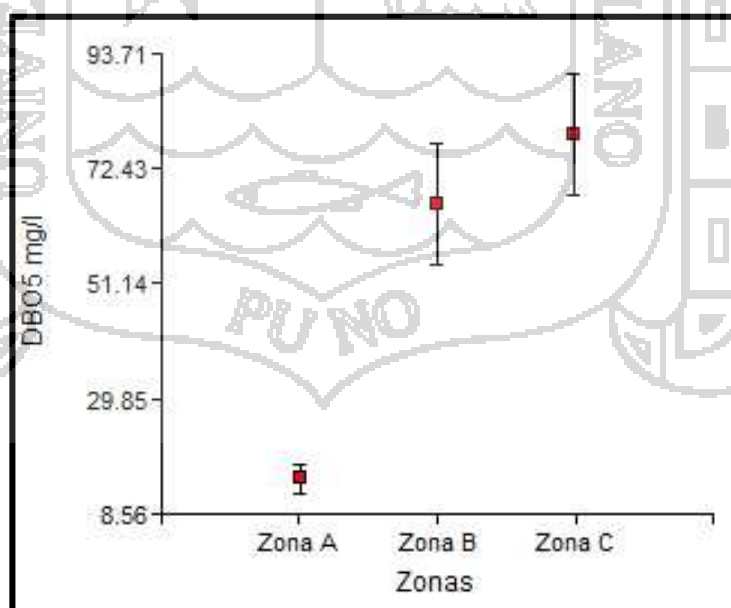


Figura 13. Comparación de niveles de DBO₅ (mg/l) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.

Los valores encontrados para la DBO_5 tienen un mayor promedio en la Zona C (78.64 mg/l), seguido por la Zona B (65.83 mg/l) y finalmente la Zona A (15.15 mg/l) de DBO_5 (Figura 13), de acuerdo a los resultados podemos afirmar que la DBO_5 se incrementa en las zonas donde existe el vertimiento de aguas residuales al cauce del río, lo que se observó en las Zona B y C.

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos (α : 0.05, gl: 36, p = 0.091) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, p : 0.658). El análisis de varianza para los niveles de DBO_5 (Cuadro 33), encontró diferencia estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{\text{calc}} = 58.56 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), del mismo modo se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ($F_{\text{calc}} = 38.83 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas y los meses se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para niveles de DBO_5 (mg/l) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedios	Grupos	
C	78.64	1	
B	65.83	1	
A	15.15		2

La prueba de Tukey indica que la Zona C (78.64 mg/l) y la Zona B (65.83 mg/l) presentaron el mayor promedio de DBO_5 y que estos valores son estadísticamente similares a comparación de la Zona A (15.15 mg/l) que presentó el menor promedio, las Zonas C y B estadísticamente son diferentes de la Zona A (Cuadro 21).

La Zona C de muestreo presentó el nivel más alto de DBO_5 , esta zona presenta meandros y zonas de estancamiento del curso de agua, además de la presencia de macrofitas (*Schoenoplectus*, *Elodea* y *Lemna*) lo que ayuda a la absorción de materia orgánica del río e influye directamente en los niveles de DBO_5 encontrados, según Guerra (2000), encontró que existe una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica en lagunas de estabilización del 31% cuando el caudal es menor a 13 l/s, al igual que Carbajal (1997), demostró que la totora absorbe iones contaminantes de Fe, Cu, Pb y Zn de manera eficaz en diferentes concentraciones; en lagunas de estabilización con 40% de cobertura de totora. Se observó que en la Zona B hay un alto vertimiento de aguas residuales y esta zona presentó un valor similar

a la Zona C, según García (1996), los procesos de depuración que tienen lugar en los sistemas naturales son llevados a cabo por componentes ambientales tales como bacterias, algas, vegetación y fauna, a una velocidad correspondiente a sus tasas de crecimiento, en nuestro estudio se observa que existe una escasa profundidad en el río, además de la falta de agitación constante del agua y la concentración elevada de nutrientes del agua residual que no promueven el crecimiento del fitoplancton. En la Zona A se hallaron los niveles de DBO₅ más bajos de todo el estudio, se observó que solo existe curso de agua en los meses de Enero a Abril correspondientes a la época lluviosa del Altiplano, además de que no se encontraron vertimientos de agua residual en esta zona, sin embargo en la Zona B y C existen curso de agua en todo el año, por lo que se deduce que el caudal del río en estas zonas se debe enteramente a aguas servidas vertidas al cauce de río.

