

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



**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO REFERENTES DE LA  
CALIDAD DE AGUAS DEL LAGO TITICACA EN EL CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN Y TRATAMIENTO TECNOLÓGICO CHUCUITO - PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Br. ANA BELEN CUEVAS ALAVE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

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



MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO REFERENTES DE LA  
CALIDAD DE AGUAS DEL LAGO TITICACA EN EL CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN Y TRATAMIENTO TECNOLÓGICO CHUCUITO - PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Br. ANA BELEN CUEVAS ALAVE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE:

D. Sc. DANTE JONI CHOQUEHUANCA PANCLAS

PRIMER MIEMBRO:

Ing. M. Sc. EDWIN FEDERICO ORNA RIVAS

SEGUNDO MIEMBRO:

D. Sc. JUAN JOSÉ PAURO ROQUE

DIRECTOR / ASESOR:

D. Sc. BUENAVENTURA O. CARPIO VÁSQUEZ

ÁREA: Ciencias Biomédicas

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente

SUB LÍNEA: Calidad Ambiental

TEMA: Calidad de Agua

FECHA: 08/11/2018

**DEDICATORIA**

*A Dios por darme la vida,  
salud, sabiduría, inteligencia,  
porque a pesar de los  
obstáculos está a mi lado  
siempre guiando mi camino y a  
mí querida abuela Victoria  
Villanueva Mamani (†), Por su  
cariño y apoyo incondicional.*

## AGRADECIMIENTO

A mi familia, por todo el apoyo que me ha brindado hasta esta etapa de mi vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas, mi centro de formación superior, a los docentes, D. Sc. Buenaventura Optaciano Carpio Vásquez por su enseñanza y apoyo en la ejecución de mi proyecto, D. Dante Joni Choquehuanca Panclas por su enseñanza, consejos y colaboración incondicional, M. Sc. EDWIN Federico Orna Rivas por su enseñanza y recomendaciones, D. Sc. Juan José Pauro Roque por sus sabios consejos y recomendaciones sobre mi proyecto de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	8
<b>ÍNDICE DE ACRONIMOS</b> .....	9
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	12
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	14
<b>2.1 Antecedentes</b> .....	14
<b>2.2 Marco teórico</b> .....	19
2.2.1 Organismos bentónicos como indicadores de contaminación de cuerpos acuáticos. ....	19
2.2.2 Principios de la Bioindicación .....	19
2.2.3 Importancia de los indicadores biológicos. ....	20
2.2.4 Métodos biológicos de evaluación de calidad del agua .....	21
2.2.5 Macroinvertebrados bentónicos.....	21
2.2.6 Eutrofización de la bahía interior de Puno.....	22
2.2.7 Oxígeno en los lagos.....	23
2.2.8 Temperatura en lagos.....	23
2.2.9 pH en los lagos.....	23
2.2.10 Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. ....	24
2.2.11 Evaluación biológica. ....	25
2.2.12 Calidad de agua. ....	25
2.2.13 Calidad ecológica.....	25
2.2.14 Índice de diversidad.....	26
<b>2.3 Marco Conceptual</b> .....	27
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	28
<b>3.1. Zona de estudio</b> .....	28
3.4.1. Determinación de la diversidad de los Macroinvertebrados bentónicos con el índice de diversidad de Shannon – Wiener en las aguas CITT Chucuito - Puno. ....	29
Índice de diversidad de Shannon – Wiener .....	30
3.4.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos en relación a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de aguas del CITT Chucuito Puno. ....	31

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	32
4.1. Determinación de los macroinvertebrados bentónicos como referentes de la calidad de aguas del Lago Titicaca en el CITT Chucuito – Puno. ....	32
4.1.4. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener de macroinvertebrados bentónicos en las aguas del CITT Chucuito – Puno por zona y profundidad de muestreo 2016.....	37
4.2 Análisis de los parámetros Físicoquímicos en relación a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de aguas del Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuito – Puno. ....	38
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	49
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	50
<b>VII. REFERENCIAS</b> .....	51
<b>ANEXOS</b> .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la zona de estudio, se observa las tres zonas de muestreo. ...	28
<b>Figura 2.</b> Distribución de macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT – Chucuito por especie y zona de muestreo (setiembre - noviembre 2016)...	34
<b>Figura 3.</b> Distribución de Macroinvertebrados bentónicos totales por zona de muestreo de las aguas del CITT - Chucuito en porcentaje (%) (setiembre – noviembre 2016).....	35
<b>Figura 4.</b> Distribución de Macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT – Chucuito con predominancia de especies durante el periodo de evaluación (setiembre- noviembre 2016).....	36
<b>Figura 5.</b> Análisis de contraste grafico de la temperatura del agua tomados en la zona de muestreo durante los meses de evaluación, 2016. ....	40
<b>Figura 6.</b> Análisis de contraste grafico del PH del agua tomados en la zona de muestreo durante los meses de evaluación, 2016.....	42
<b>Figura 7.</b> Análisis de contraste grafico de la transparencia del agua tomados en zonas de muestreo durante los meses de evaluación, 2016. ....	45
<b>Figura 8.</b> Análisis de contraste grafico del nivel de oxígeno disuelto entre los meses de evaluación, 2016.....	47
<b>Figura 9.</b> Panel fotográfico (CITT. Chucuito – Puno).....	58
<b>Figura 10.</b> Draga Ekman.....	58
<b>Figura 11.</b> Recolección de macroinvertebrados utilizando con la Draga Ekman de ..	59
<b>Figura 12.</b> Macroinvertebrados bentónicos libre de fango, arcilla y trozos de totora.....	59
<b>Figura 13.</b> <i>Littoridina berryi</i> .....	60
<b>Figura 14.</b> <i>Littoridina andecola</i> .....	60
<b>Figura 15.</b> <i>Taphius montanus</i> .....	61
<b>Figura 16.</b> <i>Anisancylus crequii</i> .....	61
<b>Figura 17.</b> <i>Pisidium</i> sp. ....	61
<b>Figura 18.</b> <i>Hyalella</i> sp.vista al microscopio.....	62
<b>Figura 19.</b> <i>Balliviaspongia wirrmanni</i> .....	62
<b>Figura 20.</b> <i>Helobdella titicacencis</i> .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Registro de los macroinvertebrados bentónicos totales de las aguas del CITT Chucuito - Puno por zonas de muestreo (setiembre – noviembre 2016).	32
<b>Tabla 2.</b> Índice de Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en las aguas del CITT Chucuito – Puno por zona de muestreo 2016.....	37
<b>Tabla 3.</b> Datos de la temperatura del agua (°C) tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación. ....	39
<b>Tabla 4.</b> Análisis de la varianza de la temperatura del agua (°C) en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación. ....	39
<b>Tabla 5.</b> Datos del pH del agua, tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.....	41
<b>Tabla 6.</b> Análisis de la Varianza del pH de las aguas en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.....	41
<b>Tabla 7.</b> Datos de la Transparencia del agua (m) tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación. ....	43
<b>Tabla 8.</b> Análisis de la varianza de la transparencia (m) en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación. ....	44
<b>Tabla 9.</b> Análisis del oxígeno disuelto de las aguas del CITT Chucuito - Puno setiembre – noviembre, 2016.....	46
<b>Tabla 10.</b> Análisis de la varianza del Oxígeno Disuelto (mg/l) en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación. ....	46
<b>Tabla 11.</b> Macroinvertebrados registrados en la zona 1 durante los meses de evaluación (setiembre - noviembre 2016).....	56
<b>Tabla 12.</b> Macroinvertebrados registrados en La Zona 2 durante los meses de evaluación (setiembre – noviembre 2016).....	56
<b>Tabla 13.</b> Macroinvertebrados registrados en La Zona 3 durante los meses de evaluación (setiembre – noviembre 2016).....	57
<b>Tabla 14.</b> Parámetros Físicoquímicos tomados durante los meses de valuación (setiembre – noviembre del 2016).....	57

## ÍNDICE DE ACRONIMOS

**ANA:** Autoridad Nacional del Agua

**ABI:** Andean Biotic Index

**ANDEVA:** Análisis de Varianza

**BIL:** Bahía Interior del Lago

**BIP:** Bahía Interior Puno

**BMWP:** Biological Monitoring Working Party Score System

**CITT:** Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**EPT:** Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera

**GWV:** Global Water Watch

**hrs:** horas

**IBF:** Índice Biótico de Familias

**m :** metros

**MINAM:** Ministerio Nacional del Ambiente – Perú

**MIB:** Macro Invertebrados Bentónicos

**N:** Nitrógeno

**O:** Oxígeno

**OD:** Oxígeno Disuelto

**P:** Fósforo

**Km:** Kilómetro

**µm.:** Una Micra

## RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuító – Puno” en tres zonas de muestreo con niveles de profundidad de 2 m, 4 m y 8 m respectivamente entre los meses de setiembre, octubre y noviembre del 2016. Los objetivos fueron: Determinar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos con el índice de diversidad de Shannon – Wiener y Analizar los parámetros fisicoquímicos en relación a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de aguas del Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuító – Puno. La identificación de macroinvertebrados bentónicos se realizó en el laboratorio de Biología de la UNAP y la metodología aplicada fue mediante una draga Ekman de 15 x 15 cm, se realizó muestreos mensuales, para el análisis fisicoquímico utilizamos un equipo portátil medidor multi parámetro marca YSI, modelo 8510. Para macroinvertebrados bentónicos se trabajó con un total de 18071 muestras, cuya metodología es de investigación aplicada analítica, para su determinación se usó tablas de distribución y de frecuencia, análisis de varianza y el índice de shannon – Wiener, donde no se encontraron diferencias muy marcadas obteniendo un valor de (1.37 a 2 m de profundidad, 1.66 a 4 m de profundidad y 0.91 a 8 m de profundidad) por lo que es calificada como “poco diversa”. En la evaluación se determinó que las especies de macroinvertebrados bentónicos varían en las zonas de muestreo, las especies identificadas fueron *Littoridina berryi*, *Littoridina andecola*, *Taphius montanus*, *Anisancylus crequii* (Gasteropodos); *Pisidium* sp. (Pelecypodo); *Hyalella* spp. (Amphypodos); *Balliviaspongia wirrmanni* (Porífero) y *Helobdella titicacencis* (Hirudineo). La mayor abundancia de individuos se presentó a 2 m de profundidad con un 79.69 % (14,400) individuos, seguido por un 12.38 % a 4 m de profundidad (2,237) individuos y 7.94 % a 8 m de profundidad (1,434) individuos. Dentro de los parámetros fisicoquímicos evaluados se tuvo temperatura del agua entre 11.6 y 14.5°C con un promedio de 13° C; para pH se registraron valores entre 8.0 y 9.5 en promedio 8.6; para transparencia se registró valores entre 1 m y 4 m (a 2 m y 4 m de profundidad respectivamente), el oxígeno disuelto obtuvo valores entre 7.0 y 10.5 mg/l en promedio 9.0 mg/l.

**Palabras Clave:** calidad de agua, macroinvertebrados, bentónicos, índice, muestreo

**ABSTRACT**

The investigation fulfilled in the Center of Investigation and Technological Treatment Chucuító - Puno " in three zones of sampling with levels of depth of 2 m, 4 m and 8 m respectively between the months of September, October and November, 2016. The aims were: Wiener to determine the diversity of macroinvertebrates bentónicos with the index of diversity of Shannon - and To analyze the physicochemical parameters in relation to the communities of macroinvertebrates bentónicos as bioindicadores in the water quality of the Center of Investigation and Technological Treatment Chucuito – Puno The identification of macroinvertebrates bentónicos was realized in the laboratory of Biology of the UNAP and the applied methodology was by means of a draga Ekman of 15 x 15 cm, I realize monthly samplings, for the physicochemical analysis we use a portable measuring equipment multi parameter marks YSI, model 8510. For macroinvertebrates bentonicos one worked with a total of 18,071 samples, which methodology is of applied analytical investigation, for his determination Wiener used tables of distribution and of frequency, analysis of variance and the index of shannon- Wiener Where they did not find very marked differences obtaining a value of (1.37 to 2 m of depth, 1.66 to 4 m of depth and 0.91 to 8 m of depth) by what it is considered to be like " slightly diverse ". In the evaluation one determined that the species of macroinvertebrates bentónicos change in the zones of sampling, the identified species were *Littoridina berryi*, *Littoridina andecola*, *Taphius montanus*, *Anisancylus crequii* (Gasteropodos); *Pisidium* sp. (Pelecypodo); *Hyalella* spp. (Anfípodo); *Balliviaspongia wirrmanni* (Poríferos) and *Helobdella titicacencis* (Hirudineo). The major abundance of individuals appeared to 2 m of depth with 79.69 % (14,400) individual, followed for 12.38 % to 4 m of depth (2,237) individuals and 7.94 % to 8 m of depth (1,434) individuals. Inside the physicochemical evaluated parameters temperature of the water was had between 11.6 and 14.5°C by an average of 13°C; for pH values registered between 8.0 and 9.5 in average 8.6; for transparency one registered values between 1 m and 4 m (to 2 m and 4 m of depth respectively), the oxygen disuelto obtained values between 7.0 and 10.5 mg/l in average 9.0 mg/l.

**Key words:** water quality, benthic macroinvertebrates, index, sampling.

## I. INTRODUCCION

Los Macroinvertebrados bentónicos constituyen la fauna más recomendable para verificar la calidad de los cuerpos de agua a través de su evaluación, en razón a que estos se encuentran en todo cuerpo de agua y esto favorece a los estudios comparativos, su estilo de vida sedimentaria, permite un análisis espacial de los efectos que ocasiona en la calidad del cuerpo de agua, tiene ventajas técnicas simples y baratas para su extracción y realizar muestreos cuantitativos para su análisis, muchas de las especies de macroinvertebrados bentónicas están bien estudiadas desde el punto de vista de su clasificación taxonómica, para el análisis de datos hay diversos métodos los índices de diversidad, los cuales han sido utilizados ampliamente (Bonada, *et al* 2002; Hawkes, 1979).

El uso de Macroinvertebrados bentónicos empleados como bioindicadores de la calidad de las aguas continentales, viene incrementándose en estos últimos años en lo que respecta a la protección de los ambientes acuáticos (Cole, 1998; Netzel y Likens, 2000).

Para el futuro cada vez se hace más necesario y conveniente utilizar metodologías complementarias a las tradicionalmente empleadas en nuestro medio, así proponemos la “evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas lenticos, mediante el análisis de sus macroinvertebrados. Esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis fisicoquímicos; Por el contrario, su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio ya que su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos, basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua.

