

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



**NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE PETRÓLEO EN EL
SEDIMENTO Y SU RELACIÓN CON MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO**

TESIS

PRESENTADO POR:

Br. EVA FERNÁNDEZ ARPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2018

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



NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE PETRÓLEO EN EL SEDIMENTO Y SU
RELACIÓN CON MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN LA BAHÍA
INTERIOR DE PUNO

PRESENTADO POR:

Br. EVA FERNÁNDEZ ARPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

M. Sc. GILMAR GAMALIEL GOYZUETA CAMACHO

PRIMER MIEMBRO:

Mg. MARTHA ELIZABETH APARICIO SAAVEDRA

SEGUNDO MIEMBRO:

D. Sc. JUAN JOSÉ FAURO ROQUE

DIRECTOR / ASESOR:

Blgo. RENE HERMINIO ALFARO TAPIA

ÁREA: Ciencias Biomédicas
LINEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente
SUB LÍNEA: Calidad Ambiental
TEMA: Control de contaminación

FECHA: 28/09/2018

DEDICATORIA

A mis apreciados padres Percy Dante Fernández Orcco y Martha Arpa Ventura, por haberme inculcado valores, por brindarme su amor y cariño y además por acompañarme en situaciones buenas y malas, y gracias a ellos soy lo que soy.

AGREDICIMIENTO

Con mucha gratitud a los docentes de la prestigiosa Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme formado un profesional competente y por su excelente enseñanza que tiene cada uno de ellos.

En especial al docente Blgo. Rene Herminio Alfaro Tapia, mi director de tesis, por su enseñanza, apoyo, colaboración, disponibilidad y paciencia en revisar y ejecutar mi tesis.

A mis jurados; Mg. Sc. Gilmar G. Goyzueta Camacho, Mg. Martha Elisabeth Aparicio Saavendra y Dr. Sc. Juan Jose Pauro Roque por sus sabios concejos y recomendaciones sobre mi proyecto de investigación.

Por este gran esfuerzo, también, no quiero dejar de lado al sr. Gregorio Ordoñez por sus sabios concejos y apoyo en la ejecución de mi tesis.

A mi hermosa familia, mi padre Percy Dante Fernández Orcco, y mi madre Martha Arpa Ventura, Orcco, a mis hermanos Graciela, Berónica y Percy, y a mi abuelo Aurelio Fernández, a todos ellos por su constante apoyo incondicional, confianza, sabios concejos y por acompañarme en el desarrollo de mi carrera profesional.

A todos mis amigos que me apoyaron en la ejecución y revisión de mi proyecto de tesis.

Y a todos ustedes agradezco por este logro alcanzado.

ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras.....	7
Índice de tablas	9
Índice de acrónimos	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Marco teórico.....	20
2.2.1 Aspectos generales del lago Titicaca.....	20
2.2.2 Bahía interior de Puno	20
2.2.3 Sedimento	21
2.2.4 Efectos de la sedimentación en el lago.....	21
2.2.5 Petróleo.....	22
2.2.6 Origen del petróleo	23
2.2.7 Propiedades físicas y químicas del petróleo	23
2.2.8 Hidrocarburos totales del petróleo (HTP)	23
2.2.9 Presencia de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos.....	26
2.2.10 Hidrocarburos totales de petróleo en la salud humana.....	27
2.2.11 Legislación Ambiental relacionado a los Hidrocarburos	28
2.2.12 Macroinvertebrados Bentónicos	29
2.2.13 Índices BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System)	30
2.4 Marco Conceptual.....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1 Área de estudio	32
3.2 Tipo de estudio.....	33
3.3 Población y Muestra	33
3.4 Metodología	34
3.4.1 Determinación de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en el sedimento de las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno... 34	34
a) Frecuencia y tiempo	34
b) Descripción detallada.....	34
• Procedimiento en campo.....	34

