

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**“IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN RECURSOS  
HIDROBIOLÓGICOS: AGUA Y ESPECIES DE IMPORTANCIA COMERCIAL;  
*Odontesthes bonariensis* Y *Orestias luteus* EN EL LAGO TITICACA - BAHÍA DE  
PUNO, 2018”**

Tesis presentada por las Bachilleres en Ingeniería  
Ambiental:

**Ordoñez Rivera, Karen Geraldine**

**Sanchez Moreno del Castillo, Alexandra Valeria**

para optar por el Título Profesional de Ingeniero  
Ambiental

Asesora:

**MgSc. Paredes Zavala, Joshelyn Mariangela**

**Arequipa - Perú**

**2019**



*Universidad Católica de Santa María*

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS**

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

*Identificación de microplásticos en recursos hidrobiológicos : agua y especies de importancia comercial Odonthestes bonariensis y Orestias luteus en el Lago Titicaca - Bahía de Puno, 2018*

Presentado por el (los) Bachiller (es):

*Ordoñez Rivera, Karen Geraldine*

*Sánchez Moreno del Castillo, Alexandra Valeria*

Nuestro DICTAMEN es:

*Favorable*

OBSERVACIONES:

Arequipa, 25 de Julio del 2019



DICTAMINADOR

M.Sc. Ing. Andrea Chanove Harrique  
Cod. 9496

DICTAMINADOR

Dr. Dr. mandos Arenazas Rodriguez  
Cod. 2829



DICTAMINADOR

M.Sc. Ing. Joshelyn Paredes Zuvala  
Cod. 3043

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo al planeta tierra que nos brinda todos sus recursos sin pedir nada a cambio, a los bosques que nos dan el papel con el que este trabajo fue impreso y albergan a una increíble biodiversidad, al océano y lagos que nos permitieron navegar en sus aguas y extraer sus recursos, a toda la flora y fauna que cumplen un rol importante en nuestro planeta y en especial a Dios, por habernos bendecido al dejarnos vivir en un mundo tan bonito que merece ser tratado con respeto.*

**Alexandra Valeria Sánchez Moreno del Castillo**

*Es intagible el valor de una dedicatoria para todos aquellos que creyeron en mi para forjar esta tesis, sin embargo, con Dios de testigo del maravilloso trabajo que se logró, debo decir que:*

*Está dedicado a mi familia, que de alguna u otra forma me dieron su amor, confianza y apoyo incondicional para esta travesía, convirtiéndome en una persona resiliente. A todas las personas que se dieron el tiempo de apoyarme en lo más mínimo; pero sobre todo, para aquel que cuando empiece a leer esta tesis, no desista en querer cambiar el mundo por más pequeña, loca, descabellada pero positiva idea que tenga.*

**Karen Geraldine Ordoñez Rivera**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por siempre guiarnos y darnos fuerzas,*

*A nuestras familias por ser un apoyo incondicional, que estuvieron con nosotras cuando lo necesitábamos y nunca dudaron en nuestro potencial*

*A la MgSc Ing. Joshelyn Paredes Zavala, que nos aconsejó, guió, empoderó y ayudó a creer en nosotras mismas para lograr grandes cosas y sobre todo por no ser solo nuestra asesora, sino también nuestra amiga.*

*Al Blgo Marco Ríos y a la Ing. Pamela Manrique, por su desinteresada colaboración, confianza y apoyo cada vez que lo necesitábamos.*

*A nuestros jurados; Dr. Armando Arenazas Rodríguez y MgSc Andrea Chanove Manrique, por su continuo apoyo y contribuciones a la mejora de este trabajo.*

*Y a todas las personas que de alguna u otra forma nos ayudaron a concretar esta travesía de mejora en esta nueva etapa.*