Por otra parte, con la aprobación del Decreto Supremo N° 004-2017 MINAN, de los estándares nacionales de la calidad ambiental para agua en el Perú y la puesta en marcha del Ministerio del Ambiente, se han desarrollado acciones que conllevan a una mejor utilización de los recursos naturales, especialmente aquellos ecosistemas considerados erróneamente por el hombre como inagotables, como es el caso del recurso hídrico. Es el caso, de lo relacionado con el requerimiento legal sobre la determinación de la calidad del agua con base en la implementación de metodologías

tradicionales, que se fundamentan en parámetros fisicoquímicos, que son costosos y además medidos o evaluados puntualmente en el tiempo y en el espacio.

El motivo de la investigación conlleva a aplicar una forma más de demostrar la calidad de aguas, mediante la determinación de la diversidad de individuos que forma el zoobentos, de lo que se pueden obtener muchos otros aspectos de estudio.

Con este estudio de diversidad de macroinvertebrados bentónicos presente en las aguas del lago del CITT - Chucuíto, es posible predecir la calidad de las aguas en la zona de estudio, lo que servirá como una herramienta de prevención sobre los posibles riesgos en la calidad del producto de truchas que podría ser aplicado en otras zonas, contribuirá prácticamente al reconocimiento, diagnóstico, descripción y manejo de la biodiversidad bentónica de este ecosistema acuático.

#### **Objetivo general**

- Determinar los macroinvertebrados bentónicos como referentes de la calidad de aguas del Lago Titicaca en el Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuíto – Puno.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar la diversidad de los macroinvertebrados bentónicos con el índice de diversidad de Shannon – Wiener en las aguas del Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuíto - Puno.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos en relación a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de aguas del Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuíto – Puno

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes

La fauna béntica del lago Titicaca representa un componente esencial en la biología de este ecosistema, representando un papel importante tanto a nivel de la producción secundaria (alimento de la ictiofauna), como también en los traslados de energía (Moluscos y Amphípodos descomponedores). Globalmente, más del 95 % de las poblaciones bénticas se hallan en los primeros 15 m de profundidad, en el Huiñaimarca, y en los primeros 25 m en el Lago Mayor. En este último, la vida béntica existe, sólo hasta ciertas profundidades, no pudiendo mantenerse más allá de los 200 m, debido a los frecuentes períodos de anoxia que afectan esta zona. Los análisis de contenidos estomacales - de peces mostraron que los macroinvertebrados bénticos son también de suma importancia para numerosas especies endémicas (principalmente para aquéllas que viven en la vegetación acuática), así como también para los jóvenes estados de los depredadores de zonas profundas (*Salmo gairdneri* y *Basilichthys bonariensis*), (Dejoux e Iltis, 1991).

Actualmente se debe considerar a los macroinvertebrados bénticos como insuficientemente estudiados, y además de trabajos complementarios necesarios de su taxonomía, lo que se necesita sobre todo son estudios de ecología y de biología, debiendo considerarse como prioritarios en estos campos a los dos grupos predominantes (Moluscos y Amphipodos). También se necesitarían estudios sobre la evolución a corto y largo plazo de las poblaciones con el fin de evidenciar si obedecen a ritmos evolutivos cíclicos o no (Dejoux e Iltis, 1991).

En el estudio de la Bahía interior y exterior del lago Titicaca se registró un total de 16 taxones diferentes en la comunidad zoobéntica de la bahía de Puno. 12 se hallaron en las transectas de la bahía exterior y solo 4 en las de la bahía interior. Los Oligoquetos, Hirudineos, Amphipodos y Quironomidos se encontraban en las transectas muestreadas (Northcote, 1991).

En un estudio del lago Titicaca entre mayo del 2002 y abril del 2003 cuyo objetivos fueron, determinar parámetros físicos (temperatura, turbidez, transparencia, S.T.D.,

C.E., pH y O.D.) químicos (nitratos, nitritos, nitro-amonio, amoníaco, amonio, fósforo, detergente, dureza total y alcalinidad) en los resultados determina que la contaminación de la bahía interior de Puno, es de origen antrópico asociado al alto nivel de materia orgánica contenida directamente en las aguas residuales o directamente del drenaje pluvial superficial (Northcote, Morales y Dorce, 1991)

En cuanto a carga de fosfatos en las aguas de escorrentía que llegan a la bahía, se encuentra por encima de los niveles peligrosos de eutrofización. Los resultados físicos y químicos expresan los resultados en términos de promedio en conclusión la zona de Chimu corresponde a una zona mesoeutrófica (Donaires, 2003). Así también en las últimas décadas, los sistemas fluviales han sido sometidos a una fuerte presión de uso, afectando la calidad del agua, por las principales actividades que se desarrollan en las cuencas hidrográficas, por ejemplo: ingreso de plaguicidas y gran cantidad de material particulado, por actividades agrícolas y deforestación, fragmentación del hábitat, cambios, del sustrato por remoción y extracción de materiales, a lo cual se suma el incremento de materia orgánica por ingreso de agua no tratada (Jara, 2002).

Los vertidos esporádicos de ciertas sustancias al cuerpo de agua, producen cambios cualitativos y una disminución en el número de especies y causando que el medio acuático necesite tiempo para ser re colonizado por las mismas especies. Esta premisa supone que los bioindicadores de la calidad del agua, detallaran la información histórica de una forma más concisa que la medición de la calidad de agua por parámetros físico químicos, detallándose con más precisión acerca de lo ocurrido dentro de dicho cuerpo de agua. Basándose en el conocimiento de cómo responden las comunidades biológicas a las distintas perturbaciones que las actividades humanas infieren al medio acuático (Villalobos, 2001). Debido a su escasa capacidad de movimiento, son directamente afectados por las sustancias vertidas en el agua (Prat *et al.*, 2001).

El biomonitoreo de la calidad del agua de las cuencas, se basa en el uso de indicadores biológicos para determinar el estado ecológico de los diferentes cuerpos de agua, destacando los métodos que utilizan macroinvertebrados bentónicos, bosque de ribera y flora acuática "diatomeas" (Bonada *et al.*, 2002a, Bonada *et al.*, 2002b, Bonada *et al.*, 2002c). Los macroinvertebrados bentónicos son organismos que vienen siendo utilizados con regular frecuencia en los estudios relacionados con la contaminación de los

ríos, debido a que proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua y, al usarlos en el monitoreo, se puede entender claramente el estado en el que ésta se encuentra (Prat *et al.*, 2001). Entre los aspectos ecológicos, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos adquiere importancia para entender la estructura y función de estos ecosistemas acuáticos, particularmente en la transferencia de materia y energía. La distribución de estos organismos está directamente relacionada con la corriente de agua, calidad y disponibilidad de sustrato (arenoso, pedregoso, bosque, macrófitas acuáticas), temperatura del agua y concentración del O.D. Por tanto, estos organismos participan en el ciclo de nutrientes, reducen el tamaño de las partículas orgánicas, facilitan la acción de micro descomponedores, bacterias, levaduras y hongos, y transportan la materia orgánica corriente abajo (Marques *et al.*, 2001).

Trabajos realizados en Quito – Ecuador mediante la aplicación de índices bióticos basados en el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, ha sido utilizada a nivel mundial de manera frecuente dentro de los índices ampliamente aplicados se pueden mencionar a los siguientes: Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera), (Carrera y Fierro, 2001). Por otra parte en otro trabajo aplicado en el río Angosturita en Argentina y el Índice Biótico de Familia el cual fue desarrollado por Chutter (1972) para ríos de Sudáfrica y levemente modificado por Hilsenhoff (1988) para ser utilizado en ríos de Norteamérica, con el nombre Índice Biótico de Familias (IBF). Este último es un índice muy práctico en el análisis de la calidad del agua, debido al bajo nivel taxonómico (Familia) que necesita, bajo costo en términos de tiempo y dinero. Facilitando la fiscalización por parte de algún organismo público que requiera poco tiempo y fácil interpretación, al evaluar la calidad del agua de una cuenca hidrográfica determinada y recientemente el Índice ABI (Andean Biotic Index) para ríos (sometido), como propuesta del proyecto de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos.

La descripción y evaluación de los rasgos biológicos (species traits) de los MIB, es quizá una de las metodologías de evaluación de calidad de agua que promete mejor resultados. Se trata de sustituir la lista de especies por una lista de características biológicas (tamaño, forma, ciclo de vida, alimentación, reproducción, etc.) y utilizar la combinación de estas características como bioindicadores, puesto que la presencia de rasgos biológicos no está tan influenciada por la distribución geográfica como si lo está la aproximación

taxonómica (Domínguez y Fernández, 2009), así mismo las metodologías basadas en la utilización de rasgos biológicos (caracterización biológica) para evaluar estos impactos humanos se realizó recientemente en Europa por (Dodelec y Statzner, 2008); en América del Sur (Tomanova, *et al.*, 2006; Tomanova y Usseglio-Polatera, 2007); (Tomanova y Tedesco, 2007); (Tomanova, *et al.*, 2007), realizaron análisis multivalentes relacionando los rasgos biológicos con el ambiente. Los estudios funcionales empleados en Brasil por Cummins, *et al.*, 2005), utilizan los grupos funcionales alimenticios (Domínguez y Fernández, 2009).

En el trabajo realizado en la sub cuenca del río Quiroz de la cuenca Catamayo - Chira durante el periodo septiembre 2007 y julio 2008. Se concluyó que la calidad vista desde los diferentes bioindicadores y bioíndices es aceptable. Sin embargo, se observa que a medida que se aproxima a la parte baja de la cuenca, la alteración antrópica se torna evidente, los índices indican que la calidad va de mala (en un caso) a regular y buena. Para tal evaluación se utilizó los índices IBF y EPT. (Proyecto Binacional Catamayo-Chira, 2008).

Se desarrolló evaluaciones de macroinvertebrados bentónicos en el río Rímac, aguas abajo de la Atarjea. Su objetivo fue analizar la composición faunística, riqueza de familias y calidad del agua en base al índice BMWP modificado. La evaluación comprendió seis estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del curso del río Rímac, que cruza la ciudad de Lima. Se registraron 35 taxones y determino que la calidad del agua del Río Rímac aguas abajo de la Atarjea era crítica (aguas contaminadas). De los análisis fisicoquímicos evaluados la DBO 5, 20, indicó efectos de perturbación en el ecosistema acuático (Paredes, 2005).

En el estudio efectuado en la Bahía Interior de Puno (Ojherani) del Lago Titicaca la variedad de organismos zoobentónicos en la zona litoral tiene las cifras totales de: zoobéntos en la estación de otoño con 11746 organismos y su consiguiente distribución en las tres profundidades (2, 4, 6 m), es atribuible a muchos factores: a saber, las características del sedimento, puesto que el fondo de Ojherani es arenoso y ligeramente blando, presentando grava a 2 m de profundidad; a 4 m es un poco fangoso y a 6 m se toma muy lodoso con presencia de detritos orgánicos en descomposición; esta característica limitaría la presencia de los diversos organismos (Medina, 1984).

El lago Titicaca recibe altos niveles de radiación solar. Las aguas someras de la bahía interior de Puno, especialmente a lo largo de la orilla occidental, alcanzan temperaturas cercanas a los 20° C; la elevada alcalinidad con valores de 159 y 229 mg/l, y esencialmente cuando los valores de pH aumentan entre 8,4 y 8,7 el contenido de O.D. en aguas saturadas del lago es de solo 7,3 y 5,8 mg/l; relacionado íntimamente con la temperatura; así mismo la D. T. con valores de 277 y 331 mg/l en la bahía, el reciclaje de los nutrientes de los sedimentos debido a la estratificación periódica puede impedir la recuperación del lago (Northcote, *et al* 1991).

### **2.1.1. Estudios de evaluación fisicoquímica y macroinvertebrados bentónicos del Perú y otros países.**

La evaluación de macroinvertebrados bentónicos indicadores biológicos de la calidad de agua en el río Rimac, Lima - Perú. Se registraron un total de 35 taxones con predominancia de Oligochaeta (28%), Psychodidae (24%), Physidae (20%), Chironomidae (14 %) y Dixidae (8 %). Se obtuvo un puntaje biótico de 29, que según el BMWP. Caracteriza al río Rímac como de calidad crítica o de aguas muy contaminadas. Según el puntaje obtenida para cada estación, se puede observar que las estaciones 1 y 2 presentan aguas fuertemente contaminadas o de calidad muy crítica, las estaciones 3 y 4 presentan aguas muy contaminadas o de calidad crítica, y las estaciones 5 y 6 presentan aguas contaminadas o de calidad dudosa. Es importante mencionar que sólo las estaciones 5 y 6 cuentan con cercos perimétricos que de alguna manera impiden una mayor influencia antrópica. Las variaciones en la abundancia de los insectos acuáticos pueden ser atribuidas a la disponibilidad de recursos, competencia, depredación y el ciclo de vida (Paredes, 2005).

El estudio de diversidad y el estado de conservación de cuerpos de agua Amazónicos en el nororiente del Perú. Los ambientes acuáticos evaluados corresponden a la cuenca del río Huallaga y comprende zonas de selva alta: San Roque y Cordillera La Escalera (Tarapoto) y selva baja (Pongo - Yurimaguas) teniendo como resultado; El bentos proviene de aguas loticas del sector de Cainarache, se identificaron 17 familias, 10 órdenes y dos Phylo: Arthropoda y Mollusca. La diversidad fue de baja a moderada (3 - 11) en las diferentes estaciones, en su mayoría organismos de la clase Insecta. En la abundancia se registraron 78 individuos, destacando los Plecóptera (20) y

Ephemeroptera (12), componentes del índice EPT. Los valores mayores de EPT se registraron en las estaciones E2, E4 y E3 (Quebradas) y muy baja en El (río Cainarachi) (Ortega *et al.*, 2007).

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Organismos bentónicos como indicadores de contaminación de cuerpos acuáticos.

El índice más simple del grado de eutrofia es la abundancia del bentos como la biomasa del bentos aumenta conforme aumenta la productividad del lago, se suele hallar mayor cantidad de fauna bentónica en aéreas eutróficas que en aéreas oligotróficas similares. (Northcote, *et al* 1991), así como los aumentos en la productividad bentónica resultado de la eutrofización, no continúan independiente en los lagos hipertróficos, los cambios ambientales adversos que se producen en las aguas del hipolimnion afecta negativamente y la abundancia bentónica decrece (Wetzel, 1983).

Los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones en el medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones (Odum, 1969). Así también entre los organismos bentónicos, se ha utilizado ampliamente a los Quironomidos y Oligoquetos como indicadores de contaminación, aunque no se conoce muy bien la tolerancia de organismos individuales de Quironomidos y Oligoquetos a la contaminación (Northcote, *et al* 1991).