• Procedimiento en laboratorio.....	34
c) Método estadístico.....	35
3.4.2 Registró de macroinvertebrados bentónicos en las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.....	36
a) Frecuencia y tiempo	36
b) Descripción detallada.....	36
• Procedimiento en campo	36
• Procedimiento en laboratorio.....	36
c) Índice de Shannon-Weaver (H').....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1 Concentración de hidrocarburos totales de petróleo en el sedimento de las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.	38
5.2 Registro de macroinvertebrados bentónicos en la diferentes zonas de estudio de la Bahía interior de Puno.....	46
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. REFERENCIAS.....	57
ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Área de estudio, siete estaciones de evaluación en la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	33
FIGURA 2. Prueba contraste Tukey de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimento en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época lluviosa.....	39
FIGURA 3. Prueba contraste de Tukey de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimento en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época seca.	42
FIGURA 4. Distribución de las familias de macroinvertebrados en las estaciones evaluadas de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.	46
FIGURA 5. Relación de la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos de la Bahía interior Puno, febrero 2017 – junio 2018.	52
FIGURA 6. Muestreo de sedimentos utilizando una Draga Ekman de 15x 15 x cm, en la Bahía Interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	72
FIGURA 7. Materiales para realizar el muestreo de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos de la Bahía interior de Puno, A: hielera con hielo, B: hielera con frascos de vidrio, febrero 2017 – junio 2018.	72
FIGURA 8. Muestreo de sedimentos para la recolección de macroinvertebrados bentónicos de la Bahía Interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018	73
FIGURA 9. Identificación de los macroinvertebrados bentónicos, en el laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017- junio 2018.	73
FIGURA 10. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Tubificidae (Sanguijuela) laboratorio de Limnología, de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 junio 2018.....	74
FIGURA 11. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Hirudinae (Gusano tornillo rojo), laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	74
FIGURA 12. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Quironomidae, laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA-Puno, febrero 2017 junio 2018.....	75

FIGURA 13. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Hyalellidae, laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 – junio 2018..... 75

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas, El Peruano, (2017) ..	28
TABLA 2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, El Peruano, (2017)...	29
TABLA 3. Límite máximo permisible para ecosistemas sensibles según el Decreto Ejecutivo 1215- Ecuador.	29
TABLA 4. Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System) (Alba <i>et al.</i> , 2002)	30
TABLA 5. Concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en los sedimentos de diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época lluviosa.	39
TABLA 7. Concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en los sedimentos de diferentes estaciones de la bahía interior de Puno, época seca.....	41
TABLA 9. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo en dos épocas lluviosa y seca, en el sedimento de las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.	44
TABLA 11. Prueba de contraste Tukey del nivel de concentración de hidrocarburos totales (HTP), en sedimento en dos épocas lluviosa y seca.	44
TABLA 12. Número de individuos de macroinvertebrados y porcentaje de familias de las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	48
TABLA 13. Índice de diversidad de macroinvertebrados de las estaciones en la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	49
TABLA 14. Índice de diversidad de macroinvertebrados de las épocas lluviosa y seca en la Bahía interior de Puno.	50
TABLA 15. Valores obtenidos según el sistema de índice biológico BMWP mediante el muestreo de los macroinvertebrados en las siete estaciones de la Bahía interior de Puno febrero 2017- junio 2018.....	51
TABLA 16. Comparación de hidrocarburos aromáticos policíclicos de sedimentos de la Bahía interior de Puno según la norma canadiense de sedimentos	67
TABLA 17. Datos de las estaciones evaluadas de la Bahía interior de Puno febrero 2017 junio 2018.....	67

TABLA 18. Puntuaciones para asignar a las familias de macroinvertebrados bentónicos según el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System) (Alba <i>et al.</i> , 2002).....	68
TABLA 19. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados de la estaciones de muestreo de la Bahía Interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	69
TABLA 20. Número de individuos y porcentajes de familias entre las estaciones evaluadas en la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.....	70
TABLA 21. Prueba de contraste Tukey de la concentración de HTP en sedimentos en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época lluviosa.....	70
TABLA 22. Prueba de contraste Tukey de la concentración de HTP en sedimentos en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época seca.	71