Cuadro 22. Prueba de Tukey para niveles de DBO₅ (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Meses	Promedio	Grupos de Tukey		
Abril	81.55	1		
Agosto	53.01		2	
Enero	25.06			3

Para los meses de muestreo Abril presentó el mayor promedio de DBO₅ (81.55 mg/l) estadísticamente superior al resto de meses, Agosto presentó una DBO₅ intermedia (53.01 mg/l), finalmente Enero presenta el menor promedio de DBO₅ (25.06 mg/l) estadísticamente menor al resto de meses (Cuadro 22), los tres meses son estadísticamente diferentes entre sí, los valores bajos durante el mes de Enero se deberían a que este mes corresponde a la época lluviosa en el altiplano, influyendo directamente en la cantidad y caudal de agua en el curso del río; esto contribuyó a que la concentración presente de materia orgánica disminuyera en sus niveles; por otro lado el caudal del río fue otro factor importante que influye en los niveles de DBO₅ encontrados.

Rivas *et al* (2012), encontró valores de DBO₅ en un rango de 7 a 50 mg/l, con un promedio de 39.50 mg/l en época de estiaje y de 12.33 mg/l en época de avenidas, lo que cataloga a ésta agua como contaminada al sobrepasar en el valor de DBO₅ de 3 mg/l; de acuerdo a los resultados obtenidos se observa que a medida que aumenta el caudal van disminuyendo las concentraciones de DBO₅ y DQO, Araujo (1999), por la disminución de la materia orgánica

ante el incremento del volumen del caudal, se concluye que la calidad del agua residual mejora en los meses de altas precipitaciones.

La hipótesis se cumple debido a que la DBO₅ presenta los mayores niveles de contaminación en la Zona B y C, debido al vertimiento de aguas residuales, pero el mes que presenta el mayor promedio de DBO₅ es Abril, esto se debería a que en el muestreo realizado durante este mes se pudo acumular una mayor cantidad de materia orgánica debido al cese de lluvias que conlleva a una disminución en su cauce como lo afirma Rivas *et al.* (2005), en su estudio e indica que las diferencias entre los valores de DBO₅ con relación al resto de los ríos por encima de 2 mg/L pueden ser explicados por la baja velocidad en los mismos, lo cual puede aumentar la acumulación de materia orgánica, así como, por las escorrentías naturales y las descargas municipales estimándose un promedio global de 2,14 mg/L (0,28 – 7,25 mg/l), además encontró que la DBO₅ en los ríos tributarios del Lago Maracaibo no presentan diferencias significativas entre los valores promedio en cada río, las concentraciones de DBO₅ en los ríos Motatán, Chama, Catatumbo y Santa Ana se encontraron por debajo de 2 mg/l indicando una baja concentración de materia orgánica clasificándolos como ríos no contaminados.

Martínez (2006), menciona que en temporada seca los valores tienden a aumentar conforme avanza la misma, disminuyendo significativamente en temporada lluviosa, esta disminución puede entenderse por un acusado proceso de dilución, sin embargo no debe de obviarse el factor biológico que en su metabolismo se ve afectado por una disminución de la temperatura, de pH y de la cantidad de oxígeno disuelto.

4.3. Niveles de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los niveles de DQO encontrados en el mes de Enero para la Zona A fueron de 8.01, 10.23, 9.54 y 7.21 mg/l; en la Zona B presentaron valores de 48.00, 51.33, 46.15 y 47.47 mg/l y en la Zona C fueron de 16, 14.55, 17.54 y 15.55 mg/l. En el mes de Abril para la Zona A se encontraron valores de 24.10, 27.64, 27.54 y 22.78 mg/l; en la Zona B fueron de 16.54, 17.63, 19.02 y 11.14 mg/l y en la Zona C los niveles fueron de 180.22, 150.31, 167.17 y 188.28 mg/l. Finalmente en el mes de Agosto para la Zona A los valores encontrados fueron 49.67,

52.26, 58.40 y 51.66 mg/l; en la Zona B fueron de 192.22, 178.72, 184.69 y 198.25 mg/l y para la Zona C presentaron valores de 112.44, 124.09, 101.87 y 109.59 mg/l.

Cuadro 23. Valores de DQO encontrados en el río Torococha, 2012.

MESES	Zona A	Zona B	Zona C	PROMEDIO	EE
Enero	8.01	48	16	24.3	± 5.20
	10.23	51.33	14.55		
	9.54	46.15	17.54		
	7.21	47.47	15.55		
Abril	24.1	16.54	180.22	71.03	± 21.61
	27.64	17.63	150.31		
	27.54	19.02	167.17		
	22.78	11.14	188.28		
Agosto	49.67	192.22	112.44	117.82	± 16.84
	52.26	178.72	124.09		
	58.4	184.69	101.87		
	51.66	198.25	109.59		
PROMEDIO	29.09	84.26	99.8		
EE	± 5.55	± 22.61	± 19.54		

Fuente: Elaboración propia.