### 2.2.2 Principios de la Bioindicación

Un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iniciales de un sistema acuático provocarán una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación). Los efectos sobre la fauna acuática cuando es sometida a la descarga de una sustancia tóxica; a medida que transcurre el tiempo se pasa de respuestas individuales (bioquímicas y fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y ecosistémicas. Entonces un indicador biológico será aquel que logre soportar los efectos ocasionados por el elemento perturbarte, es decir, que muestre algún tipo de respuesta

compensatoria o tolerante. Estas respuestas significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico (Zamora, 1999)

### **2.2.3 Importancia de los indicadores biológicos.**

El uso de bioindicadores para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas. Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan, es decir, las comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes que en determinado momento un muestreo de variables químicas o físicas pasan por alto, la vigilancia biológica evita la determinación regular de un número excesivo de parámetros químicos y físicos, en los organismos se sintetizan o confluyen muchas de estas variables, Los indicadores biológicos permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos o insospechados, puesto que muchas sustancias se acumulan en el cuerpo de ciertos organismos, su concentración en esos indicadores puede reflejar el nivel de contaminación ambiental y como no es posible tomar muestras de toda la biota acuática, la selección de algunas pocas indicadoras, simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema, a la vez que se obtiene solo la información pertinente, desechando un cúmulo de datos difícil de manejar e interpretar (Zamora, 1999).

La utilidad de los bioindicadores, siendo su principal uso la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización), o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases con miras a establecer la calidad del agua. En adición a esta utilización primordial, existen otra serie de fenómenos que no son de origen cultural y que se pueden determinar mediante bioindicadores como son, por ejemplo: saturación de oxígeno, condiciones de anoxia, condiciones de pH, estratificación térmica y de O<sub>2</sub> en la columna de agua, turbulencia del agua, torrencialidad, proceso de mezcla entre el hipolimnio y el epilimnio en cuerpos lenticos, eutrofización natural, grado de mineralización del agua; Presencia de determinados elementos como hierro, sílice y calcio, Fenómenos de sedimentación (Zamora, 1999).

#### 2.2.4 Métodos biológicos de evaluación de calidad del agua.

Aun cuando la contaminación del agua es ante todo un problema biológico, muchos países han dependido esencialmente de parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua. Para ello, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real, o grado de alteración de los sistemas acuáticos. Unos se basan exclusivamente en análisis de las condiciones químicas, que, si bien "en principio" son de una gran precisión, son testigos, de las condiciones instantáneas de las aguas, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos (Toro *et al.*, 2003), es así que los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas (Alba -Tercedor, 1988).

#### 2.2.5 Macroinvertebrados bentónicos.

Los macroinvertebrados bentónicos o zoobentos como se denominan en otras bibliografías, se llaman así porque (miden de 2 mm y 30 cm) e invertebrados porque no tienen huesos y bentónicos por que viven en el o adheridos al bentos, estos animalitos proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, algunos de ellos requiere agua de buena calidad para sobrevivir, sin embargo, algunos de ellos resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación (Figuroa *et al.*, 1999), De todos los organismos que se encuentran dentro de un sistema acuático, los macroinvertebrados bentónicos ofrecen ventajas para ser usados como indicadores de contaminación ya que: (1) Se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos. (2) Su naturaleza sedentaria, permite un análisis espacial efectivo de los efectos de las perturbaciones. (3) Presenta ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras que pueden ser realizados con equipos simples. (4) La taxonomía de muchos grupos es ampliamente conocida. (5) Existen numerosos métodos para el análisis de datos, como índices bióticos y de diversidad (Figuroa, *et al.*, 2003).

Los macroinvertebrados son abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el tamaño suficiente para ser observados a simple vista, son universales, sedentarios, extremadamente sensibles a perturbaciones, muestran una respuesta inmediata ante un impacto, su identificación taxonómica es bien conocida y no requiere de personal especializado para el muestreo (Vazquez, *et al.*, 2006). Así mismo se encontró que en la Bahía Interior el número de organismos bentónicos por área es menor que en la Bahía Exterior y más aún en las zonas de orillas cercanas a desembocaduras de aguas negras, de igual manera la riqueza de taxones es mucho mayor en la Bahía Exterior que en la Bahía Interior. Finalmente subsisten tres grupos taxonómicos en las aguas de la Bahía Interna, Chironómidos, Sanguijuelas y Oligoquetos, exclusivamente en zonas a 6 m de profundidad (Northcote, *et al.*, 1991).

### **2.2.6 Eutrofización de la bahía interior de Puno.**

La bahía interior de Puno de unos 16.1 km<sup>2</sup> situado detrás de los promontorios de Chullune y Chimú. Aunque el estrecho entre estos es de casi 4 km de ancho, la mayor parte se encuentra bloqueada por extensos totorales (juncos) dejando, solamente abierto un angosto canal de más o menos de 300 m de ancho cerca de Chimú, que comunica con la bahía exterior de Puno este canal tiene una profundidad de 6-7 m, se extiende hacia Puno por unos 4 km aproximadamente antes de abrirse en una cubeta pequeña cuya profundidad máxima es algo más de 7 m (Northcote, 1991), así también la eutrofización es un estado de tensión que, acelera los ciclos, determinando una desviación paralela en los cocientes entre pares de componentes relacionados y, por otra parte, evacúa una fracción del N y del O<sub>2</sub> hacia la atmósfera y del Carbono orgánico y del P hacia el sedimento. El ecosistema se desvía de su situación inicial menos de lo previsible, gracias a la operación de varios mecanismos de regulación (Margalef, 1977).

La fauna béntica del lago Titicaca ha reaccionado igualmente a la fuerte eutrofización local de la bahía interior de Puno y a los efluentes mineros del lago principal. En el primer caso, varias evidencias demuestran que la eutrofización de la bahía interior de Puno se encuentra ya bastante avanzada y llega ya a un fuerte nivel de stress ambiental (Morales, *et al.*, 1989). Por otra parte la eutrofización sucede cuando las tasas de entrada de P y N como de otros nutrientes, con menores demandas, son relativamente altas, aumentando con ellas las interacciones cíclicas de regeneración de nutrientes

inorgánicos y compuestos orgánicos. Para calificar el estado trófico de un lago (Wetzel, 1981).

### **2.2.7 Oxígeno en los lagos.**

Durante la estratificación, el metabolismo natural del lago, sin la adición de materia orgánica exterior, consume oxígeno del hipolimnion. El  $O_2$  es el parámetro más importante de los lagos, aparte del agua misma el  $O_2$  disuelto es esencial para el metabolismo de los microorganismos acuáticos que presentan una respiración de tipo aerobio, atendiendo al volumen, al aire contiene aproximadamente un 20,95 % de  $O_2$  siendo el resto N y la cantidad de  $O_2$  del aire que se disuelve en agua es aproximadamente un 35 % y el resto está compuesto por N, la difusión de los gases en el agua es un proceso muy lento (Margalef, 1983), así mismo la cantidad de oxígeno que el agua puede contener en solución disminuye con el aumento de la temperatura, que es, por supuesto, desventajosa para los organismos debido a la tasa metabólica, y por lo tanto la demanda de  $O_2$  aumenta con aumentar la temperatura (Brönmark y Hanson 2005).

### **2.2.8 Temperatura en lagos.**

En lagos grandes de relativamente escasa profundidad o con muchas islas, la estratificación de las temperaturas es más transitoria estableciendo una termoclina a principios de verano y se desordena por la acción de fuertes vientos, debido a esta acción por el viento produce la renovación de los nutrientes de las aguas superficiales en forma irregular a lo largo del verano. Lo que provoca incrementos irregulares en la producción de fitoplancton (Margalef, 1983). Los cambios de temperatura ejercen ciertas acciones indirectas, alterando las propiedades físicas del agua, especialmente la densidad, la viscosidad y la solubilidad de los gases, que a su vez influyen sobre la flotabilidad y la respiración del fitoplancton, (Landolt, 1987).

### **2.2.9 pH en los lagos.**

El pH es un parámetro que nos indica que tan ácida o básica (no ácida) es el agua, en función a la concentración del ión Hidrógeno ( $H^+$ ), y se mide en una escala que va del 0

al 14. Un pH 7.0 es considerado neutral. Valores menores de 7.0 son ácidos, y aquellos mayores de 7.0 son básicos. Valores menores de 4.0 o mayores de 11.0 son considerados letales para los peces y otros organismos acuáticos, sabiendo que la mayor parte de los organismos acuáticos prefieren un rango entre 6,5 y 8,5 de pH por fuera de estos rangos suele determinar la disminución en la diversidad, debido al estrés generado en los organismos no adaptados. El pH bajo también pueden hacer que sustancias tóxicas se movilicen o hagan disponibles para los animales (Northcote, 1991).

#### **2.2.10 Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores.**

El término “macroinvertebrados” es una abstracción artificial sin implicaciones taxonómicas. Los macroinvertebrados son los invertebrados de un tamaño relativamente grande (visibles al ojo humano), no muy inferiores de 0,5 mm pero habitualmente mayores de 3 mm. Comprenden principalmente artrópodos (insectos, arácnidos y crustáceos) y dentro de éstos dominan los insectos (en especial sus formas larvianas); también se encuentran Oligoquetos, Hirudíneos y Moluscos (y con menor frecuencia celentéreos, briozoos o platelmintos). Los macroinvertebrados son el grupo dominante en los ríos y también se encuentran en el litoral y fondos de lagos y humedales (Alba-Tercedor, 1988).

El más simple índice de contaminación es el aumento poblacional de organismos bentónicos, que se eleva en un proceso eutrófico, dentro de ciertos límites. Se ha utilizado a Quironómidos y Oligoquetos como organismos indicadores de contaminación, aunque no se conoce muy bien la tolerancia de éstos a diferentes niveles de contaminación (Medina, 1984). En el Lago Titicaca muchas de las especies son endémicas. Es así que Odum (1972), se refiere a un organismo indicador especie seleccionada por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros mientras que Zamora (1999), define a los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones en el medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones. De tal forma podemos también diagnosticar las características abióticas de un determinado ecosistema, con base de las características y el tipo de organismo y comunidades que presente el ecosistema; utilizándolos en este caso como bioindicadores.

### **2.2.11 Evaluación biológica.**

Es la determinación cualitativa o cuantitativa del estado actual, es decir, el grado o nivel de alteración o no, en relación con las características en condiciones naturales o normales de un cuerpo de agua, utilizando como parámetros de medición y análisis las características y propiedades de los organismos y comunidades para el cálculo de índices o el manejo de matrices, para tal fin (Zamora, 1999)

### **2.2.12 Calidad de agua.**

El termino calidad en general, se refiere al conjunto de características, cualidades, rasgos distintivos, nivel de excelencia, etc., que presentan los seres o cosas, las cuales permiten de alguna forma evaluar. Por eso en cuanto a agua nos referimos, evaluamos entonces sus características físicas, químicas y biológicas, estas últimas incluyen fauna y flora ambas en sus componentes micro y macro, sin embargo, en este caso el concepto se toma complejo y relativo, en el sentido que debe aclararse al hablar de una buena y una mala calidad del agua, el objetivo de la evaluación o la utilización final del recurso hídrico (Zamora, 1999)

La evaluación de la calidad del agua, a menudo es diagnosticada a través de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos (Roldán, 2003; Paredes, *et al.*, 2005), La red ambiental peruana afirma que en una situación hídrica favorable el 60% de la población rural no tiene acceso a agua potable y solo el 7% de toda la tierra productiva es regada (DESCO, 2009). Para el desarrollo adecuado de la población no solo es indispensable la cantidad de agua sino también la calidad, ya que la disponibilidad de esta influye sobre la salud, producción alimentaria o educación, entre otras (Giraldo, 2004).

### **2.2.13 Calidad ecológica.**

Está determinado por el nivel de estabilidad (homeostasis) del ecosistema en un momento determinado, en relación con su estado homeostático normal. Evalúa entonces, los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de los ecosistemas (Zamora, 1999). Así mismo Prat, *et al.*, 2012), desarrollaron la Metodología F.E.M., conjuntando una serie de protocolos e índices como el protocolo GUADALMED, el índice QBR o el índice IHF, para evaluar el estado ecológico de los ríos mediterráneos, resultando ser una herramienta muy útil para la valoración ecológica. En América del Sur,

en los últimos años se están adaptando todos estos índices y protocolos para las diferentes regiones desarrollando en los últimos años una gran cantidad de investigaciones que engloban la calidad ecológica de cursos fluviales superficiales (Álvarez-Mieles, *et al* 2013).

#### 2.2.14 Índice de diversidad.

La diversidad de la comunidad biológica está en función del número de taxones y de la abundancia proporcional del número de especies. La diversidad suele disminuir en ambientes alterados como resultado de la disminución del número de taxones y la diferente distribución de la abundancia (unos pocos taxones muy abundantes). Existen diferentes expresiones para medir la diversidad; una de las más utilizadas es el índice de (Shannon-Wiener 1963).

$$H' = \sum P_i * \ln P_i$$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  = número de individuos especie  $i$

$N$  = abundancia total

De esta forma, el índice contempla la cantidad de individuos presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la abundancia relativa de individuos de cada una de esas (abundancia)

Los rangos para este índice en cuanto a diversidad son:

- 0.0 - 1.5 : poca diversidad
- 1.6 - 3.0 : mediana diversidad
- 3.1-5.0 : alta diversidad

### 2.3 Marco Conceptual

**Eutrofización:** Concentración excesiva de materia orgánica que provoca un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes que cubren la superficie del agua y evita que la luz solar llegue a las capas inferiores (Auccahuas, 2015).

**Macroinvertebrados Bentónicos:** Organismos que habitan el sedimento y sobre otros sustratos sobre el fondo de los ecosistemas de agua dulce (García, 2016).

**Sedimentos:** Componentes importantes en el ambiente acuático, sin embargo son una fuente de contaminantes persistentes. Así como el almacén de los mismos, eliminándolos de la columna de agua.

**Muestreo ambiental:** Determinación puntual de parámetros fisicoquímicos y biológicos en tiempo y espacio determinado en un ecosistema (Cárdenas, 2010)

**Calidad biológica:** En un ecosistema acuático, está determinada por la dominancia de las poblaciones de organismos adaptados, característicos, o propios de la calidad de sus aguas, los cuales utilizamos como bioindicadores bien sea cualitativamente o cuantitativamente, según el índice que se aplique (Zamora, 1999).