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

ANDEVA: Análisis de Varianza

BMWP: Biological Monitoring Working Party Score System

BIP: Bahía Interior de Puno

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

Hc: Hidrocarburos

HTP: Hidrocarburos Totales del Petróleo

LMP: Límite Máximo Permisible

MINAM: Ministerio Nacional del Ambiente – Perú

RAOH: Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador

EPA: Environmental Protección Agency

OMS: Organización Mundial de la Salud

CEE: Comunidad Económica Europa

ATSDR: Agency For Toxic Substances and Disease Registry

CCME: Canadian Council of Ministers of the Environment

RESUMEN

El estudio sobre el “nivel de concentración de petróleo en el sedimento y su relación con macroinvertebrados bentónicos en la bahía interior de Puno” se realizó en dos épocas; lluviosa (febrero 2017) y seca (junio 2018), en siete puntos de estudio con dos repeticiones. Los objetivos fueron determinar la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en el sedimento y registrar macroinvertebrados bentónicos en las diferentes estaciones de estudio. La metodología establecida fue: realizar la toma muestras en siete estaciones de la bahía interior de Puno; (E-1: cerca del hotel Isla Esteves; E-2: margen izquierdo puerto principal; E-3: margen derecho puerto principal; E-4: ruta hacia la Isla los Uros; E-5: terminal terrestre; E-6: cerca de la laguna de oxidación y E-7: (faro antiguo-Chimu), se utilizó una draga Ekman para la extracción de sedimentos, los cuales se utilizó para el análisis de hidrocarburos totales de petróleo y para registrar los macroinvertebrados bentónicos. El análisis de hidrocarburos totales de petróleo, se realizó mediante el método de extracción de Soxhelt, en el laboratorio de investigación y servicios (LABINSERV) de la Universidad Nacional de San Agustín Arequipa. La identificación de macroinvertebrados bentónicos se realizó en el laboratorio de Limnología de la Facultad de Biología UNA Puno. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza, y para para análisis de contraste se empleó la prueba de TUKEY utilizando el software INFOSTAT. Para determinar la diversidad de macroinvertebrados; se utilizó los índices de Shannon- Weaver y el índice MBWP para determinar la calidad de agua. La mayor concentración de hidrocarburos totales, se registró en la época seca; estación E-3, con 2635,29 ppm y la menor concentración se presentó en la estación lluviosa con 368 ppm; estación E-7, así mismo las estaciones (E-3, E-4, E-6) superaron los valores máximos permitidos para ecosistemas sensibles según el RAOH, que son 1000mg/kg. La estación con mayor diversidad de macroinvertebrados fue la E-7 con 2317 individuos y la menor en la E-3 con 816 individuos. Según el índice se Shannon- Weaver, no se encontró diferencias entre las estaciones de muestreo ni entre las épocas obteniendo un valor de (0-1.3) calificada como poco diverso. De acuerdo al índice BMWP la calidad de agua, se calificó calidad crítica y calidad muy crítico que significa, aguas muy contaminadas y fuertemente contaminadas. Según el análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas tanto entre estaciones y épocas a $p < 0.05$. Por lo tanto, se concluye que la diversidad y abundancia de macroinvertebrados es mayor en estaciones con menor concentración de hidrocarburos totales de petróleo.

Palabras Clave: Bahía Interior de Puno, hidrocarburos, macroinvertebrados y sedimento.

ABSTRACT

The study on the "level of oil concentration in the sediment and its relationship with benthic macroinvertebrates in the inner bay of Puno" was carried out in two epochs; rainy season (February 2017) and dry season (June 2018), in seven points of study with two replications. The objectives were to determine the concentration of total petroleum hydrocarbons in the sediment and record benthic macroinvertebrates in different points of study. The established methodology was: taking samples in seven points of the inside bay of Puno; (E-1: the hotel Esteves Island; E-2: left margin main port; E-3: Right Margin main port; E-4: route to the Uros island; E-5: terrestrial terminal; E-6: near the oxidation lagoon and E-7: (old lighthouse-CHIMÚ), it was used an Ekman dredge for the extraction of sediment, which was used for the analysis of total petroleum hydrocarbons and to record the benthic macroinvertebrates. The analysis of total petroleum hydrocarbons, was carried out using the method of extraction of Soxhelt, in the research laboratory and services (LABINSERV) of the UNSA Arequipa. The identification of benthic macroinvertebrates was carried out in the laboratory of Limnología at the Faculty of Biology of the UNA-Puno. The data obtained were analyzed using analysis of variance and for analysis of contrast, we used the Tukey test using the software INFOSTAT. To determine the diversity of macroinvertebrates; we used the indexes of Shannon- Weaver and the MBWP index to determine the quality of water. The greatest concentration of total hydrocarbons, was recorded in the dry season; E-3, with 2635,29 ppm and the lowest concentration was presented at the rainy season with 368 ppm; E-7, as well as the stations (E-3, E-4, E-6) exceeded the maximum permitted values for sensitive ecosystems, according to the RAOH that is 1000mg/kg. The station with a greater diversity of macroinvertebrates was the E-7 with 2317 individuals and the lowest in the E-3 with 816 individuals. According to the index is Shannon- Weaver, we did not find differences between sampling stations or between the ages getting a value of (0-1.3) qualified as little diverse. According to the index BMWP water quality was described as critical quality and quality very critical meaning, highly contaminated waters and heavily contaminated. According to the analysis of variance determined that there are significant differences between seasons and times to $p < 0.05$. It is therefore concluded that the diversity and abundance of macroinvertebrates is greater in stations with lower concentrations of total petroleum hydrocarbons.