Los valores encontrados para la DQO se encontraron en un rango de 7.21 a 198.25 mg/l y los promedios de DQO obtenidos para los diferentes meses de estudio, fueron mayores durante el mes de Agosto (117.82 ± 16.84 mg/l), seguido por el mes de Abril (71.03 ± 21.61 mg/l) y el mes con menor promedio de DQO fue Enero (24.30 ± 5.20 mg/l). Los promedios de DQO obtenidos para las diferentes zonas de muestreo presentaron un mayor promedio en la Zona C (99.80 ± 19.54 mg/l), seguido por la Zona B (84.26 ± 22.61 mg/l) y finalmente la zona que presentó el menor promedio de DQO fue la Zona A (29.09 ± 5.55 mg/l) (Cuadro 23). Los valores permitidos en los ECA son de 40 mg/l para el agua de riego de vegetales y bebida de animales, de acuerdo a los valores obtenidos en los muestreos se puede observar que solo los valores de la Zona A en el mes de Enero no se exceden y los demás valores sobrepasan estos niveles.

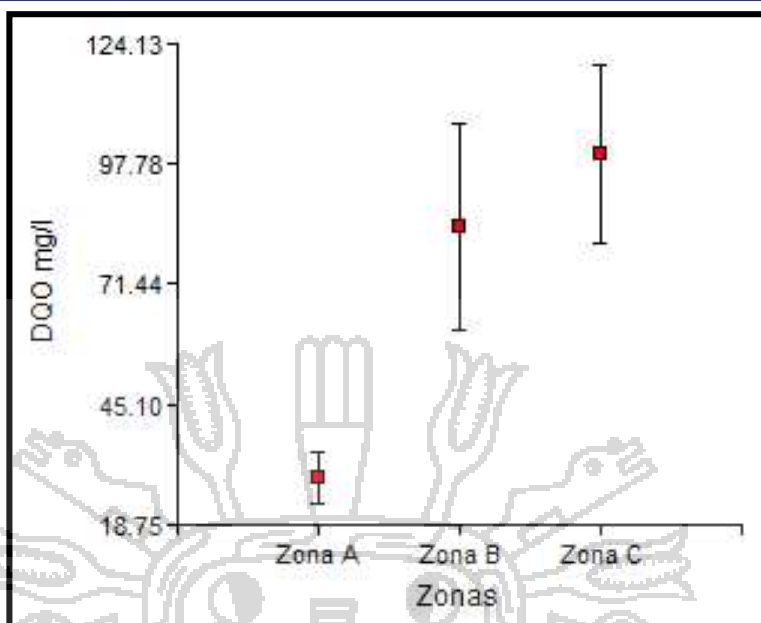


Figura 14. Comparación de niveles de DQO (mg/l) en diferentes zonas en el río Torococha, 2012.

La zona con el menor promedio de DQO es la Zona A (29.09 mg/l), que se encuentra antes de la entrada a la ciudad de Juliaca, el siguiente es la Zona B (84.26 mg/l) que se encuentra en la parte céntrica de la ciudad donde el cauce aparece a la altura del Puente San Isidro, en este punto se junta con aguas pluviales y residuales y la que presenta el mayor promedio de DQO es la Zona C (99.80 mg/l) que se encuentra a la salida de la ciudad de Juliaca (Figura 14).