**Bioindicación:** Independientemente de que se trate de un ecosistema lotico o uno lentico, el tipo de organismo y comunidades presentes en ellos, así sus adaptaciones al medio, están definidos por las características bióticas y en especial por los factores limitantes existentes en estos ecosistemas. En este sentido, la bioindicación no es otra cosa que la utilización de los organismos y comunidades como indicadores de las características abióticas de un determinado ecosistema (Zamora, 1999).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Zona de estudio

El estudio se realizó en el CITT - Chucuito, en donde se hizo el respectivo reconocimiento de la zona de estudio mediante prospección y muestreos preliminares; durante esta fase se determinó un transecto con tres puntos de muestreo en la zona en estudio, el primer punto en la orilla (cerca al embarcadero de la estación Muelle Barco del CITT - Chucuito), zona media (a 2 km contados a partir de la primera zona), zona lago afuera (a la altura de las instalaciones de jaulas flotantes).

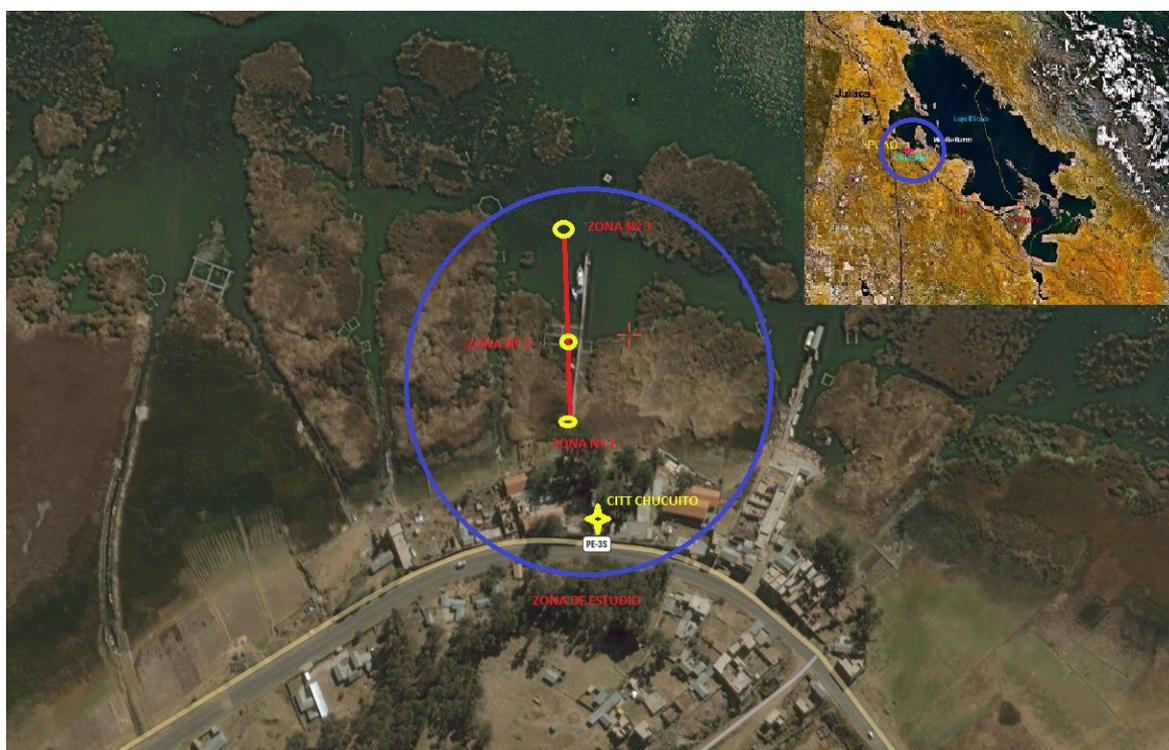


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, se observa las tres zonas de muestreo.

Las zonas de estudio estuvieron ubicadas en los siguientes puntos:

- ✓ **Zona 1 (a 2 m profundidad):** cerca al embarcadero de la estación Muelle Barco
- ✓ **Zona 2 (a 4 m profundidad):** a 2 km aproximadamente contados a partir de la primera zona
- ✓ **Zona 3 (a 8 m profundidad):** a la altura de las instalaciones de jaulas flotantes)

### 3.2 Tipo de estudio

La investigación es de tipo descriptivo, por haber realizado la toma de muestras de los macroinvertebrados bentónicos en tres zonas, donde se determinó la diversidad de MIB a diferentes profundidades (2 m, 4 m y 8 m), se evaluó parámetros fisicoquímicos.

### 3.3 Población y Muestra

Para el análisis de macroinvertebrados bentónicos como referentes de la calidad de aguas del lago Titicaca en el CITT Chucuito - Puno, se realizó la toma de muestra en tres zonas a diferentes profundidades (Z1 a 2 m; Z2 a 4 m y Z3 a 8 m de profundidad) se toma una muestra para determinar la diversidad de macroinvertebrados y otra para el análisis de parámetros fisicoquímicos haciendo un total de 6 muestreos durante el periodo de evaluación.

### 3.4 Metodología

#### 3.4.1. Determinación de la diversidad de los Macroinvertebrados bentónicos con el índice de diversidad de Shannon – Wiener en las aguas CITT Chucuito - Puno.

Las metodologías aplicadas para esta evaluación fueron descritas por (Alba – Tercedor, *et al* 2004). Para la obtención de muestras de macroinvertebrados bentónicos utilizamos la draga Ekman de 15 x 15 que equivale a 225 cm<sup>2</sup>.

#### a) Frecuencia y tiempo

Durante 6 horas de trabajo se realizó el primer muestreo en el mes de setiembre del 2016 el segundo muestreo en el mes de octubre y el tercero en el mes de noviembre del mismo año y durante 5 días posteriores a cada evaluación, se trabajó en el laboratorio y se realizó el reconocimiento y cuantificación de macroinvertebrados bentónicos.

#### b) Descripción detallada

- **Procedimiento de campo**

Primeramente, realizamos la caracterización y selección de las muestras en los meses de evaluación, tomando en cuenta la zona, el horario (10:30 am) el primer punto en la orilla a 2 m de profundidad (Z1-2 m), zona media (a 2 km contados a partir de la primera zona) a 4 m de profundidad (Z2- 4 m), zona lago afuera (a la altura de las instalaciones

de jaulas flotantes) a 8 m de profundidad (Z3-8 m). Las muestras fueron tomadas aleatoriamente a bordo de una lancha a motor.

Las evaluaciones fueron realizadas durante tres meses, se usó la draga Ekman (de 15 x 15 cm) para obtener muestras de zoobentos, una vez obtenida la muestra se vierte sobre una tina (lavador) y se lava lentamente dentro de la tina en el mismo cuerpo acuático hasta que quede libre de fango, arcilla, trozos de totora y solo queden los organismos.

Luego trasvasamos los organismos a un frasco de tapa rosca debidamente rotulado y fijado y estas muestras los llevamos al laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA – PUNO.

- **Procedimiento de laboratorio**

Vertimos el contenido de las muestras en un tamizador de 500  $\mu\text{m}$  de diámetro de malla y aclaramos con abundante agua para eliminar los restos de conservantes, realizamos esta maniobra en un lugar ventilado o usando una mascarilla, luego homogeneizamos la muestra en la bandeja y repartimos la muestra entre diferentes bandejas y/o placas de Petri, anotamos la información más importante en la hoja de recuentos, se hizo la identificación de las familias esto fue posible utilizando claves taxonómicas de (Needham, 1972)

Es recomendable realizar este procedimiento en gabinete cuando el tiempo de evaluación es corto para contar los individuos.

En la investigación se determinó el índice de diversidad de especies presentes en las tres zonas de estudio con el Índice de Shannon – Wiener

#### Índice de diversidad de Shannon – Wiener

$$H' = \sum P_i * \ln P_i$$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  = número de individuos especie  $i$

$N$  = abundancia total

### **3.4.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos en relación a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de aguas del CITT Chucuito Puno.**

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos se utilizó un equipo portátil medidor multi parámetro marca YSI, modelo 8510. Las muestras de Macroinvertebrados bentónicos se colectaron entre las 9:00 hrs. A 13:00 hrs del día, mensualmente durante el periodo de setiembre a noviembre del 2016

#### **a) Frecuencia y tiempo**

Durante 6 horas de trabajo se realizó el primer muestreo en el mes de setiembre del 2016 el segundo muestreo en el mes de octubre y el tercero en el mes de noviembre del mismo año.

#### **b) Descripción detallada**

- **Procedimiento en campo**

La metodología para evaluar los parámetros fisicoquímicos en el trabajo de investigación, es la que promueve la Global Water Watch (GWW), Para el monitoreo fisicoquímico, en cada estación se midió in situ las características fisicoquímicas: Temperatura del agua, pH, O.D. y transparencia.

Estos parámetros se determinaron mediante un equipo portátil medidor multi parámetro marca YSI, modelo 8510.

El pH se midió utilizando un potenciómetro de la marca Hanna, la transparencia del agua se determinó mediante el disco de Secchi de 23 cm de diámetro y la profundidad se midió utilizando una vara graduada.

#### **c) Método Estadístico**

Los datos de campo fueron analizados con la prueba estadística paramétrica conocida como Análisis de Varianza (ANDEVA), con nivel de significancia de error al 0,05 esta prueba sirve para determinar diferencias entre los meses evaluados así mismo se utilizó método de cajas para demostrar gráficamente las diferencias,

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Determinación de los macroinvertebrados bentónicos como referentes de la calidad de aguas del Lago Titicaca en el CITT Chucuito – Puno.

Los macroinvertebrados bentónicos registrados para el estudio ejecutado entre los meses de setiembre, octubre y noviembre del 2016; están representado por las siguientes especies: Gasteropodos (*Littoridina berryi*, *Littoridina andecola*, *Taphius montanus*, *Anisancylus crequii*); Pelecypodos (*Pisidium* sp.); Amphypodos (*Hyaella* spp.); Poríferos (*Balliviaspongia wirrmanni*) y *Helobdella titicacencis* (Hirudineo) se analizaron las tres zonas a profundidades de 2, 4 y 8 m se halló un total de 18071 organismos durante toda la evaluación (tabla 1).

**Tabla 1.** Registro de los macroinvertebrados bentónicos totales de las aguas del CITT Chucuito - Puno por zonas de muestreo (setiembre – noviembre 2016).

MACRO INVERTEBRADOS BENTONICOS	ZONAS MUESTREADAS							
	Z1-2 m		Z2-4 m		Z3 -8 m		TOTAL	
	Ind	%	Ind	%	Ind	%	Ind.	%
<i>Littoridina berryi</i>	2805	19,48	365	16,32	7	0,49	3177	13,58
<i>Littoridina andecola</i>	7316	50,81	868	38,80	1039	72,45	9223	39,42
<i>Taphius montanus</i>	1772	12,31	361	16,14	234	16,32	2367	10,12
<i>Anisancylus crequii</i>	548	3,81	38	1,70	4	0,28	590	2,52
<i>Pisidium</i> sp.	1539	10,69	365	16,32	49	3,42	1953	8,35
<i>Hyaella</i> spp.	80	0,56	49	2,19	27	1,88	156	0,67
<i>Balliviaspongia wirrmanni</i> .	266	1,85	138	6,17	74	5,16	478	2,04
<i>Helobdella titicacencis</i>	74	0,51	53	2,37	0	0,00	127	23,31
<b>TOTAL</b>	<b>14400</b>	<b>100</b>	<b>2237</b>	<b>100</b>	<b>1434</b>	<b>100</b>	<b>18071</b>	<b>100</b>

En la evaluación de macroinvertebrados bentónicos se registró un total de 18071 organismos en todo el periodo de estudio en las 3 zonas de muestreo a profundidades de 2, 4 y 8 m, evidenciando que la (Z1 a 2 m) es la más diversa representada por 14400

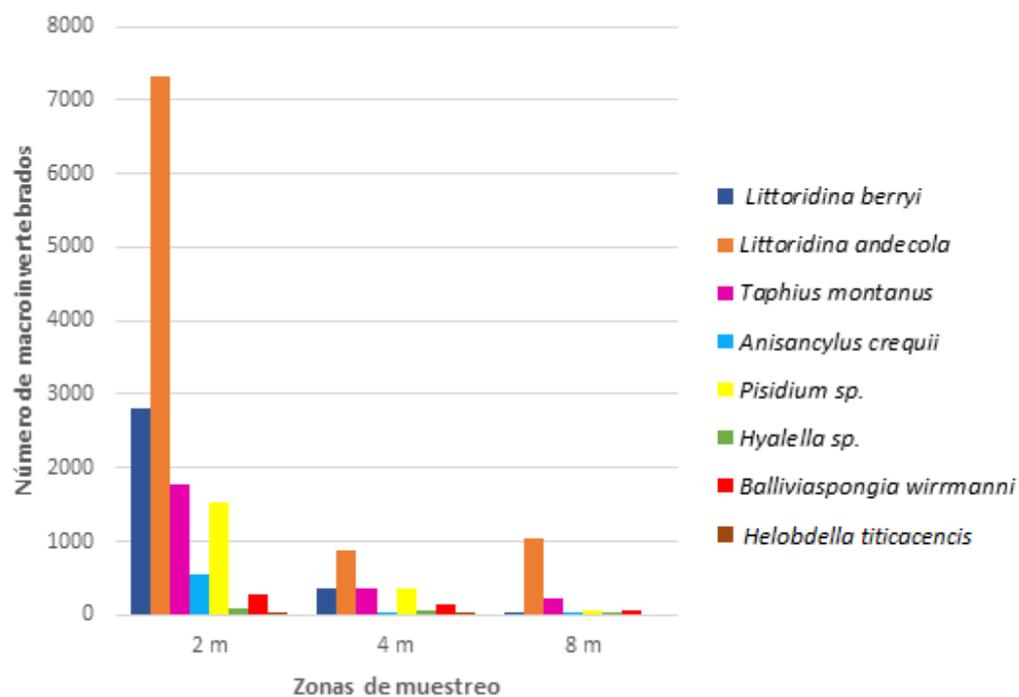
organismos, seguida por la (Z2 a 4 m) con 2237 organismos y la (Z3 a 8 m) con 1434 individuos siendo esta última la más poco diversa.

Los resultados son corroborados por Northcote, *et al.*, (1991), en el estudio realizado en la bahía interior y bahía exterior del lago Titicaca Puno, de enero a diciembre de 1982, indican que la presencia de macroinvertebrados fue más abundante en la bahía exterior y menos en la bahía interior de Puno, ya que solo registró individuos pertenecientes a cuatro familias; Oligoquetos, Hirudineos, Amphypodos y Chironomidos, Cabe mencionar que dicho estudio no se realizó tomando en cuenta profundidad de muestreo.