## EPIGRAFE

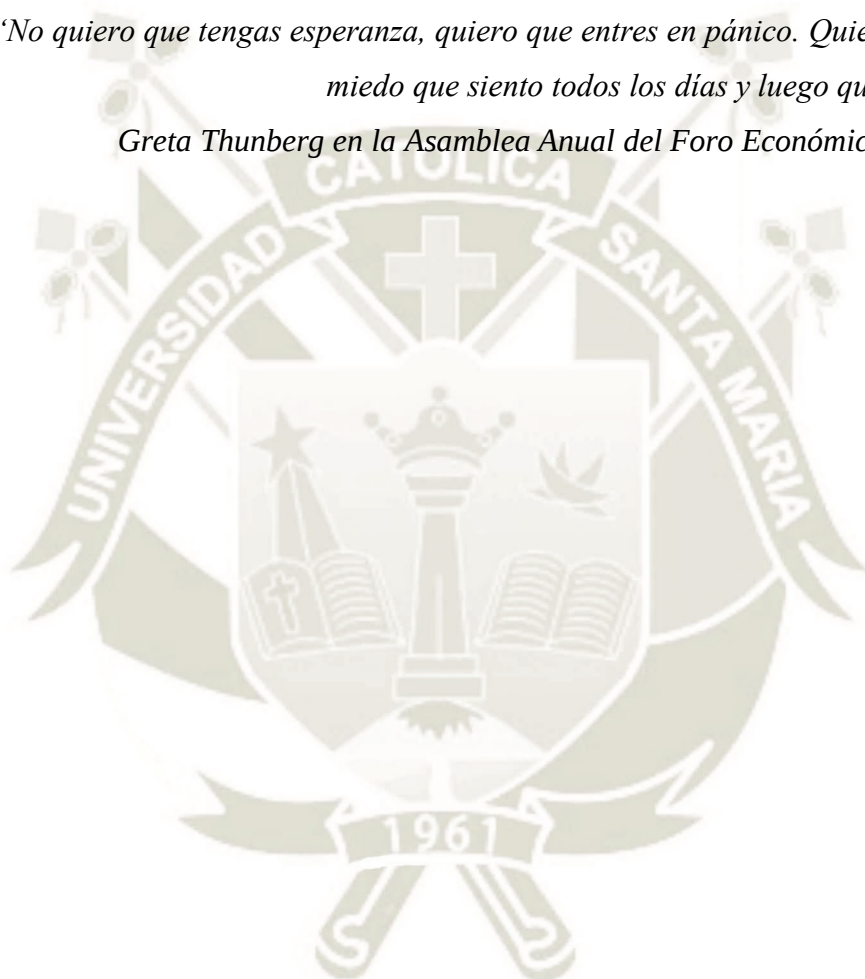
**Alexandra Valeria Sánchez Moreno del Castillo**

*“Que tu paso por la tierra deje una huella positiva, no una huella plástica”*

**Karen Geraldine Ordoñez Rivera:**

*“No quiero que tengas esperanza, quiero que entres en pánico. Quiero que sientas el miedo que siento todos los días y luego quiero que actúes”*

*Greta Thunberg en la Asamblea Anual del Foro Económico Mundial, 2019*



## ÍNDICE GENERAL

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| Resumen .....                              | i   |
| Abstract .....                             | ii  |
| Introducción.....                          | iii |
| Capítulo I.....                            | 1   |
| 1. Generalidades.....                      | 1   |
| 1.1. Antecedentes.....                     | 1   |
| 1.2. Planteamiento del problema.....       | 7   |
| 1.3. Definición del problema .....         | 8   |
| 1.4. Justificación .....                   | 8   |
| 1.4.1. Institucional .....                 | 8   |
| 1.4.2. Social – Económico.....             | 9   |
| 1.4.3. Ambiental .....                     | 9   |
| 1.4.4. Científico – Tecnológico .....      | 10  |
| 1.5. Objetivos.....                        | 11  |
| 1.5.1. Objetivo General .....              | 11  |
| 1.5.2. Objetivos Específicos .....         | 11  |
| 1.6. Hipótesis .....                       | 11  |
| 1.7. Alcance de la investigación .....     | 11  |
| 1.8. Limitaciones de la investigación..... | 12  |
| Capítulo II.....                           | 13  |
| 2. Marco Teórico.....                      | 13  |
| 2.1. Plástico.....                         | 13  |
| 2.1.1. Definición .....                    | 13  |
| 2.1.2. Clasificación .....                 | 14  |
| 2.1.3. Usos.....                           | 15  |
| 2.1.4. Plásticos más utilizados:.....      | 15  |