Key Words: Inner bay of Puno, hydrocarbons, macroinvertebrates, and sediment.

I. INTRODUCCIÓN

Los problemas generales que vienen enfrentando todos los países del orbe están estrechamente relacionados a sustancias químicas, debido a su naturaleza tóxica y las concentraciones en las que se hallan en el ambiente, que las convierte en un grave y constante riesgo para la humanidad, como los productos derivados del petróleo crudo, sin embargo todo el mundo está expuesto a estos, además de ser fuente principal de energía y evolución, generadora del bienestar y progreso social, motor de la ciencia tecnología y de gran valor para el crecimiento de la sociedad moderna. Todo residuo generada por la actividad antropogénicas tiene un deposito final, el cual es generalmente el ecosistema acuático que habitualmente ingresan infinidad de componentes generadas por la actividad humana, lo que la Bahía interior del lago Titicaca Puno está aconteciendo, durante los últimos años la Bahía es considerada como como puntos híper-eutróficos, debido a la contaminación transmitida por parte de la actividad humana de la población de Puno, donde existe el ingreso de aguas residuales provenientes de los desagües y otras fuentes.

Generalmente los hidrocarburos de componentes de baja densidad se evaporan con rapidez, mientras que los más densos se disipan lentamente y tienden a depositarse en el sedimento. Lamentablemente existe estudios escasos sobre la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos en la Bahía interior de Puno y mucho menos indican un límite máximo permisible, lo que significaría un grave riesgo para la población acuática, principalmente para los que tienen contacto directo con los sedimentos, y mediante la cadena alimenticia puede ocasionar riesgos sobre la salud humana, ya que algunas de las fracciones de los hidrocarburos tienen propiedades mutagenicas, carcinogénicas y teratogenicas que fueron detectados en agua y suelo.

La Bahía interior de Puno, es un cuerpo de agua superficial y de poco flujo, cuyas características combinadas con el constante ingresos de aguas residuales provenientes de los desagües de la ciudad de Puno, dan lugar a un cuerpo de agua severamente contaminado, teniendo como resultado de la disminución de peces, macroinvertebrados y otros, además las principales actividades que se realizan en la Bahía interior como son; la pesca, extracción de totora, transito de embarcaciones para el turismo, comercio y ganadería los cuales también generan contaminantes. A pesar de ello la Bahía interior de

Puno continua proveyendo beneficios, entre las que destacan sus servicios de agua potable y la actividad turísticas.

Por lo tanto para una mejor apreciación de la Bahía interior de Puno, se considera de gran relevancia generar información asociada con la presencia de hidrocarburos totales del petróleo en los sedimentos de la bahía interior del lago Titicaca Puno y la relación que tiene sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, asimismo, el estudio aportara valores actualizados que las autoridades competentes utilizaran para que se implementen sistemas de plan de recepción y manipulación de desechos generados por las embarcaciones del puerto de Puno y de diferentes alcantarillado.

Hipótesis

La elevada concentración de hidrocarburos totales de petróleo afectara a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.