Los resultados son contrastados por Medina (1984), quien señala que la variedad de las orígenes zoobénticas en la zona litoral de Ojherani tiene las cifras totales de zoobentos en la estación de otoño con 11,746 individuos un valor total por debajo de los resultados obtenidos en nuestra evaluación esto puede deberse a que nuestro estudio fue realizado en otro ámbito y época del año.

#### **4.1.1. Macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT – Chucuito por especie y zona de muestreo (setiembre- noviembre 2016).**

De las tres zonas muestreadas en las aguas del CITT Chucuito – Puno, la distribución de las especies encontradas varía de acuerdo a la zona de muestreo (2 m, 4 m y 8 m). Demostrándose de acuerdo a los datos obtenidos y tabulados que a la profundidad de 2 m existe un mayor número de organismos encontrados, siendo la especie dominante *Littoridina andecola* con 7316 individuos y el menos dominante *Helobdella titicacencis* con 74 individuos, en relación a los encontrados a 4 m, la especie dominante es *Littoridina andecola* con 868 individuos y el de menor dominio lo obtuvo *Hyaella* spp. con 49 individuos, de los encontrados a 8 m *Littoridina andecola* con 1,039 individuos y el de menor dominio *Anisancylus crequii* con un total de 4 individuos presentándose ausencia de *Helobdella titicacencis* a esta profundidad de muestreo (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT - Chucuito por especie y zona de muestreo (setiembre - noviembre 2016).

Los resultados obtenidos son corroborados por Northcote (1991), quien afirma que los moluscos y otros grupos de invertebrados, se hallaron constantemente a todas las profundidades muestreadas en la bahía exterior pero nunca en la bahía interior, pero si se encontraron conchas vacías de gasterópodos, lo que indica que alguna vez ocuparon este hábitat de la bahía interior

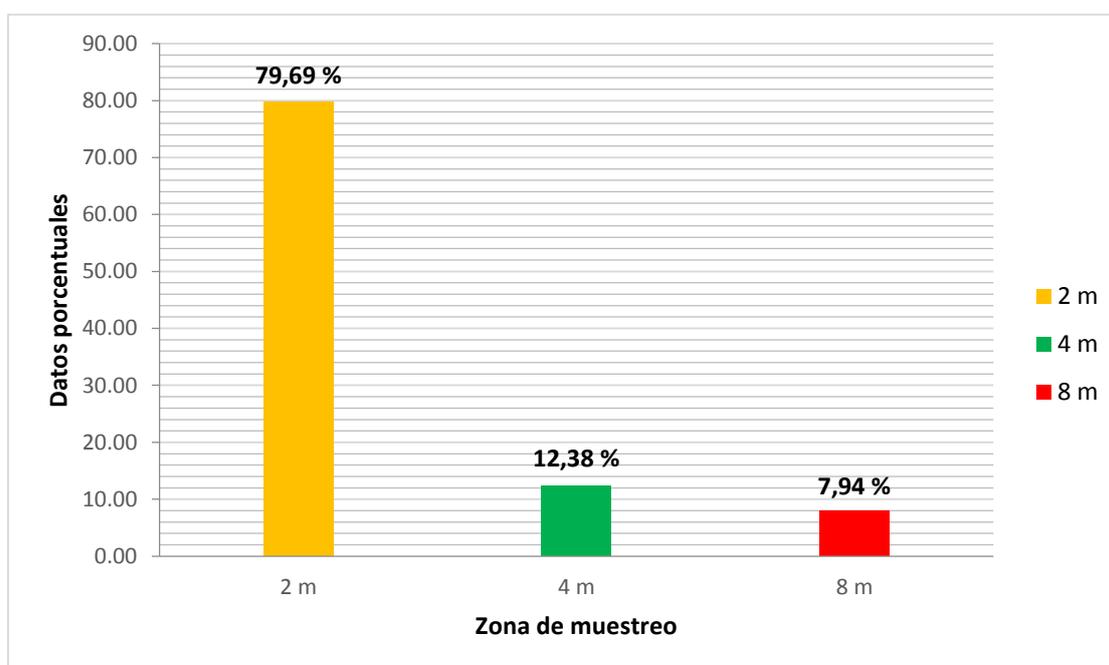
Así mismo Salamanca (2013), registró 3,600 individuos y con 2 familias Hyalellidae e Hirudinae, donde nunca registro Chironomidae y Tubificidae, sin embargo, en nuestra investigación hubo la presencia de individuos pertenecientes a ambas familias, se puede deducir que en dicha zona está ocurriendo una alteración ligera

Considerando nuestros resultados obtenidos con los trabajos realizados por (Bomada, *et al.*, (2002) y Hawkes (1979), quienes afirman que los macroinvertebrados bentónicos constituyen la fauna más recomendable para verificar la calidad de los cuerpos de agua a través de su evaluación, en razón a que estos se encuentran en todo cuerpo de agua y esto favorece los estudios comparativos, su estilo de vida sedimentaria, permite un

análisis espacial de los efectos que ocasiona en la calidad del cuerpo de agua, ya que están bien estudiados desde el punto de vista de su clasificación.

#### 4.1.2. Macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT - Chucuito en porcentaje (%) a diferentes niveles de profundidad (setiembre- noviembre 2016).

De acuerdo a la profundidad de muestreo se ve una clara diferencia que tiende a disminuir la diversidad y abundancia racionalmente hay una disminución de organismos al aumentar la profundidad. La mayor abundancia de organismos se presentó con 79.69 % a 2 m de profundidad seguida por un 12.38 % a 4 m de profundidad y 7.94 % a 8 m de profundidad. (Figura 3).

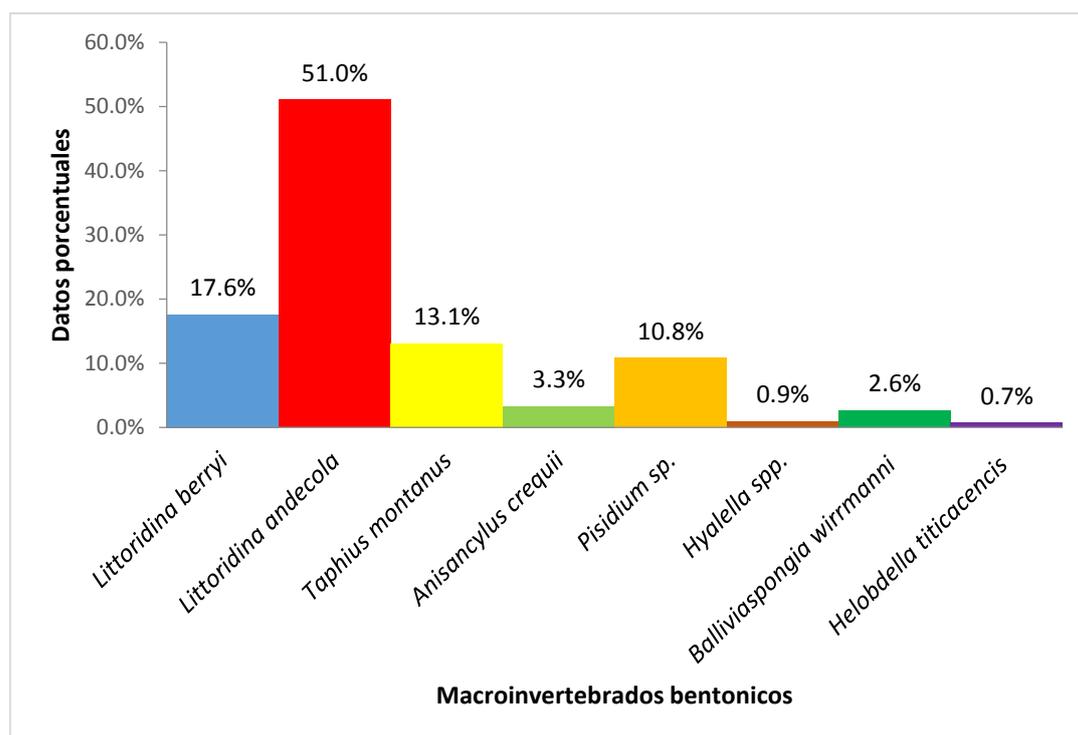


**Figura 3.** Distribución de Macroinvertebrados bentónicos totales por zona de muestreo de las aguas del CITT - Chucuito en porcentaje (%) (setiembre - noviembre 2016)

Al respecto Northcote (1991), señala que la densidad máxima del zoobentos en la bahía exterior se presentó a las profundidades de 2 y 4 m y a la profundidad de 6 m no se observa abundancia zoobéntica en los espacios muestreados en la Bahía interior de Puno.

#### 4.1.3. Macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT – Chucuito con predominancia de especies durante el periodo de evaluación (setiembre - noviembre 2016).

La especie más abundante y dominante en nuestros registros durante el periodo de evaluación fue *Littoridina andecola* con un total de 51.0 % (9223) individuos y seguida por seguida por *Littoridina berryi* con un total de 17.6 % (3177) individuos; consecuentemente la especie *Taphius montanus* tuvo un valor del 13.1 % (2367) individuos en total; la especie *Pisidium* sp. registró 10.8 % (1953) individuos en total seguida por la especie *Anisancylus crequii* con un 3.3 % (590) individuos; la especie de *Balliviaspongia wirrmanni* con un 2.6 % (478) individuos, escasamente *Hyalella* spp. con un 0.9 % (156) individuos y *Helobdella titicacensis* con el 0.7 % (127) individuos con menos del 1% para ambas especies. (Figura 4).



**Figura 4.** Distribución de Macroinvertebrados bentónicos de las aguas del CITT – Chucuito con predominancia de especies durante el periodo de evaluación (setiembre- noviembre 2016).

En el estudio de la Bahía interior y exterior del lago Titicaca se registró un total de 16 taxones diferentes en la comunidad zoobéntica de la bahía de Puno. Doce se hallaron en las transectas de la bahía exterior y solo cuatro en las de la bahía interior. Los

Oligoquetos, Hirudineos, Amphipodos y Quironomidos se encontraban en las transectas muestreadas en la bahía interior de Puno (Northcote, 1991). Lo que es contrastado por nuestro estudio ya que solo se encontraron cinco taxones esto se debe al paso de los años y el incremento de la contaminación.

#### 4.1.4. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener de macroinvertebrados bentónicos en las aguas del CITT Chucuito – Puno por zona y profundidad de muestreo 2016

Mediante el índice de diversidad de Shannon - Wiener se determinó la diversidad y abundancia de especies de macroinvertebrados bentónicos, donde se obtuvo, para la primera zona de muestreo (Z1 – 2 m ) un índice de 1.37 para la segunda zona (Z2-4 m) un índice de 1.66 y para la tercera zona (Z3-8 m) se obtuvo 0.91 todas las estaciones muestran poca diversidad, ya que los valores de 0 – 2.0 son interpretados como “poco diversos” (Tabla 2).

**Tabla 2.** Índice de Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en las aguas del CITT Chucuito – Puno por zona de muestreo 2016.

ÍNDICE	Zona de muestreo		
	(Z1-2 m)	(Z2-4 m)	(Z3-8 m)
Índice de diversidad de Shannon - Wiener	1.37	1.66	0.91

El nivel de profundidad de 4 m se encuentra en la mediana diversidad, que numéricamente es superior a los dos niveles de profundidad de 2 m y 8 m. Esto nos permite deducir también que a mayor profundidad del agua por factores externos hay menor densidad y número de macroinvertebrados bentónicos, tal como lo menciona (Zamora, 1998), valores de 0 – 2.0 son típicamente interpretados como “poco diverso”.

De igual forma Salamanca (2013), registró poca diversidad en nueve estaciones estudiadas en la bahía interior de Puno; el cual se determinaría que se encuentra altamente eutrofizado por las fuertes descargas de materia orgánica a la bahía interior de Puno.

Norcothe, (1991), en su estudio indica que los principales taxones bentónicos mostraron marcadas diferencias en la abundancia relativa, dependiendo de la época y la profundidad en la bahía interior de Puno.

#### **4.2 Análisis de los parámetros Físicoquímicos en relación a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de aguas del Centro de Investigación y Tratamiento Tecnológico Chucuito – Puno.**

Los parámetros fisicoquímicos del agua que analizaremos son: Temperatura del agua (°C), pH (unidades de pH), transparencia (m) y O.D. (mg/l).

Los parámetros fisicoquímicos son aquellos donde los organismos son más sensibles estos son a menudo el pH, la conductividad eléctrica, el O. D. y la temperatura. Álvarez y Pérez, (2007).

##### **a. Análisis de temperatura de Agua.**

La temperatura es un parámetro que afecta a las propiedades físicas y químicas del agua y tiene gran influencia sobre los organismos acuáticos, ejerciendo gran influencia en sus hábitos alimenticios, reproductivos, su tasa metabólica y causal del estrés térmico. Temperatura por arriba de 32 °C pueden ser letales para muchos organismos acuáticos. Así mismo la es uno de los factores que determinan la cantidad de O<sub>2</sub> que el agua puede mantener en disolución, también afecta la velocidad de reciclado de los nutrientes en un sistema acuático.

En el caso de temperatura de agua encontramos diferencias en los meses de evaluación, debido a que los promedios son diferentes en un punto, lo que indica que no es tan marcada la diferencia entre las estaciones de evaluación, por lo que estaría entre los rangos normales con un promedio de temperatura de 13°C con una temperatura máxima de 14,5°C registrada en los meses de setiembre y octubre; además se observa una temperatura mínima de 11,6°C registrada en el mes de noviembre, la temperatura disminuye de acuerdo a los meses de evaluación, el coeficiente de variación que indica mayor homogeneidad es en cuando el nivel de profundidad es de 8 m y en los meses de evaluación las temperaturas son altas, respecto a las profundidades de 2 y 4 m (Tabla 3).