|              |                                                                                                                  |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.5.       | Efectos en el ecosistema .....                                                                                   | 17 |
| 2.2.         | Microplásticos.....                                                                                              | 19 |
| 2.2.1.       | Clasificación .....                                                                                              | 20 |
| 2.2.2.       | Fuentes de microplásticos y rutas .....                                                                          | 21 |
| 2.2.3.       | Efectos .....                                                                                                    | 22 |
| 2.3.         | Normativa reguladora de plástico .....                                                                           | 25 |
| 2.3.1.       | Legislación internacional.....                                                                                   | 25 |
| 2.3.2.       | Legislación nacional.....                                                                                        | 27 |
| 2.4.         | Residuos sólidos en el Perú .....                                                                                | 29 |
| 2.4.1.       | Clasificación de residuos sólidos .....                                                                          | 30 |
| 2.5.         | Pesca continental en el Perú.....                                                                                | 31 |
| 2.6.         | Lago Titicaca .....                                                                                              | 31 |
| 2.6.1.       | Aspectos generales .....                                                                                         | 31 |
| 2.6.2.       | Biodiversidad .....                                                                                              | 32 |
| 2.6.3.       | Contaminación del Lago Titicaca .....                                                                            | 35 |
| Capítulo III | .....                                                                                                            | 37 |
| 3.           | Metodología .....                                                                                                | 37 |
| 3.1.         | Determinación de la presencia de microplásticos en agua superficial y columna de agua .....                      | 37 |
| 3.1.1.       | Selección de los puntos de muestreo.....                                                                         | 37 |
| 3.1.2.       | Toma de muestras de agua.....                                                                                    | 38 |
| 3.1.3.       | Procesamiento de las muestras de agua.....                                                                       | 39 |
| 3.1.4.       | Identificación de microplásticos .....                                                                           | 39 |
| 3.2.         | Determinación de la presencia de microplásticos presentes en especies de importancia ecológica y comercial. .... | 40 |
| 3.2.1.       | Toma de muestras de especies <i>Orestias luteus</i> , <i>Odontesthes bonariensis</i> . 40                        |    |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2. Procesamiento de las muestras de especies .....                                                                | 40  |
| 3.3. Caracterización visual de microplásticos .....                                                                   | 41  |
| Capítulo IV .....                                                                                                     | 42  |
| 4. Resultados y discusiones .....                                                                                     | 42  |
| 4.1. Determinación de la presencia de microplásticos en agua superficial y columna de agua. ....                      | 42  |
| 4.2. Determinación de la presencia de microplásticos presentes en especies de importancia ecológica y comercial. .... | 52  |
| 4.3. Caracterización visual de microplásticos. ....                                                                   | 69  |
| Capítulo V .....                                                                                                      | 72  |
| 5. Conclusiones y Recomendaciones .....                                                                               | 72  |
| 5.1. Conclusiones .....                                                                                               | 72  |
| 5.2. Recomendaciones.....                                                                                             | 74  |
| 6. Bibliografía .....                                                                                                 | 75  |
| ANEXOS .....                                                                                                          | 97  |
| Anexo 1: Mapa de ubicación de estaciones de muestreo .....                                                            | 98  |
| Anexo 2: Resultados de microplásticos identificados en agua.....                                                      | 99  |
| Anexo 3: Resultados de microplásticos identificados en especies .....                                                 | 100 |
| Anexo 4: Dossier fotográfico (Microplásticos aislados).....                                                           | 102 |
| Anexo 5: Dossier fotográfico (Toma de muestras de agua y especies) .....                                              | 105 |
| Anexo 6: Dossier fotográfico (Procesamiento e identificación de microplásticos) ..                                    | 106 |
| Anexo 7: Dossier fotográfico (Evidencias de contaminación del lago) .....                                             | 108 |
| Anexo 8: Resultados estadísticos (microplásticos en agua).....                                                        | 109 |
| Anexo 9: Resultados estadísticos (microplásticos en especies) .....                                                   | 110 |
| Anexo 10: Cálculos aplicados .....                                                                                    | 114 |
| Anexo 11: Normativa Peruana de Agua (ECA – VMA – LMP).....                                                            | 119 |