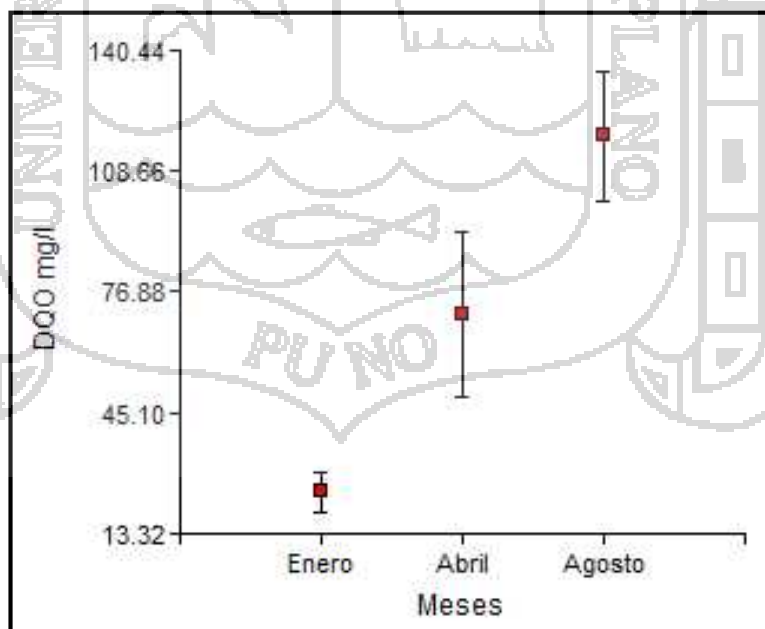


Figura 15. Comparación de niveles de DQO (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Los valores encontrados para la DQO tienen un mayor promedio durante el mes de Agosto (117.82 mg/l), seguido por Abril (71.03 mg/l) y finalmente el mes de Enero (24.30 mg/l) que presenta el menor promedio de DQO (Figura 15), los niveles de DQO disminuyen en la época de lluvia y se incrementan durante la época seca al igual que la DBO₅.

La prueba de Shapiro–Wilk (Cuadro 26) demostró que existe normalidad en los datos obtenidos (α : 0.05, gl: 36, $p = 0.185$) de igual manera la prueba de Levene (Cuadro 27) demostró que existe homogeneidad en las Varianzas de los datos (gl: 2, $p = 0.1612$). El análisis de varianza para los porcentajes de DQO (Cuadro 34), encontró diferencia estadística significativa entre las zonas de muestreo ($F_{\text{calc}} = 8.22 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$), del mismo modo se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ($F_{\text{calc}} = 18.57 > F_{\text{tab}} = 3.305$; gl: 2; $\alpha = 0.05$). Para establecer las diferencias específicas entre las zonas y los meses se procedió con la prueba de Tukey.

Cuadro 24. Prueba de Tukey para niveles de DQO (mg/l) en diferentes zonas de muestreo en el río Torococha, 2012.

Zonas	Promedio	Grupos de Tukey	
C	99.80	1	
B	84.26	1	
A	29.09		2

La prueba de Tukey indica que la Zona C (99.80 mg/l) y la Zona B (84.263 mg/l) presentan los mayores promedios de DQO y estadísticamente son similares a comparación de la Zona A (29.09 mg/l) que presenta el menor promedio, las Zonas C y B estadísticamente son diferentes de la Zona A (Cuadro 24).

Estos niveles elevados se deben a que además de las aguas residuales hay presencia de residuos sólidos en diferentes puntos de las Zonas B y C del Río Torococha, según Ramírez *et al* (2007) mencionado por Guzmán *et al* (2011) encontró que las concentraciones de materia orgánica (DQO y DBO₅) fueron en general elevadas a lo largo del cauce, su presencia se debe principalmente a las descargas residuales de origen municipal que son vertidas al río sin previo tratamiento. Rivas *et al* (2005), encontró valores altos de 38.27- 46.66 mg/l para la DQO y valores intermedios de 31.78-36.64 mg/l y de acuerdo a la relación DBO₅/ DQO en

los ríos varió entre 0.006 a 0.394 indicando una alta cantidad de material biodegradable en el transporte.

Cuadro 25. Prueba de Tukey para niveles de DQO (mg/l) en los meses de Enero, Abril y Agosto en el río Torococha, 2012.

Meses	Promedio	Grupos de Tukey	
Agosto	117.82	1	
Abril	71.03	1	2
Enero	24.30		2

Para los meses de muestreo se observó que Agosto (117.82 mg/l) y Abril (71.031 mg/l) presentaron valores estadísticamente similares entre sí, de igual manera Abril (71.03 mg/l) y Enero (24.30 mg/l), pero los meses de Agosto (117.82 mg/l) y Enero (24.30 mg/l) presentaron valores estadísticamente diferentes entre sí (Cuadro 25).

García *et al* (1998), encontró concentraciones de DQO por encima del límite de 125 mg/l establecido por la Directiva el Consejo 91/271 de la Unión Europea, además los resultados obtenidos presentaron valores de concentración superiores en la primavera y verano; y los valores de concentraciones menores fueron observadas durante el otoño y el invierno.

La hipótesis se cumple debido a que la DQO presenta los mayores niveles de contaminación en la Zona B y C durante la época seca, debido al vertimiento de aguas residuales, de acuerdo a Rivas *et al* (2012), el promedio que obtuvo para la DQO es de 50,75 mg/l en época de estiaje y de 23,33 mg/l en época de avenidas, los valores bajos fueron obtenidos en los meses de altas precipitaciones. Espinosa *et al* (2010), menciona que durante la época de lluvia se observaron elevadas concentraciones de DQO, lo cual indica la presencia de grandes cantidades de materia orgánica; comparando los resultados obtenidos en las estaciones de lluvia y de seca, la mayoría de los resultados mostraron una reducción de sus valores debido a su dilución por el agua de lluvia. Martínez (2006), encontró los valores más altos en la temporada seca, esto por la reconcentración que tienen las sustancias al disminuir el nivel de agua; luego hay una disminución en temporada lluviosa.