**Tabla 3.** Datos de la temperatura del agua (°C) tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

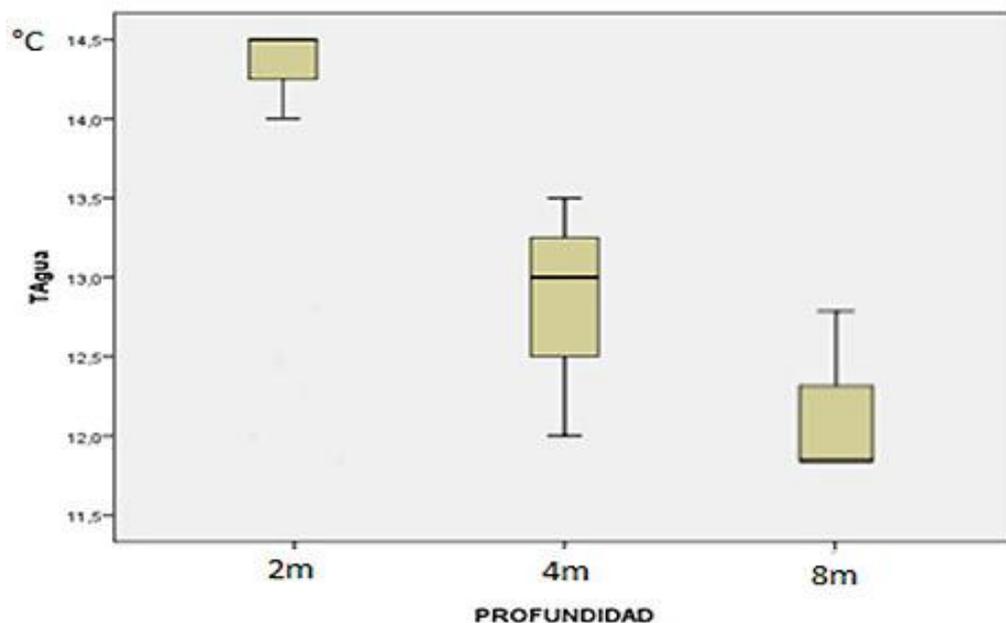
Temperatura del agua C °						
Zona de muestreo	Setiembre	Octubre	Noviembre	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
Z1- 2m	14.5	14.5	14	14	0.29	2.01
Z2- 4m	13.5	12	13	13	0.76	5.95
Z3- 8m	12.6	11.8	11.6	12	0.53	4.41
<b>Promedio</b>	13.5	12.8	12.9	13.0	0.42	2.01

La temperatura del agua de acuerdo a las profundidades tomadas como muestreo entre los meses de setiembre a noviembre debido a que el valor de la “F calculada es 13,595, siendo esta superior a la “F” tabulada 4,07 con 2 y 8 grados de libertad, con un valor de probabilidad de error de  $p = 0,006$ , siendo esta menor al valor de  $P = 0,05$ , a un nivel de 95% de confianza, la que se evidencia en la (Tabla 04).

**Tabla 4.** Análisis de la varianza de la temperatura del agua (°C) en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

	SC	GL	CM	F	Sig.
<b>Zona de muestreo</b>	7,976	2	3,988	13,595	,006
<b>Error</b>	1,760	6	,293		
<b>Total</b>	9,736	8			

El contraste grafico (Figura 5) indica que, a 2 m de profundidad, se muestra la diferencia de temperatura de agua más alta en comparación a los otros niveles de profundidad de evaluación, se evidencia que en promedio la temperatura de agua disminuye, debido a la época de lluvia.



**Figura 5.** Análisis de contraste grafico de la temperatura del agua tomados en la zona de muestreo durante los meses de evaluación, 2016.

Los resultados obtenidos son corroborados por (Carmouze, *et al.*, 1983). En donde indica que las temperaturas medias mensuales de superficie medidas en Lago mayor entre 1977 y 1979 varían entre 11,25 y 14,35 °C, la más baja siendo en agosto y la más elevada en marzo.

Desde 1973 hasta 1982 el promedio mensual de insolación en Puno variaba anualmente entre 150 y 250 vatios/m<sup>2</sup> con mínimos a mediados del año y máximas a finales (Richerson, *et al* 1986)

#### **b. Análisis del pH**

Los pH son en promedio similares. En el Perú según los estándares de Calidad Ambiental para agua (DS. 004-2017 MINAM), el rango óptimo de pH para la conservación del ambiente acuático en ríos, lagos y lagunas es de 6.5 a 9.0.

Los resultados de los datos del pH del agua, tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación., donde se evidencia clara diferencia en los niveles de

profundidad, debido a que los promedios son diferentes, existe diferencia en los niveles de profundidad de 2 m y 4 m, el promedio del pH del agua es de 8,9, el máximo valor de pH del agua es de 9.5 en los meses de octubre y noviembre con el nivel de profundidad de 2 m; el mínimo de pH del agua es de 8,0 registrada en el mes de octubre con el nivel de profundidad de 4 m, (Tabla 5).

**Tabla 5.** Datos del pH del agua, tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

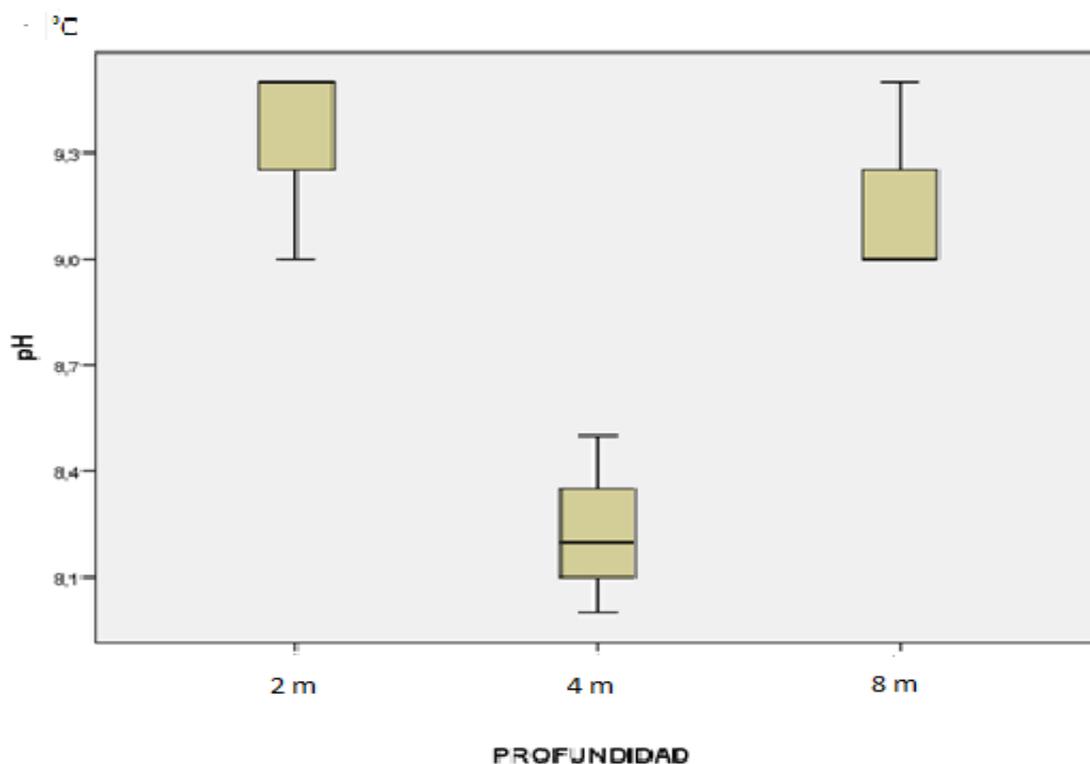
pH del agua						
Zona de muestreo	Setiembre	Octubre	Noviembre	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
Z1- 2m	9	9.5	9.5	9.3	0.29	0.12
Z2- 4m	8.5	8	8.2	8.2	0.25	0.12
Z3- 8m	9	9	9	9	0.00	0.00
Promedio	8.8	8.8	8.9	8.9	0.06	0.06

Los resultados de Análisis de la Varianza del pH (unidades de pH) de las aguas del CIPP Chucuito - Puno setiembre – noviembre, 2016. Indican que existe diferencias en el nivel de O.D. de acuerdo a las profundidades tomadas como muestreo entre los meses de setiembre a noviembre debido a que el valor de la “F calculada es 13,754, siendo esta superior a la “F” tabulada 4,07 con 2 y 8 grados de libertad, con un valor de probabilidad de error de  $p = 0,006$ , siendo esta menor al valor de  $P = 0,05$ , a un nivel de 95% de confianza (Tabla 6).

**Tabla 6.** Análisis de la Varianza del pH de las aguas en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

	SC	GL	CM	F	Sig.
Zona de muestreo	2,109	2	1,054	13,754	,006
Error	,460	6	,077		
Total	2,569	8			

El contraste gráfico nos muestra que en el nivel de profundidad a 4 m se registró el nivel más bajo del pH del agua, en comparación a los otros niveles de profundidad de evaluación 2 m y 8 m (Figura 6).



**Figura 6.** Análisis de contraste gráfico del PH del agua tomados en la zona de muestreo durante los meses de evaluación, 2016.

En la evaluación, se evidencia que los niveles totales del pH del agua en los tres meses se encuentran dentro de estándares de calidad y esto se debe inminentemente relacionado a la estacionalidad.

Los pH son en promedio similares. En el Perú según los estándares de Calidad Ambiental para agua (DS.004-2017-MINAM), el rango óptimo de pH para la conservación de ambientes acuáticos en ríos, lagos y lagunas es de 6.5 a 9.0.

Vallenas, *et al* (2017), en el estudio de medición de parámetros físico-químicos en la bahía interior del lago Titicaca Puno obtuvieron como resultados 7,8 como mínimo y 9,5 como máximo y un promedio de 8,9.

El pH es un parámetro que nos indica que tan ácida o básica (no ácida) es el agua, en función a la concentración del ión Hidrógeno (H<sup>+</sup>), y se mide en una escala que va del 0 al 14. Un pH 7.0 es considerado neutral. Valores menores de 7.0 son ácidos, y aquellos mayores de 7.0 son básicos. Valores menores de 4.0 o mayores de 11.0 son considerados letales para los peces y otros organismos acuáticos, sabiendo que la mayor parte de los organismos acuáticos prefieren un rango entre 6,5 y 8,5 de pH por fuera de estos rangos suele determinar la disminución en la diversidad, debido al estrés generado en los organismos no adaptados. El pH bajo también pueden hacer que sustancias tóxicas se movilizan o hagan disponibles para los animales (Northcote, 1991).

### c. Análisis de la transparencia

Al propagarse en un medio acuoso, la luz se extingue por fenómenos de absorción y dispersión. Ya el agua pura interacciona con la luz y contribuye a su extinción, pero si consideramos además las sustancias que se encuentren disueltas y las partículas en suspensión, podemos imaginarnos que los sistemas acuáticos presentaran una zona iluminada en su superficie, tornándose cada vez más oscura en función del aumento de la profundidad, el color y turbidez del agua.

Los resultados de los datos de la transparencia del agua (m), tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación, donde se obtuvo un promedio de 2.67 m con valores entre 1 m (Z1 a 2 m de profundidad) y 4 m (Z2 a 4 m de profundidad), se evidencia, que los niveles de transparencia son iguales en los niveles de profundidad y los meses de evaluación (Tabla 7).

**Tabla 7.** Datos de la Transparencia del agua (m) tomados en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

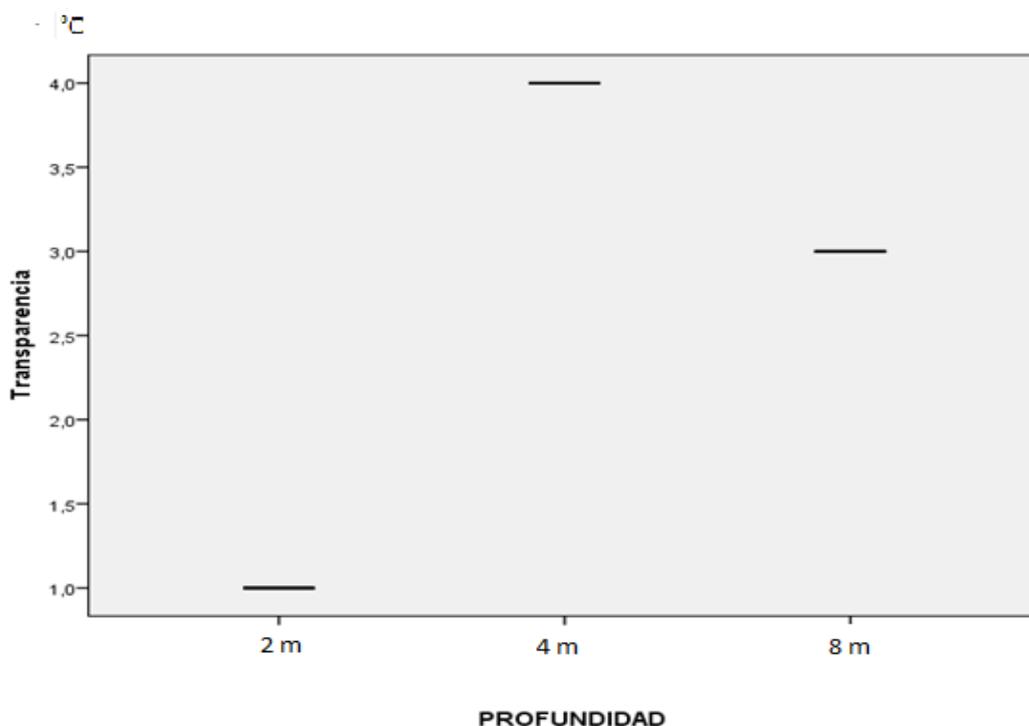
Transparencia del agua						
Zona de muestreo	Setiembre	Octubre	Noviembre	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
Z1- 2m	1	1	1	1	0.00	0.00
Z2- 4m	4	4	4	4	0.00	0.00
Z3- 8m	3	3	3	3	0.00	0.00
Promedio	1	1	1	1	0.00	0.00

Los resultados del Análisis de la varianza de la transparencia (m) de las aguas del CITT Chucuito – Puno, indican que no existen diferencias al mantenerse constantes los valores en los meses evaluación y en los niveles de profundidad del agua (Tabla 8).

**Tabla 8.** Análisis de la varianza de la transparencia (m) en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

	SC	GL	CM	F	Sig.
Zona de muestreo	14,000	2	7,000	.	.
Error	,000	6	,000		
Total	14,000	8			

En el Análisis de contraste grafico de transparencia entre los meses de evaluación, 2016, no presentan diferencias debido a que son constantes los valores, en cada mes de evaluación y en los niveles de profundidad del agua. (Figura 7)



**Figura 7.** Análisis de contraste gráfico de la transparencia del agua tomados en zonas de muestreo durante los meses de evaluación, 2016.

Se evidencia, que los niveles de transparencia son constantes en los niveles de profundidad y los meses de evaluación, se observó que la Zona 1 (2 m profundidad) es una zona fangosa y con presencia de residuos sólidos, la zona 2 (4 m profundidad) es una zona de totorales y el agua se presenta más limpia y transparente, la zona 3 (8 m profundidad) es zona de jaulas de criadero de truchas en donde por el mismo movimiento de esta actividad el agua se presenta menos transparente que la zona anterior lo que es contrastado por (Lazzaro, 1981 e Iltis.,1987), donde indican que en el lago menor, los valores extremos observados fueron 1,2 y 9 m con transparencias más débiles en Verano - Otoño y más fuertes en Invierno.