## ÍNDICE DE TABLAS

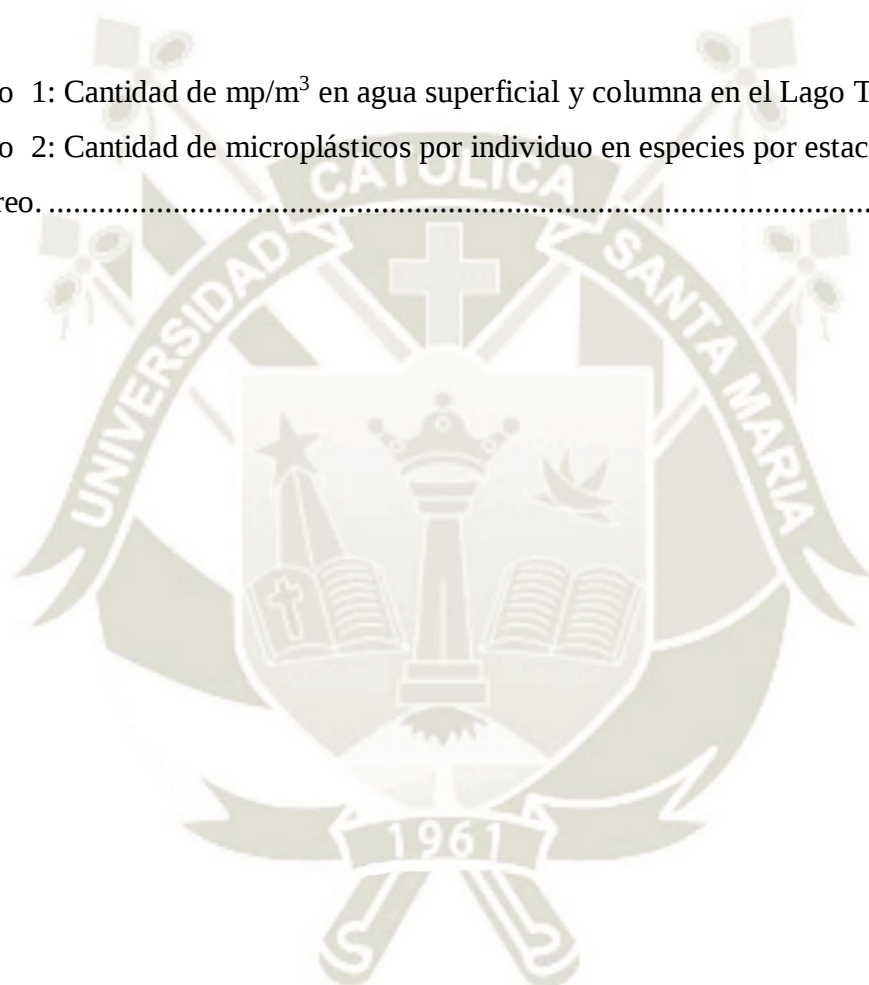
|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 : Código de colores para segregar residuos sólidos.....                                                                         | 30 |
| Tabla 2: Coordenadas de las estaciones de muestreo. ....                                                                                | 37 |
| Tabla 3 : Fecha y hora de muestreo .....                                                                                                | 38 |
| Tabla 4 : Cantidad de mp/m <sup>3</sup> en agua superficial y columna de agua en la zona estudiada del Lago Titicaca .....              | 42 |
| Tabla 5 : Investigaciones sobre microplásticos en ecosistemas acuáticos.....                                                            | 47 |
| Tabla 6: Cantidad de mp/individuo para Carachi amarillo y Pejerrey argentino .....                                                      | 52 |
| Tabla 7: Investigaciones sobre microplásticos en especies acuáticas.....                                                                | 53 |
| Tabla 8 : ANOVA para mp/individuo de las especies estudiadas .....                                                                      | 54 |
| Tabla 9 : Prueba de Duncan para longitudes corporales de O. luteus entre las estaciones analizadas. ....                                | 58 |
| Tabla 10: Parámetros físico-químicos del Lago Titicaca.....                                                                             | 59 |
| Tabla 11 : Concentraciones de metales en el Lago Titicaca .....                                                                         | 67 |
| Tabla 12: Tipo de microplásticos encontradas en las estaciones de muestreo y especies estudiadas del Lago Titicaca .....                | 69 |
| Tabla 13: Color de los microplásticos tipo fibra encontrados en las estaciones de muestreo y especies estudiadas del Lago Titicaca..... | 70 |