Déniz (2010), indica que es previsible la relación entre la DQO y DBO₅ dado que ambos parámetros permiten valorar la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, también existe una relación directa entre los sólidos en suspensión y ambas demandas de oxígeno siendo la relación más fuerte entre SST y DBO₅. Samboni *et al* (2007), indica que la DQO es una variable más amplia que permite evaluar la contaminación de origen orgánico e inorgánico.



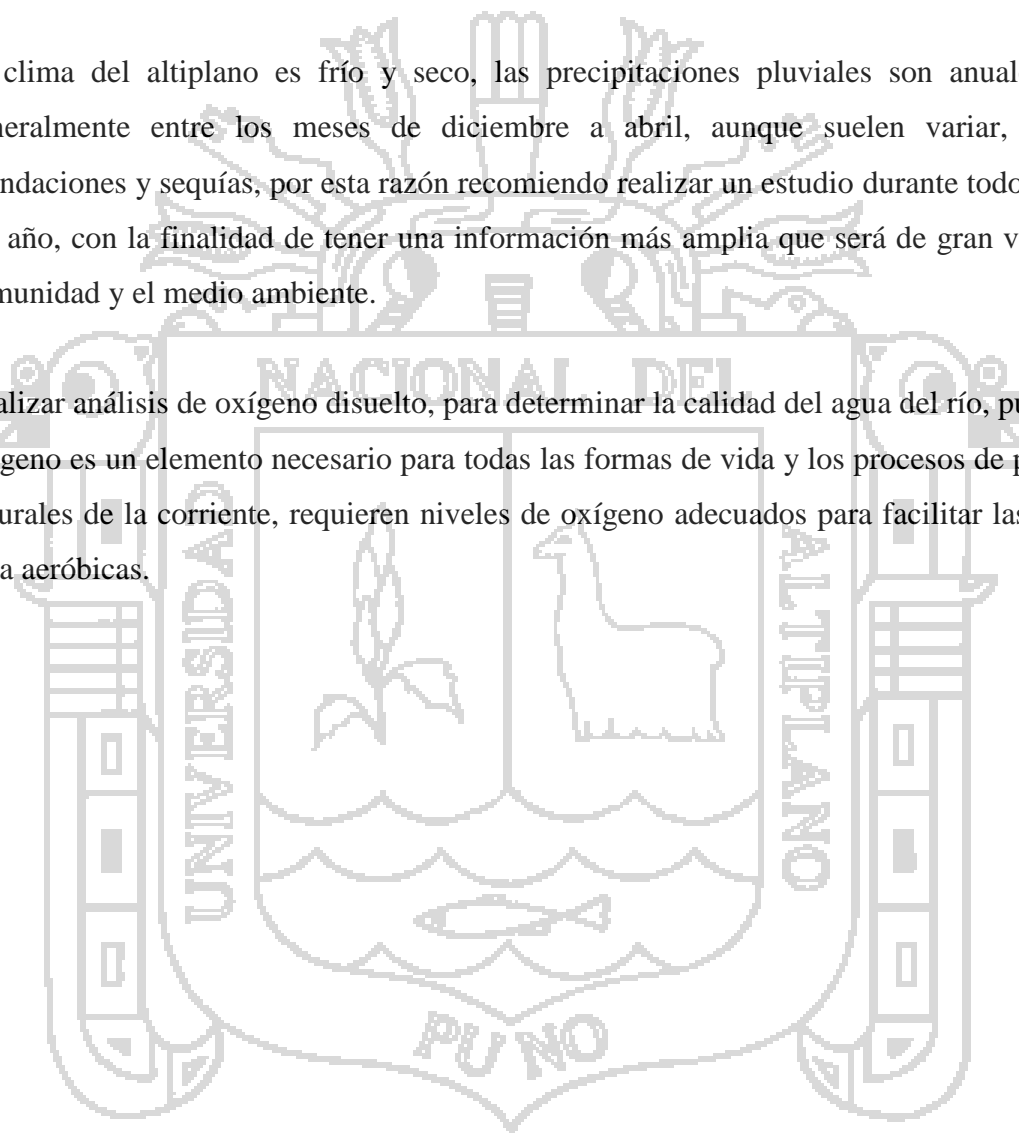
CONCLUSIONES

1. El mayor promedio de transparencia se encontró en el mes de Enero (15.44%). La Zona A (24.06%) presentó el mayor promedio de transparencia debido a la ausencia del vertimiento de aguas residuales. El mayor promedio de sólidos suspendidos totales se presentó en la Zona B (192 mg/l) y en el mes de Enero (189 mg/l). El mayor promedio de temperatura lo presentó la Zona C (13.33°C) y el mes de Abril (12.98°C). Los niveles de pH se mantienen entre los valores establecidos en los ECA (6.5 a 8.5) calificados para riego de vegetales y bebidas de animales. El mayor promedio para el caudal lo presenta la Zona C (3.19 m³/s), esto debido a la mayor capacidad de contenido de agua que tiene la Zona C, el mes con un mayor promedio de caudal es Enero (1.52 m³/s), debido al ciclo de lluvias del Altiplano.
2. Los promedios obtenidos presentaron una DBO₅ (81.55 mg/l) que sobrepasan los niveles establecidos por los ECA (15 mg/l).
3. Los promedios obtenidos presentaron una DQO (117.82 mg/l) que sobrepasan los niveles establecidos por los ECA (40 mg/l).

RECOMENDACIONES

El clima del altiplano es frío y seco, las precipitaciones pluviales son anuales y duran generalmente entre los meses de diciembre a abril, aunque suelen variar, originando inundaciones y sequías, por esta razón recomiendo realizar un estudio durante todos los meses del año, con la finalidad de tener una información más amplia que será de gran valor para la comunidad y el medio ambiente.

Realizar análisis de oxígeno disuelto, para determinar la calidad del agua del río, puesto que el oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida y los procesos de purificación naturales de la corriente, requieren niveles de oxígeno adecuados para facilitar las formas de vida aeróbicas.