Según Beltran, *et al* (2011), en el estudio de calidad de agua de la bahía interior de Puno durante la estación de verano la transparencia superficial del agua en ese periodo fue en promedio de 1.43 m (variando desde 0.37 m hasta 2.5 m). Cabe resaltar que los valores totales obtenidos en nuestro estudio fueron mayores sin embargo puede variar debido a la metodología, horario de muestreo y profundidad del muestreo.

Generalmente las aguas con un alto contenido de partículas en suspensión poseen un color café si estas son limos y barros; en cambio sí es verde, es de origen fitoplanctónico. Una mayor turbidez del agua impedirá que los rayos solares penetren y mantengan una saludable población de fitoplancton (Wetzel, 1981).

#### **d. Análisis del oxígeno disuelto**

El oxígeno es un elemento esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Además, el oxígeno disuelto es importante en los procesos de fotosíntesis, oxidación -reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica.

Los resultados respecto al Análisis del oxígeno disuelto de las aguas del CITT Chucuito - Puno setiembre – noviembre, 2016, se evidencia clara diferencia en los niveles de profundidad, debido a que los promedios son diferentes, existe diferencia en niveles de profundidad de 2 m a 4 m en 2,7 puntos, el promedio de oxígeno disuelto es de 9,1 el

máximo análisis de oxígeno disuelto se da en el mes de noviembre con el nivel de profundidad de 2 m, ocurriendo lo mismo en el mes de octubre con el nivel de profundidad de 8 m; el mínimo de oxígeno disuelto es de 7,0 registrada en el mes de octubre con el nivel de profundidad de 4 m, se evidencia que los niveles de disolución en los tres meses están inminentemente relacionado a la estacionalidad. (Tabla 9)

**Tabla 9.** Análisis del oxígeno disuelto de las aguas del CITT Chucuito – Puno, setiembre – noviembre, 2016.

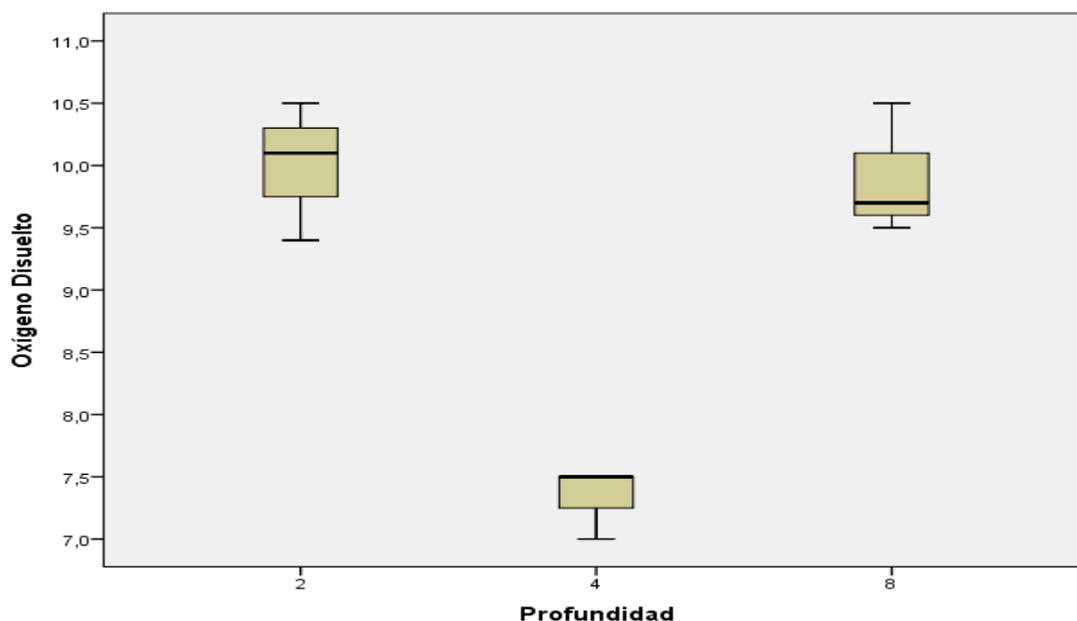
<b>Oxígeno disuelto</b>						
<b>Zona de muestreo</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de Variación</b>
<b>Z1- 2m</b>	10.1	9.4	10.5	10	0.56	0.06
<b>Z2- 4m</b>	7.5	7	7.5	7.3	0.29	0.04
<b>Z3- 8m</b>	9.7	10.5	9.5	9.9	0.53	0.05
<b>Promedio</b>	9.1	9	9.2	9.1	0.10	0.01

Los resultados de Análisis de la varianza del O. D. (mg/l) de las aguas del CITT Chucuito - Puno setiembre – noviembre, 2016. Indican que existe diferencias en el nivel de oxígeno disuelto de acuerdo a las profundidades tomadas como muestreo entre los meses de setiembre a noviembre debido a que el valor de la “F calculada es 38,316, siendo esta superior a la “F” tabulada 4,07 con 2 y 8 grados de libertad, con un valor de probabilidad de error de  $p = 0,000$ , siendo esta menor al valor de  $P = 0,05$ , a un nivel de 95% de confianza. (Tabla 10).

**Tabla 10.** Análisis de la varianza del Oxígeno Disuelto (mg/l) en las zonas de muestreo durante los meses de evaluación.

	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Zona de muestreo</b>	12,942	2	6,471	38,316	,000
<b>Error</b>	1,013	6	,169		
<b>Total</b>	13,956	8			

De acuerdo al contraste grafico en el nivel de profundidad a 4 m se registró el nivel más bajo de O. D. en el agua en comparación a los otros niveles de profundidad de evaluación (figura 8).



**Figura 8.** Análisis de contraste grafico del nivel de oxígeno disuelto entre los meses de evaluación, 2016.

Beltran, *et al* (2011), en el Estudio Calidad de agua de la bahía interior de Puno, encontraron que el promedio de la concentración de oxígeno disuelto en el agua fue de 6.62 mg/L, sin embargo, esto puede variar debido a la metodología utilizada o al horario de muestreo.

La cantidad de oxígeno que el agua puede contener en solución disminuye con el aumento de la temperatura, que es, desventajosa para los organismos debido a que la tasa metabólica, y por lo tanto la demanda de oxígeno aumenta con aumentar la temperatura (Brönmark y Hanson, 2005).

Los niveles de O. D. necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra. Periódicamente, fuertes sobresaturaciones y variaciones marcadas de cantidad de oxígeno disuelto ocurren cerca de la orilla de la Bahía Interior de Puno, lo que indica una fuerte actividad fotosintética en comparación con leves sobresaturaciones que pueden ocurrir ocasionalmente en la bahía exterior y el Lago Mayor (Richerson, *et al.*, 1975; 1977.-1986).

Los niveles de oxígeno disuelto necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra. Periódicamente, fuertes sobresaturaciones y variaciones marcadas de cantidad de oxígeno disuelto ocurren cerca de la orilla de la Bahía de Puno, lo que indica una fuerte actividad fotosintética en comparación con leves sobresaturaciones que pueden ocurrir ocasionalmente en la bahía exterior y el Lago Mayor (Richerson *et al.*, 1975, 1977.-1986).

## V. CONCLUSIONES

Los macroinvertebrados bentónicos varían en los puntos de muestreo, se registra un total de 18071 organismos en las 3 zonas de estudio evidenciando que la (Z1 a 2 m) es la más diversa representada por 14400 individuos, siendo las especies más representativas (*Littoridina berryi*, *Littoridina andecola*, *Taphius montanus*, *Anisancylus crequii*, *Pisidium* sp., *Hyaella* spp., *Balliviaspongia wirrmanni* y *Helobdella titicacencis*), seguida por la (Z2 a 4 m) con 2237 individuos y la (Z3 a 8 m) con 1434 individuos siendo esta última la más poco diversa. De acuerdo al índice de diversidad de Shannon – Wiener, las aguas del Centro de Investigación y Producción Pesquera Chucuito Puno, fueron “poco diversa” en los tres niveles de profundidad de 2 m, 4 m y 8 m, durante los meses de evaluación de setiembre, octubre y noviembre, porque los índices se encontraron entre los intervalos (de 0 a 2.0), numéricamente superior se encuentran en el nivel de profundidad de 4 m (1.66) y la inferior a 8 m (0.91).

Los parámetros fisicoquímicos como bioindicadores en la calidad de aguas del CITT Chucuito - Puno registraron: en la temperatura del agua se registró un promedio de 13° C, una máxima de 14.5°C en la Z3 a 8 m de profundidad y una mínima de 11.6°C en la Z3 a 8 m de profundidad. Localizamos valores altos de pH, en promedio 8.6 un mínimo de 8.0 y un máximo de 9.5, asumiendo los valores de la transparencia del agua un máximo de 4 m en la Z2 a 4 m de profundidad y un mínimo de 1 m en la Z1 a 2 m de profundidad. En definitiva, el O.D. registro un valor promedio de 9.0 mg/l se ha tenido un mínimo de 7.0 mg/l en la Z2 a 4 m de profundidad y un máximo de 10.5 mg/l en la Z3 a 8 m de profundidad.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios en cuanto a los macroinvertebrados bentónicos, ya sea su distribución, abundancia y caracterización en la Bahía Interior de Puno, puesto que no se cuenta con este tipo de información.
2. Realizar mayor investigación en cuanto a los parámetros fisicoquímicos de las aguas del Lago Titicaca y el impacto que viene teniendo la contaminación en todos sus afluentes.

## VII. REFERENCIAS

- Alba Tercedor, J.; P. alvarez; J. Aviles; Bonada; J. 2004. Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMNWP. Revista Limnetica 21(3 – 4): 175 -182.
- Álvarez-Mieles, G., K. Irvine, A.V. Griensven, M.Arias-Hidalgo, A. Torres y A.E. Mynett. "Relation ships between aquatic bioti ccommunities and water quality in a tropical river wetland system (Ecuador)". Environ mental science and policy, Vol. 34 (2013): 115-127.
- Álvarez, S. y Pérez, L. (2007). Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. (Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente). Universidad de Zamorano. Honduras.
- Auccahuas A., W. (2015). Calidad de agua y sedimentos en el rio Madre de Dios, Departamento de Madre de Dios, Perú 2015. Tesis para optar título de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 151 p
- Beltran, F.; Palomino, C.; Moreno, T. y Montesinos .2004. Calidad de aguas de la Bahía Interior de Puno, lago Titicaca durante el verano. Revista Peruana de Biología 22(3):335 – 340 (2015).
- Bonada,N.; Prat, N.; Munné, T.; Plans, M.; Solà, C.; Álvarez, M. *et al.* Inter calibración de la metodología Guadalmed. Selección de un protocolo de muestreo para la determinación del estado ecológico delos ríos mediterráneos. Limnetica, 21 (3-4) ,13-34.
- Bonada,N.; Prat, N.; Munné, A.; Rieradevall, M.; Alba-Tercedor, J.; *et al.* Ensayo de una tipología de las cuencas mediterráneas del proyecto guadalmed1 siguiendo las directrices de la DMA. Limnetica, 21(3-4) ,77-98.
- Bonada,N.;Prat, N.; Munné, A.; Rieradevall, M.; Alba-Tercedor, J.; Álvarez, M.; Avilés, *et al.* Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GUADALMED1. Limnetica, 21(3-4), 99-114.
- Brönmark C. & L.A Hanson. 2005. De biology of lakes and ponds. 2nd edition. Oxford University Press Inc., New York. UnitedStates: 285 pp.
- Cardenas C. M. (2010). Efecto de la contaminación Hidrocarburíferos sobre la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos provenientes del sedimento del entero salado, Tesis para optar el grado de Magister, Universidad de Guayaquil de la Republica del ecuador 106 p.

- Carmouz (J.P.), Aquize Jaen (E), Arze(C.), Quintanilla (J), 1993. - Lebilan energetique dulac Titicaca. Rev. Hidrobiol. Trop., 16(2):135 – 144
- Carrera, C Y Fierro, K.2001. Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Editorial Eco Ciencia. Quito-Ecuador. 67 pp.
- Comisión multisectorial para la prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca y sus afluentes D.S. N° 075-2013-pcm. Estado de la calidad ambiental de la cuenca del lago Titicaca ámbito peruano 2014. Peru Cap 1-1 pag. 162
- Constantini M.L., L. Savetta, G. Mancinelli & L. Rossi. 2004. Spatial variability of the decomposition rate of *Schoenoplectus* in a polluted area of lake Titicaca. Journal of Tropical Ecology 20:325335. <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467403001214>
- Cuminis. 2005. Elaboración de un plan de monitoreo para la salud de la biodiversidad en la Provincia de Oxapampa – Pasco. Datos para la Conservación – Universidad Nacional Agraria La Molina / Pro Naturaleza / The Nature Conservancy / USAID. Lima, Perú. 104 p.
- Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo (DESCO)/RAP (Red Ambiental Peruana). Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas: Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes. Lima (Perú), 2009.
- Dominguez, E. y Fernández, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Publicado por la Fundación Miguel Lillo. Tucumán. Argentina. 656 pp.
- Figueroa, R. Valdovinos, C., Araya, E y Parra, O., 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del Sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. Vol. 75 (275 – 28) pp.
- Figueroa, R. 1999. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de calidad de agua. Rio Damas, Osorno, X Región de los Lagos, Chile. Tesis para optar al Magister en Ciencias Mención en Zoología. 105 pp.
- Giraldo, B. Guía de promoción y desarrollo comunitario para asegurar la calidad del agua en los países en desarrollo. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima (Perú), 2004.
- Hawkes, H. 1979. Invertebrates as indicators of river quality. En. James, A. y Evison, L. Biological indicators of water quality. John Wiley y Sons. 2: 1-45.
- Ittis (A), 1997 – Datos sobre la temperatura, el pH, la conductibilidad eléctrica y transparencia de las aguas de superficie de lago Titicaca Boliviano (1985 -1986). UMSA – ORSTOM, LaPaz, informe 3:19 p., multigr.