## ÍNDICE DE IMÁGENES

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 1: Distribución de Orestias luteus en el Lago Titicaca .....                                     | 34 |
| Imagen 2 : Ubicación geográfica de estación “Capachica” del programa LocClim – FAO<br>para vientos..... | 45 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1: Cantidad de mp/m <sup>3</sup> en agua superficial y columna en el Lago Titicaca .....  | 43 |
| Gráfico 2: Cantidad de microplásticos por individuo en especies por estación de<br>muestreo. .... | 55 |



## LISTA DE ABREVIATURAS

**ANA:** Autoridad Nacional de Agua

**BID:** Banco Internacional de Desarrollo

**COP:** Contaminantes orgánicos persistentes

**cm:** Centímetro

**cm<sup>2</sup>:** Centímetro cuadrado

**DS:** Desviación estándar

**EU:** Unión Europea

**EPS:** Poliestireno expandido

**FAO:** Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación

**GESAMP:** Grupo de Expertos en Aspectos Científicos de Protección del Ambiente Marino

**gr:** Gramos

**HDPE:** Polietileno de alta densidad

**IMARPE:** Instituto del Mar Peruano

**Ítems/km<sup>2</sup>:** Ítems por kilómetro cuadrado

**Ítems/m<sup>3</sup>:** Ítems por metro cúbico

**kg:** Kilogramo

**km:** Kilómetro

**KOH:** Hidróxido de Potasio

**LDPE:** Polietileno de baja densidad

**MINAM:** Ministerio del Ambiente– Perú

**m:** Metro

**mm:** Milímetro

**MoEFCC:** Ministerio del Ambiente, Bosques y Cambio Climático de la India

**mp:** Microplástico

**mp/km<sup>2</sup>:** Microplástico por kilómetro cuadrado

**mp/m<sup>3</sup>:** Microplástico por metro cúbico

**mp/individuo:** Microplástico por individuo

**NaCl:** Cloruro de Sodio

**NOAA:** Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los Estados Unidos

**OEFA:** Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**ONU:** Organización de la Naciones Unidas

**OD:** Oxígeno disuelto

**PE:** Polietileno

**PET:** Polietileno terefalato

**PELT:** Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca

**PHA:** Polihidroxialcanatos

**pH:** Potencial Hidrógeno

**PLA:** Ácido poliacético

**PNUMA:** Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente

**PNIPA:** Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura

**PP:** Polipropileno

**PRODUCE:** Ministerio de la Producción

**PS:** Poliestireno

**PTAR:** Planta de Tratamiento de Agua Residual

**PU:** Poliuretano

**PVC:** Polivinil clorado

**RAMSAR:** Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional

**S/:** Soles

**T°:** Temperatura

**tn:** Tonelada

**TM:** Tonelada métrica

**TM/día:** Tonelada métrica por día

**Tn/año:** Tonelada por año

**Tn/día:** Tonelada por día

**UF:** Formaldehído de urea

**UNDP:** Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo

**USADID-PERÚ:** Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

**UV:** Rayos Ultra violeta

**WWF:** Fondo Mundial para la Naturaleza

**µm:** Micrómetro

**µS/cm-1:** micro siemens por centímetro

**°C:** Grados Centígrados

## Resumen

Los microplásticos (mp) son partículas de plásticos inferiores a 5 milímetros (mm), que al haberse encontrado en diversos ecosistemas alrededor del mundo, representan una amenaza para el ecosistema acuático. Sin embargo, el Perú cuenta con muy pocos trabajos sobre el tema y hasta la fecha, no se han realizado investigaciones en ecosistemas de agua dulce; razón por la cual, el presente trabajo de tesis tuvo como objetivo estudiar la presencia de microplásticos en el Lago Titicaca, sitio RAMSAR con gran biodiversidad y valor ambiental; pero que se ve afectado por diversos contaminantes. Se seleccionaron tres estaciones de muestreo: Uros, Llachón y Amantaní, donde cada estación fue considerada una réplica para la toma de muestras de agua; así como dos especies de importancia ecológica y económica: carachi amarillo (*Orestias luteus*) y pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*). En cada estación, se llevó a cabo la toma de muestras de: columna de agua con una botella niskin, agua superficial con frascos de vidrio y de las especies con redes de pesca artesanal. Posteriormente, se ejecutó el