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Acuña A & Torres V. 2012. Calidad del agua del río Arenal, San Carlos-Costa Rica. 34p.
- Angles J. 2007. Evaluación de los parámetro fisicoquímicos de la Bahía interior de Puno para determinar el nivel de contaminación. Tesis presentada para optar el título de Licenciado en Biología. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú. 97 p.
- Aquino Y. 2002. Diagnostico socioeconómico y ambiental de la ciudad de Juliaca. Tesis para optar el Título Profesional. Carrera profesional de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. 98 p.
- Araujo M. 1999. Análisis y Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid Taurus Ediciones. S.A. 345 p.
- Brenes W. & Rojas P. Análisis del agua. 9° Edición. Editorial Mc Graw – Hill. Madrid España. 490 p.
- Camacho A & Ariosa L. 2000. Diccionario de términos ambientales. La Habana.73 p.
- Cascio Y. 1997. Guía ISO 14000. Las nuevas normas internacionales para la Administración Ambiental. México. Mcgraw Hill International. 224 p.
- Clescerl L, Greenberg A & Eaton A. 1999. Standard Methods for tha Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. Washington, APHA, AWWA, WWCF. 2671 p.
- Conesa F. 1999. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid: Ediciones Mundi Prensa. 194 p.
- Déniz F. 2010. Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO₅ y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. Tesis Doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 200 p.
- Dejoux C. & A., ILTIS. 1991. Lago Titicaca síntesis del conocimiento Limnológico actual. Editorial Hisbol, La Paz- Bolivia. 572 p.
- Domenech X. 1998. Química del Agua. El impacto de los contaminantes. Mc Graw Hill International. Madrid.
- Echarri L. 1999. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Barcelona Editorial Teide, S.A.
- Elosegi A & Sabater S. 2009. Importancia de los ríos, separata del capítulo 1. Primera Edición-Fundación BBVA. 9 p.
- Espinosa Ll, López M, Pellón A, Robert M, Díaz S, Gonzales A, Rodríguez N y Fernández A. 2010. Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de

- residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. Rev. Int. Contaminación Ambiental 26 (4). 313-325 p.
- Fernícola N & Jauge P. (2000). Nociones Básicas de Toxicología. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. OMS. México. 16 p.
- Folch R. 2000. Métodos de Laboratorio para el Análisis de Aguas. Barcelona. Ediciones Ariel. S.A.
- Gaber O. 1999. Aguas de uso y consumo. Editorial Nueva Granada. Bogotá, Colombia. 354 p.
- García J, Hernández M y Mujeriego R. 1998. Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante lagunas de alta carga: evaluación experimental. Rev. Ingeniería del agua vol 5 núm 2. 35-50 p.
- Glosario de términos MINAM. 2012. Glosario de términos para la formulación de proyectos ambientales. Manuel Pulgar Vidal Otárola, Ministro de Medio Ambiente. 118 pp.
- Glynn H. 1999. Ingeniería Ambiental. 2da Edición. Ediciones Prentice Hall. México. 778 p.
- Gómez R. 1995. Diagnóstico sobre la contaminación ambiental en la Amazonia Peruana. Documento Técnico 15: 5-17.
- Guerra V. 1991. Manual del agua. Ciencia, tecnología y legislación. 2º Edición. Editorial Vicente. Madrid, España. 210 p.
- Guzmán G, Ramirez E, Thalasso F, Rodriguez S, Guerrero A y Avelar F. 2011. Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del Río San Pedro en el estado de Aguascalientes. Rev. Universidad y Ciencia vol. 27 núm 1. 17-32 p.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2003. Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. Santa Marta-Colombia. 148p.
- Jenkins, D. 2011. Química del agua. Editorial Limusa. México D.F. 508 pp.
- Lavilla J. 2000. Todo sobre el medio ambiente. Barcelona. Editorial Praxis. S.A.
- Magdaleno, F. 2009. Manual técnico de cálculo de caudales ambientales. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Santiago de Chile. Chile. 240 p.
- Maldonado M. y Rojas J. 1998. Contaminación y eutrofización en la Cuenca del Río Rocha (Cochabamba). Revista Boliviana de Ecología 3: 3-9.
- Margalef R. 1983. Limnología. Editorial Omega, S.A. Barcelona-España. 1010 p.

- Martínez O. 2006. Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva de Usos Múltiples, Monterrico. Tesis presentada para optar el título de Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala. 146 p.
- Mayta G. 2013. Parámetros fisicoquímicos de los lixiviados de residuos sólidos en cuerpos de agua del botadero de Cancharani-Puno. Tesis presentada para optar el título de Licenciado en Biología. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú. 44 p.
- Ministerio del Ambiente. 2008. Decreto Supremo N° 002-2008-Minam. 12p.
- Ministerio del Ambiente. 2010. Decreto Supremo N° 003-2010-Minam. 02p.
- Muñoz H, Suarez J, Vera P, Orozco S, Batlle J, Ortiz A y Mendiola J. 2012. Demanda Bioquímica de Oxígeno y población en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental* 28(1), 27-38 p.
- Navarro M. 2003. Agua y ciudades. Editorial Andaluz. Madrid, España. 507 p.
- Navarro A. 1998. Las aguas subterráneas en España estudios de síntesis. Madrid. Instituto Geológico Minero de España. 437 p.
- Orozco C, Pérez A, Gonzáles M, Rodríguez F & Alfayate J. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Tercera edición. Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A., 2005. 678 p.
- Paredes, A. 2013. Calidad fisicoquímica y biológica de agua en la zona de captación-Chimú, del Lago Titicaca destinada para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Puno. Tesis presentada para optar el título de Licenciado en Biología. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú. 118 p.
- Remenieras, G. 2000. Tratado de hidrología aplicada. Barcelona. Editores Técnicos Asociados, S.A. (Eta).
- Rivas, V. & Chuquilin, E. 2012. Evaluación de los niveles de contaminación de aguas residuales en la quebrada Funas-I, con fines de tratamiento con humedales. *Rev. Investigación y Amazonía*. 85-94 p.
- Rivas Z, Marquéz R, Troncone F, Sánchez J, Colina M & Hernández P. 2005. Contribución de los principales ríos tributarios a la contaminación y eutroficación del Lago de Maracaibbo. *Rev. Ciencia* 13(1). 68-77 p.
- Sabater F & Martí E. 2009. Retención de nutrientes en ecosistemas fluviales-separata del capítulo 8. Edición en Español. Fundación BBVA. 18 p.

- Sandoval A, Pulido G, Monks S, Gordillo A & Villegas E. 2009. Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. Rev. Interciencia. Vol 34, N° 12. 880-887 p.
- Samboni N, Carvajal Y & Escobar J. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de la calidad y contaminación del agua. Rev. Ingeniería e investigación vol 27 núm 3. 172-181 p.
- Sawyer C., Mac Carty P y Parking G. 1994. Química para la Ingeniería Ambiental. 5° Ed. Mc Graw Hill Internacional. Nueva York.
- Seoanez C. 2001. El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación. Madrid. Ediciones Mundi Prensa.
- Snoeyink V y Jenkins D. 1998. Química del agua, 10° Ed. Editorial Wiley. Nueva York.
- Soles C. 1998. Medio ambiente: Prevención y control de residuos sólidos urbanos. Madrid. Banco de Bilbao.
- Tchobananoglous H. 1994. Enciclopedia del agua. Madrid Mc Graw Hill. España. S.A.
- Torres A.J. 2008. Análisis de la Calidad Fisicoquímica y Microbiológica de Agua del río Motagua en diez puntos de muestreo ubicados en su cauce principal. Tesis para optar el título de licenciado en Ciencias Químicas y Farmacia. San Carlos-Guatemala. 27p.
- Turk A, Turk J, Wittes J y Wittes R. 1981. Tratado de Ecología. Segunda Edición. México D. F. Interamericana. 542 p.
- Tyler M, Jr. 2002. Introducción a la Ciencia Ambiental. Desarrollo sostenible de la tierra. Revisión en castellano 5ta edición. Madrid. Thomson editores. 458 p.
- Vera J. 1999. Química Ambiental. Madrid. Editorial Mc Graw Hill Internacional. España. S.A. 296 p.
- Welch E.B. 1992. Ecological Effects of wastewater. Second Edition. 419 p.
- Wetzel R. 1981. Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 679 p.