Objetivo general

- Determinar la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en el sedimento y su relación con macroinvertebrados bentónicos en las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en el sedimento de las diferentes estaciones de estudio de la bahía interior de Puno.
- Registrar macroinvertebrados bentónicos de las diferentes estaciones de estudio de la bahía interior de Puno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Los sedimentos proporcionan un hábitat importante para el ecosistema acuático, sin embargo las sustancias toxicas como los hidrocarburos totales de petróleo más densos se asocian en el sedimentos y afecta a los organismos que no tienen la capacidad para bioacumular (CCME, 1995). Evaluación realizada en 13 estaciones sobre HAPs en sedimentos de la Bahía interior de Puno, los datos registrados fueron mayores a los valores recomendados por la (ISQGs) Canadiens Sediment Quality; Naftaleno 58 ug/kg en todas las estaciones excepto en la captación de Chimú; Fenantreno y Antraceno con 9 ug/kg y 30 ug/kg consecutivamente registraron cerca de la isla Esteves y el muelle principal; Fluorantreno 372 ug/kg y Pireno 39 ug/kg; registrados por la captación de Chimú, terminal terrestre y puerto principal; el Benzo(a)pireno, Dibenzo(a,h)-antraceno; Benzo(g,h)perileno, e Indeno (1,2,2, -c,d)-pireno estuvieron con 24 ug/kg; 19 ug/kg ; 17 ug/kg ; 36 ug/kg, registrados por el terminal terrestre, ruta hacia los uros y muelle principal (Zamalloa, 2014).

Así mismo las concentraciones de HTP en los sedimentos varían de acuerdo a la época de evolución, generalmente la mayor concentración se registran en época seca (Valenzuela *et al.*, 2005). Los datos obtenidos en el área portuaria y zona costera de Salinas Cruz México, evaluadas en tres periodos (sequía, lluvias después del dragado y lluvias en periodo de calma), obtuvieron; valores más altos en la época de sequía con 106 y 754 mg/kg, de HTP y para la estación de lluvias las concentraciones disminuyeron considerablemente en ambas zonas portuarias, con valores entre 0,10 y 142 mg/kg de HTP, y en la zona costera las concentraciones fueron < 0,5 mg/kg. Los resultados dan conocer que los factores climatológicos influyen en la concentraciones de hidrocarburos en el ambiente (González *et al.*, 2006).

Rodríguez *et al.* (2014) Realizaron estudios en Golfo de Nicoya Costa Rica, donde registraron mayor concentración en época seca con aproximadamente 60000 mg/kg de HTP, y el valor más bajo obtuvieron en la época lluviosa con 331 mg/kg de HTP, dichos datos obtenidos superaron los 100 mg/kg de HTP, lo que sugieren contaminación *elevada* por hidrocarburos a largo de la zona de estudio. Así mismo en la laguna de Chelem y en el puerto Progreso México, analizados en tres épocas climáticas (Nortes, secas y lluviosas) obteniendo valores máximos de hidrocarburos totales en época Seca con 10,996

mg/kg y los valores mínimos en la época lluviosa con 2,365 mg/kg (Valenzuela *et al.*, 2005).

La contaminación del agua por hidrocarburos ocurre principalmente por el manejo inadecuado de los residuos generados provenientes del petróleo (Cárdenas, 2010). Estudio realizado en Punta Morales y Costa de pájaro Costa Rica, obtuvieron en los puntos; 8, 9 y 10; 59826; 4456 y 10942 mg/kg de HTP respectivamente, zonas localizada en el muelle principal de LAICA, donde reciben barcos de hasta 3000 toneladas. Así mismo en los puntos 2 y 3 detectaron la presencia de hidrocarburos de alto peso molecular, en dicho área se estacionan gran cantidad de embarcaciones y a la vez realizan el mantenimiento de sus moviidades (Rodríguez *et al.*, 2014). De igual forma Cárdenas, (2010), evaluó en el estero salado Ecuador registrando valores de 1545 mg/kg de HTP, en dicho lugar realizan la actividad de ingreso y salida de combustibles.