- Jara, C. 2002. Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas retrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Memoria de título entregada a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, para optar al Título Profesional de Biología mención en Medio Ambiente. 30 pp.
- Landolt, 1987. Vol. 4 in Bio systemati investigations in the family of duck weeds (Lemnaceae). Geobotanischen Instutites der ETH, Stiftung Rubel, Zurich, 638 pp.
- Lazzaro, 1981. - Biomasses, people ments phytoplanc to niques et production primaire dulac Titicaca. Rev. Hydrobiol. Trop, 14:349 – 380.
- Margalef, H. 1983. Ecología, segunda edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona España. 951 pag.
- Margalef, R. 1977. Limnología, segunda edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona España. 1010 pag.
- Medina, A. 1984. "Determinación de macrozoobentos en la bahía de Puno (Ojerani), del Lago Titicaca" Facultad de Ciencias Biológicas Tesis para optar el título de Licenciado en Biología de la UNA – Puno. 78 pag.
- Needham J. "Guía para el estudio de seres vivos de aguas dulces " Edit. Reverté S.A. 1972.
- Northcote T. G., Morales P., Levy D.A. Y Greave M.S.1991. Contaminación en el Lago Titicaca, Perú: Capacitación, Investigación y Manejo. Northburn printer & Stationers Ltd., Vancouver, Canada. 276 pag.
- Ortega H., Rengifo B., Samanez I., & Palma C. 2007. Diversidad y el estado de conservación de cuerpos de agua Amazónicos en el Nororiente del Perú (Amazonas – Perú) Revista Peru Biología. Vol. 13 N° 3,189 – 193 pp.
- Paredes, C. 2005. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en el río Rímac, Lima, Perú. Laboratorio de Ecofisiología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Pineda D. 1997. Influencia de la eutrofización en la distribución espacial de ictiofauna en la bahía interior de Puno. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad Ciencias Biológicas Universidad Nacional del Altiplano Puno
- Prat, N. 1998. Bioindicadores de calidad de agua. Universidad de Antioquia, Medellín. 107 pp.

- Prat, 2001. Criterios de Evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los Macroinvertebrados Bentónicos. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. 16 pp.
- Prat, N., M. Rieradevall, y P. Fortuño. Metodología Evaluación microcuencas Gamarra F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos mediterráneos. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2012.
- PROYECTO BINACIONAL CATAMAYO CHIRA (2007). Valoración ecológica de los cuerpos de Agua de la subcuenca del río Quiroz. (Informe preliminar). Proyecto Binacional Catamayo Chira - Proyecto Twinlatin, Naturaleza y Cultura Internacional.
- Odum, 1969. Ecología, editorial Inter Americana S.A. – Mexico
- Richerson P., Widmer C., Kittel T. “The limnology of Lake Titicaca (Peru - Bolivia) Alarge high altitude tropical”. – Institute of Ecology Publication N° 14 de Julio 1975 UCD.
- Roldán, G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP - Col. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín (Colombia), 2003.
- Salamanca C. S. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno, Tesis para optar el grado de Lic. En Biología. Universidad Nacional del Altiplano Puno, 66 p.
- Tomanova, S. y Tedesco, P. 2007. Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) en America del Sur. Rev. Biol.Trop.55:67-81.
- USEPA(a). 2003.: Bioassessment and Biocriterio [en línea] <<http://www.epa.gov/waterscience/biocriteria/glossary.html>> [consulta: 16 de febrero del 2010].
- Vallenas G.; Duran, G.; Andrade, L.; 2017. Proyecto de investigación “Medición de parámetros físico-químicos en la bahía interior del lago Titicaca” – Puno 16 pp.
- Vazquez.; Castro.; Gonzales.; Perez y Castro, (2006) Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua, Revista contactos. Vol. 60 (41-48) pp.
- Wetzel, R. 1981. Limnología. Edición Omega S.A. Barcelona – España.
- Zamora M. C., 1999. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. Ainsa 13:17-28.

# ANEXOS

**Tabla 11.** Macroinvertebrados registrados en la zona 1 durante los meses de evaluación (setiembre - noviembre 2016).

<b>ZONA DE MUESTREO (Z1) a 2 m de profundidad, hora: 10.30 a.m.</b>			
<b>Especies encontradas</b>	<b>Muestra 1 SET</b>	<b>Muestra 2 OCT</b>	<b>Muestra 3 NOV</b>
Gasterópodos:			
1. <i>Littoridina berryi</i>	937	1035	833
2. <i>Littoridina andecola</i>	2593	2782	1941
3. <i>Taphius montanus</i>	541	520	711
4. <i>Anisancylus crequii</i>	205	15	328
Pelecypodos:			
1. <i>Pisidium</i> sp.	492	632	415
Anfipodos:			
1. <i>Hyaella</i> spp.	45	21	14
Poríferos:			
1. <i>Balliviaspongia wirrmanni</i>	172	85	9
Hirudíneo:			
1. <i>Helobdella titicacencis</i>	51	-.-	23

**Tabla 12.** Macroinvertebrados registrados en la Zona 2 durante los meses de evaluación (setiembre – noviembre 2016).

<b>ZONA DE MUESTREO (Z2) a 4 m de profundidad, hora: 10.30 a.m.</b>			
<b>Especies encontradas</b>	<b>Muestra 1 SET</b>	<b>Muestra 2 OCT</b>	<b>Muestra 3 NOV</b>
Gasterópodos:			
1. <i>Littoridina berryi</i>	107	126	132
2. <i>Littoridina andecola</i>	384	194	290
3. <i>Taphius montanus</i>	129	83	149
4. <i>Anisancylus crequii</i>	38		
Pelecypodos:			
1. <i>Pisidium</i> sp.	206	130	29
Anfipodos:			
1. <i>Hyaella</i> spp.	31	10	8
Poríferos:			
1. <i>Balliviaspongia wirrmanni</i>	66	18	54
Hirudíneo:			
1. <i>Helobdella titicacencis</i>	18	5	30

**Tabla 13.** Macroinvertebrados registrados en La Zona 3 durante los meses de evaluación (setiembre – noviembre 2016).

<b>ZONA DE MUESTREO (Z3) a 8 m de profundidad, hora: 10.30 a.m.</b>			
<b>Especies encontradas</b>	<b>Muestra Nº 1 SET</b>	<b>Muestra Nº 2 OCT</b>	<b>Muestra Nº 3 NOV</b>
Gasterópodos:			
1. <i>Littoridina berryi</i>	--	5	2
2. <i>Littoridina andecola</i>	227	527	285
3. <i>Taphius montanus</i>	96	64	74
4. <i>Anisancylus crequii</i>	--	3	1
Pelecypodos:			
1. <i>Pisidium</i> sp.	14	10	25
Anphypos:			
1. <i>Hyalella</i> spp.	18	5	4
Poríferos:			
1. <i>Balliviaspongia wirrmanni</i>	35	14	25
Otros: <i>Helobdella titicacencis</i>	--	--	--

**Tabla 14.** Parámetros Fisicoquímicos tomados durante los meses de valuación (setiembre – noviembre del 2016).

<b>ZONA DE MUESTREO</b>	<b>PARAMENTRO</b>	<b>SETIEMBRE (promedio total)</b>	<b>OCTUBRE (promedio total)</b>	<b>NOVIEMBRE (promedio total)</b>
Z1 ( a 2 m )	- T° del agua	12.6 °C	11.8 °C	11.6 °C
	- Oxígeno disuelto	10.1 mg/l	9.4 mg/l	10.5 mg/l
	- Transparencia	1 m	1 m	1 m
	- PHº	9.0	9.5	9.5
Z2 ( a 4 m )	- T° del agua	13.5 °C	12.0 °C	13.0 °C
	- Oxígeno disuelto	7.5mg/l	7.0 mg/l	7.2 mg/l
	- Transparencia	4 m	4 m	4 m
	- PHº	8.5	8.0	8.2
Z3 ( a 8 m )	- T° del agua	14.5 °C	14.5 °C	14.0 °C
	- Oxígeno disuelto	9.7 mg/l	10.5 mg/l	9.5 mg/l
	- Transparencia	3 m	3m	3m
	- PHº	9.0	9.0	9.5



**Figura 9.** Panel fotográfico (CITT. Chucuito – Puno 2016).



**Figura 10.** Draga Ekman



**Figura 11.** Recolección de macroinvertebrados utilizando con la Draga Ekman de 15 x 15 cm em el CITT Chucuito – Puno 2016



**Figura 12.** Macroinvertebrados bentónicos libre de fango, arcilla y trozos de totora

ESPÉCIES DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTADOS DURANTE LA EVALUACION.

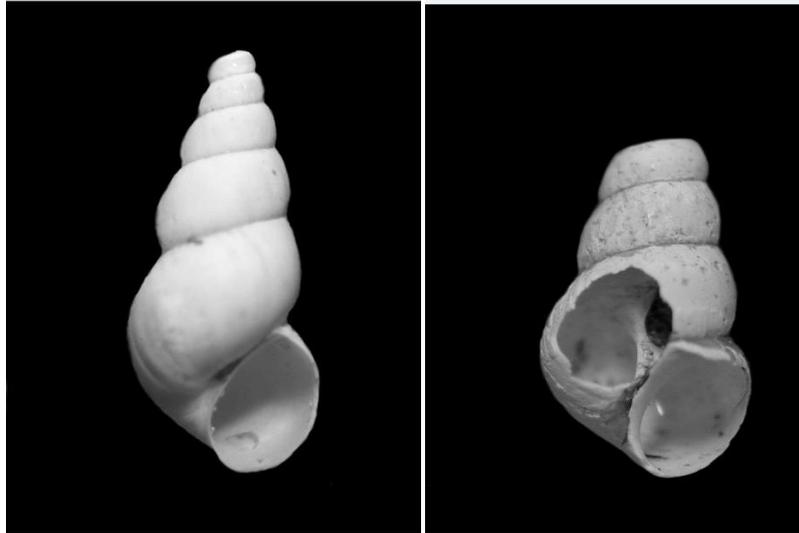


Figura 13. *Littoridina berryi*



Figura 14. *Littoridina andecola*

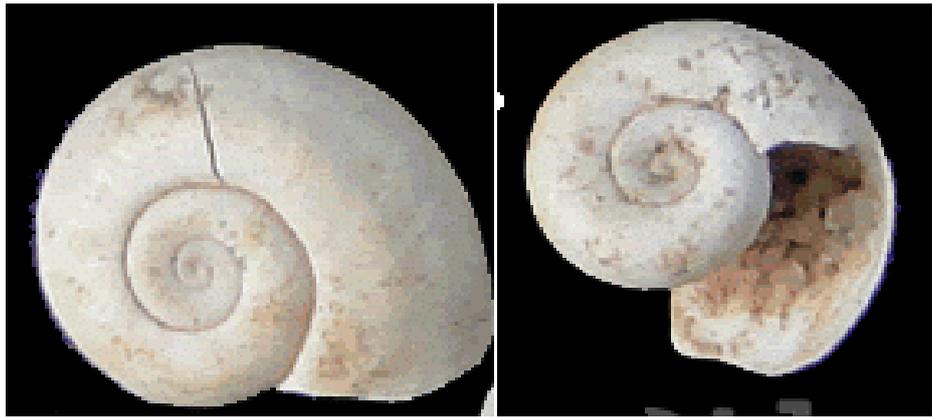


Figura 15. *Taphius montanus*

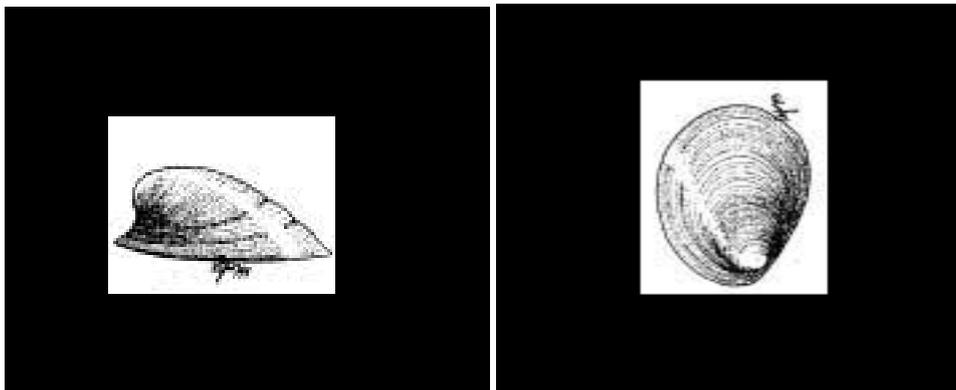


Figura 16. *Anisancylus crequii*



Figura 17. *Pisidium* sp.

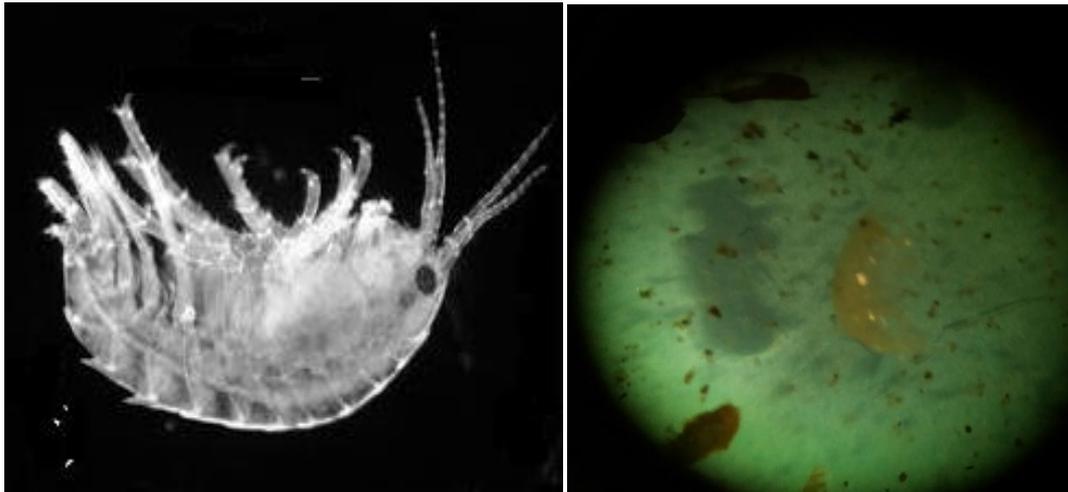


Figura 18. *Hyalella* spp.



Figura 19. *Balliviaspongia wirrmanni*



Figura 20. *Helobdella titicacensis*

## CONSTANCIA

**EL JEFE DEL LABORATORIO DE BIOLOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.**

**HACE CONSTAR:**

Que la Srta Bachiller ANA BELEN CUEVAS ALAVE, con código 070977, egresada y tesista de la Facultad de Ciencias Biológicas. Ha realizado sus procedimientos de análisis de muestras de su trabajo de tesis titulado "Estudio de Macroinvertebrados Bentónicos como referentes de la calidad de aguas del lago Titicaca en el Centro de Investigación y Producción Pesquera Chucuito – Puno" en el Laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas, en el periodo del año 2016.

Se le expide la presente constancia a solicitud verbal de la interesada para los fines que viere conveniente.

Puno, 09 de octubre del 2018



Dr. Dante J. Choquehuanca Panclas  
Jefe del Laboratorio de Biología

FCCBB - UNAP