Cuadro 26. Prueba de Normalidad de Shapiro–Wilk para datos fisicoquímicos, DBO₅ y DQO en el río Torococha durante los meses de Enero, Abril y Agosto del 2012.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	G.L	P-valor
Transparencia	,814	36	,0734
SST	,917	36	,0581
Temperatura	,971	36	,440
pH	,893	36	,385
Caudal	,743	36	,060
DBO ₅	,542	36	,091
DQO	,713	36	,185

Cuadro 27. Análisis de homogeneidad de varianzas (Prueba de Levene) para datos fisicoquímicos, DBO₅ y DQO en el río Torococha durante los meses de Enero, Abril y Agosto del 2012.

	Fuente	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Transparencia	Zonas	2	0.00481	0.00240	2.29	0.1173
	Error	33	0.0347	0.00105		
Sólidos suspendidos totales	Zonas	2	0.00353	0.00177	0.26	0.7748
	Error	33	0.2266	0.00687		
Temperatura	Zonas	2	0.4600	0.2300	1.06	0.3590
	Error	33	7.1817	0.2176		
pH	Zonas	2	0.00244	0.00122	0.14	0.8697
	Error	33	0.2871	0.00870		
Caudal	Zonas	2	0.0242	0.0121	2.43	0.1038
	Error	33	0.1643	0.00498		
DBO ₅	Zonas	2	1.8822	0.9411	4.72	0.658
	Error	33	6.5808	0.1994		
DQO	Zonas	2	1.9901	0.9950	1.93	0.1612
	Error	33	17.0134	0.5156		

Cuadro 28. Análisis de Varianza para niveles de Transparencia (log (y)) en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Rio Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	11.40004537	5.70002268	462.94	<0.0001
Meses	2	0.75585394	0.37792697	30.69	<0.0001
Error	31	0.38169211	0.01231265		
Total	35	12.53759142			

Cuadro 29. Análisis de Varianza para solidos suspendidos totales (log (y)) en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Rio Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	3.02826075	1.51413038	259.58	<.0001
Meses	2	3.46668550	1.73334275	297.16	<.0001
Error	31	0.18082430	0.00583304		
Total	35	6.67577055			

Cuadro 30. Análisis de Varianza para temperatura en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Rio Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	17.421	8.710	28.997	< 0.0001
Meses	2	3.351	1.675	5.577	0.009
Error	31	9.312	0.300		
Total	35	30.083			

Cuadro 31. Análisis de Varianza para pH en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Rio Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	3.002	1.501	18.488	< 0.0001
Meses	2	0.097	0.049	0.599	0.556
Error	31	2.517	0.081		
Total	35	5.616			

Cuadro 32. Análisis de Varianza para caudal (log (y)) en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Río Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	53.12674451	26.56337226	1601.32	<0.0001
Meses	2	1.39838688	0.69919344	42.15	<0.0001
Error	31	0.51424232	0.01658846		
Total	35	55.03937371			

Cuadro 33. Análisis de Varianza para la DBO₅ (log (y)) en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Río Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	19.17832545	9.58916272	58.56	<0.0001
Meses	2	12.71740075	6.35870038	38.83	<0.0001
Error	31	5.07663047	0.16376227		
Total	35	36.97235668			

Cuadro 34. Análisis de Varianza para la DQO (log (y)) en diferentes zonas de muestreo y meses de Enero, Abril y Agosto en el Río Torococha, 2012

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	P-valor
Zonas	2	7.76386612	3.88193306	8.22	0.0014
Meses	2	17.54400170	8.77200085	18.57	<0.0001
Error	31	14.64099246	0.47229008		
Total	35	39.94886028			



Figura 16. Muestreo en la Zona A o inicial (Salida a Arequipa).



Figura 17. Zona B o media del muestreo (Puente San Isidro)



Figura 18. Muestreo en la Zona C o final (Morogachi).