Así mismo el análisis realizado en el litoral del Pacífico Colombiano, determinaron que los sedimentos y los bivalvos se encuentran contaminados por hidrocarburos, donde la Bahía de Buenaventura estuvo con un promedio de 63 mg/kg de Hc; y en la ensenada de Tumaco registró, 29 mg/kg Hc; ambas zonas se encuentran ubicado por el principal puerto colombiano, donde exportan y descargan toneladas derivados del petróleo (Marrugo, 1990). El proceso de desembarque y embarque; generan liquido aceitoso, lastres y aguas de lavado, estos factores influyen en el incremento de las concentraciones de hidrocarburos en los sedimentos (González *et al.*, 2006).

La contaminación generada por aguas residuales sin tratamiento provenientes de desagües y otras fuentes antropogénicas traen consecuencias negativas al ecosistema acuático (Moreno *et al.*, 2017). Evaluación realizada en el Estero Salado Ecuador en 2007, registraron valores de 145873 mg/kg de HTP, localizado en la zona más afectada por las descargas de aguas residuales de uso doméstico y de alcantarillados clandestinos (Cárdenas, 2010). Sin embargo para el año 2009 disminuyeron considerablemente con 1124 mg/kg de HTP, estos datos sobrepasan los valores máximos permitidos para ecosistemas sensible según el Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOH), donde establece una concentración máxima de 1000 mg/kg de HTP.

Así mismo estudio realizado en la laguna de Tamiahua México, registraron valores elevados de HTP en tres estaciones; estación 14 (Boca del rio Tancochin) con 12956

mg/kg de HTP, estación 4 (San Jeronimo) con 4261 mg/kg y en la Isla de Toro con 2619 mg/kg, las estaciones mencionadas están expuestas a desembocaduras provenientes de las numerosas descargas de agua residuales, agroquímicos y otros productos industriales (Mendo, 2014).

Los organismos marinos pueden sintetizar un número limitado de hidrocarburos con cadenas de carbono desde el C_{15} al C_{21} , las plantas marinas como el *Sargassum* sp., producen del C_{21} al C_{33} , la presencia de dichos hidrocarburos en sedimentos, se determina zonas no contaminados (Calva *et al.*, 2005). En la Laguna Sontecomapan Veracruz México, las concentraciones de hidrocarburos en sedimentos superficiales estuvieron en un intervalo de 0,21 a 12,75 mg/kg; y en el núcleo fue de 1,33 hasta 32,01 mg/kg; en los sedimentos superficiales destacaron los n-alcenos C_{20} , C_{23} , C_{22} , C_{18} mientras que en los núcleos fueron de C_{30} , C_{32} , C_{21} , C_{28} , C_{20} , C_{25} , C_{25} , básicamente con una preponderancia de cadenas de carbonos pares, lo que demuestra un origen de los hidrocarburos saturados tanto biológico como antropogénicas (Calva *et al.*, 2005).

Por otro lado estudio realizado sobre la determinación de metales totales (Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg) en el agua de la Bahía interior del lago Titicaca, determinaron que los metales Cu, Zn y Pb, excepto As y Hg, superaron los valores recomendados en casi toda las estaciones (Moreno *et al.*, 2017). Por otro la concentración de metales en sedimento no superaron las referencias recomendadas (Moreno *et al.*, 2018). Sin embargo para años posteriores la presencia de metales podría incrementarse tanto el agua y sedimentos, de tal forma que debería ser un tema de alerta.

La cantidad de ingreso y el tiempo de residencia de los hidrocarburos derivados del petróleo en el ambientales tiende a tener consecuencias negativas significativos (Bonert *et al.*, 2010). Después de cinco años del derrame petróleo en el golfo de Venezuela, estudiaron la playa de Caimare, dando a conocer que 7,580.000 macroinvertebrados murieron, dentro de estos fueron las almejas comerciales, *Tivela mactroides* y *Donax striatus*, representados en conjunto 74 especies distintas, cinco años después solo han regresado cerca del 40% de las especies que originalmente habitaban, el deterioro de la biodiversidad fue profundo y permanecerá evidente por mucho tiempo (Severeyn *et al.*, 2003).