procesamiento de las muestras en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María. Para el aislamiento de microplásticos de las muestras de agua, se utilizó separación densimétrica, mientras que para las especies, se empleó digestión alcalina del tracto digestivo y en ambos casos se realizó el filtrado con un tamiz de acero inoxidable de tamaño de poro de 300  $\mu\text{m}$ . Finalmente, se realizó la identificación visual y la cuantificación de microplásticos, utilizando un estereoscopio binocular, registrando características como color y forma. Se logró identificar la presencia de microplásticos en todas las muestras, predominando las fibras. Asimismo, para agua superficial se encontró 175,916.6667 ( $\text{DS} \pm 27,428.6954$ )  $\text{mp}/\text{m}^3$  y para la columna de agua 22,583.3433 ( $\text{DS} \pm 4,114.1135$ )  $\text{mp}/\text{m}^3$ . En el caso de especies, se encontró un promedio de 25.4056 ( $\text{DS} \pm 12.4948$ )  $\text{mp}/\text{individuo}$  en *O. luteus*, donde Uros presentó la mayor concentración de microplásticos consumidos, mientras que para el *O. bonariensis* se encontró un promedio de 33.3223 ( $\text{DS} \pm 13.6819$ )  $\text{mp}/\text{individuo}$  y fue Llachón en donde se presentó la mayor concentración de microplásticos. Llegando a la conclusión que, el Lago Titicaca se suma a los cuerpos de agua afectados por microplásticos y que los mismos, son ingeridos por diferentes especies, poniendo en riesgo a la biota presente y a la población de la región.

## Palabras clave

Microplásticos, Lago Titicaca, Biodiversidad, Bioacumulación, Biomagnificación.

## Abstract

Microplastics (mp) are plastic particles smaller than 5 millimeters (mm), that have been found in different ecosystem of the world , which represent a threat to the aquatic ecosystem. However, Perú has only a few works about the subject and to date, no research on freshwater ecosystems has been conducted. For this reason, this thesis work aimed to study the presence of microplastics in Lake Titicaca, classified as RAMSAR site due it's biodiversity and environmental value; but that is affected by different pollutants. Three sampling stations were selected; Uros, Llachon and Amantani where each station was considered a replica for water sampling; as well as two species of ecological and economic importance; carachi amarillo (*Orestias luteus*) and pejerrey argentino (*Odontesthes bonariensis*). At each station, sampling was carried, both of a water column with a niskin bottle, as well as surface water samples with glass jars and species mentioned with artisanal fishig nets. Subsequently, the sample processing was carried out in the laboratories of Universidad Católica de Santa María to isolate and determinate the presence of microplastics in water and species.

For the isolation of microplastics from the water samples, desimetric separation was used, whereas, for the species, alkaline digestion of the digestive tract was used and in both cases, filtration with a 300 um pore size stainless steel sieve was performed.

Finally, visual identification was performed, using a binocular stereoscope, where basic characteristics were recorded. It was possible to identify the presence of microplastics in all samples, both water and species, mostly finding fibers. Likewise, 175,916,6667 (DS  $\pm$  27,428,6954) mp/m<sup>3</sup> were found for surface water and 22,583.3433 (DS  $\pm$  4,114,1135)mp/m<sup>3</sup> for the water column. In the of species, an average of 25.4056 (SD  $\pm$  12.4948) mp/individual was found in *O. luteus*, where Uros had the highest concentration of microplastics consumed, while for *O. bonariensis* an average of 33.3223 (DS  $\pm$  13.6819) mp/individual was found and it was Llachon were the highest concentration of microplastics was presented. Coming to the conclusion that Lake Titicaca joins the bodies of water affected by microplastics and that they are ingested by different species, putting in risk the biota present and the population of the region.

## Key words

Microplastics, Lago Titicaca, Biodiversity, Bioaccumulation, Biomagnification.