Así mismo en el estudio realizado sobre la mortandad de peces en el sector Chimu en la Bahía interior del lago Titicaca Puno, reportaron una mortandad significativa de 119,400

ind correspondiente a una biomasa de aproximadamente 2340,0. La especie con mayor pérdida fue *Orestias Agassi* y la menor *Trichomycterus dispar*, desde un punto ecotoxicológico el nivel de mortandad puede ser ocasionada por agente químicos de naturaleza orgánica, y mediante el programa GECOTOXIC, determinaron un riesgo ambiental de tipo alto (Argota, 2015).

La Bahía interior de Puno, sufre un proceso de eutrofización acelerada, debido a un mal manejo de las aguas residuales generadas por la población humana (Moreno *et al.*, 2017). Tal es así que las zonas con mayor acumulación de sedimentos se encuentran por el Espinar, muelle principal, terminal terrestre y UNA Puno (Loza *et al.*, 2016), a pesar que los sedimentos constituyen un componente importante del sistema acuático, la mayoría de los nutrientes se acumula en ellos y una vez contaminada pueden ser letal para los organismos (Northcote *et al.*, 1991). El análisis realizado sobre concentración de HAPs en sedimentos en la Bahía interior del lago Titicaca-Puno, fueron mayores a los valores recomendado por la norma Canadiens Sediment Quality, por lo que se puede suponer que existe un riesgo en el ambiente acuático (Zamalloa, 2014).

El muestreo realizado frente de la orilla occidental de la Bahía de Puno, resultaron elevadas concentraciones de fósforo (4,63 mg/L); nitratos (18,86 mg/L) y amonio (44,14 mg/L), y los valores más altos se encontraron hacia el sur del área de estudio (isla Espinar) evidenciado que esta zona es la más afectada (Beltrán *et al.*, 2015). Así mismo Vásquez (2016) señala; las concentraciones de: 1,2 mg/L de fosfato y 32,6 mg/m³ de clorofila-a, estos datos superaron los valores recomendados por el ECA-agua. Concluyendo que la Bahía interior de Puno presenta síntomas de una eutrofización extrema.

Salamanca (2003) realizó una investigación sobre macroinvertebrados en la BIP, registrando un total de 26441 individuos con 6 familias (Chironomidae, Tubificidae, Hirudinae Planorbidae, Hyalellidae y Ostracodas, obteniendo mayor cantidad en el mes de febrero (época lluviosa) y menor en el mes de junio (época seca), y según el índice de BMWP calificó en dos categorías como aguas de calidad crítica y calidad muy crítica, que significan aguas muy contaminadas y fuertemente contaminados. Sin embargo Medina (1984), señala que en los meses de febrero a junio, alcanzan máximos niveles de individuos, con densidades elevadas particularmente en junio, donde los Gasteropodos, hyalella y poríferos, pueden llegar alrededor de 5 000 organismos por metro cuadrado.

2.2. Marco teórico

2.2.1 Aspectos generales del lago Titicaca

El lago Titicaca, representa el lago más inmenso de agua dulce en América del Sur con una superficie de 8300 km^2 , longitud máxima de 195 km; con una profundidad máxima de 285 m y una extensión media de 50 km, siendo además el navegable más alto del mundo (Moreno *et al.*, 2017). El Lago Titicaca presenta tres zonas: el lago grande con 6311 km^2 , con una profundidad máxima de 281 m; el lago pequeño con 1292 km^2 , con una profundidad de 45 m; y la Bahía de Puno con 564 km^2 con una profundidad máxima de 30 m. Dentro de esta se distingue, la Bahía interior del mismo nombre con 16 km^2 , ubicada al frente de la ciudad de Puno (Donaires *et al.*, 2003; Northcote *et al.*, 1991). La BIP es uno de los cuerpos de agua dulce más importantes del altiplano peruano y uno de los ecosistemas más frágiles desde el punto de vista ecológico y ambiental; único en el mundo por su ubicación geográfica ($15^{\circ}13'19''$ - $16^{\circ}35'37''$ S; $68^{\circ}33'36''$ - $70^{\circ}02'13''$ W), su altitud media es de 3810 msnm (ANA, 2014).

A pesar de la gran extensión e importancia que tiene el lago Titicaca y ser la fuente de sustento de la población, sufre un proceso de eutrofización acelerada debido al manejo inadecuado de las aguas residuales por parte de la población de Puno (Loza *et al.*, 2016). A inicios de los años 80 investigaciones realizadas sobre la contaminación del lago Titicaca, indicaron que la zona más afectada es la Bahía interior de Puno (Beltrán *et al.*, 2015). Los valores obtenidos fueron notablemente diferentes a otras zonas del lago Titicaca (Northcote *et al.*, 1991).

2.2.2 Bahía interior de Puno

La Bahía interior de Puno, es un cuerpo natural de agua con 16 km^2 , con un sistema lentic por la presencia de barreras naturales formadas por totorales que lo divide de la Bahía mayor de Puno condición que limita el intercambio del agua (ANA, 2014). La Bahía interior del lago Titicaca presenta una profundidad máxima de 7,8m y una profundidad promedio 2,4 m; el área de superficie menor a 2 m de profundidad corresponde al 50% del área total de la Bahía Interior de Puno (Northcote *et al.*, 1991). La BIP tiene un canal dragado que facilita la navegación de embarcaciones turísticas hacia las islas flotantes de los Uros, con una profundidad promedio de 4,5 m, y una máxima de

6,5 m (ANA, 2014). Actualmente, el lugar es un cuerpo de agua dulce eutrofizada (Bahía Interior de Puno) debido a la contaminación generada por el ingreso de aguas residuales provenientes de los desagües y otras fuentes de la actividad humana de la ciudad de Puno, en el transcurso de aproximadamente cincuenta años (Moreno *et al.*, 2017). Lo que ha causado la degradación en esta parte del ecosistema, la abundancia de la lenteja de agua en la bahía interior refleja un claro estado de concentración de nutrientes y el poco flujo de las aguas en esta zona (Beltrán *et al.*, 2015).

2.2.3 Sedimento

El término sedimento se refiere al conjunto conformado por arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas del suelo que se deposita en el fondo de una masa de agua (Tarapa, 2014; Zamalloa, 2014). Puede ser de origen inorgánico (materiales arrastrados, fragmentos de rocas, arenas, tierras) o bien orgánicos (producidos en la misma masa de agua; organismos muertos, excrementos, materia orgánica) (Margalef, 1983; Loza *et al.*, 2016). La composición de estos materiales y la velocidad con que se acumulan expresa la actividad del lago; se estima que en el fondo se acumula 0,2 mm/año (Tarapa, 2014), valores muy inferiores a lo reportado por Loza *et al.* (2016), donde indica una tasa de incremento en sedimento de 4,1 mm/año para la Bahía interior del lago Titicaca de Puno.

Los sedimentos proporcionan un hábitat para muchos organismos bentónicos, también influyen en el destino ambiental del ecosistemas acuáticos (CCME, 1995). Los lagos someros como la Bahía interior de Puno, son generalmente polimicticos y naturalmente más productivos que los lagos profundos, y son susceptibles a ser rápidamente sedimentables y sufrir procesos de eutrofización acelerada (Loza *et al.*, 2016). Como también la presencia de contaminantes químicos llega a depositarse en los sedimentos y tienden asociarse con una amplia gama de impactos en las plantas y los animales que viven dentro y sobre los sedimentos, y una vez alterada puede ser letales para los organismos que no tienen la capacidad para bio-acumular.

2.2.4 Efectos de la sedimentación en el lago

Los procesos de sedimentación están relacionados con los patrones hidrobiológicos de flujo y topografía de la cubeta, la producción de sedimentos es un problema ambiental que conlleva a la colmatación, constituyéndose como una de las principales afecciones de

los embalses a nivel mundial (Loza *et al.*, 2016). Debido al proceso de arrastre de partículas de suelo hacia el cuerpo de agua y otros que son producidos dentro del cuerpo de agua por procesos biológicos; al existir exceso de sedimentos producidos por una alteración de estos contaminantes se convierte en más extenso agente contaminante en aguas superficiales (Zamalloa, 2014).

Los sedimentos contaminados que se depositan en el lago, alteran la cadena alimenticia, al destruir el hábitat de los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones acuáticas (Rodríguez *et al.*, 2014). Los sedimentos actúan como pozos de acumulación de contaminantes químicos y tóxicos, estudios realizados en Canadá indican que se encontraron el desarrollo de tumores y otras anomalías en peces que se alimentan de organismos acuáticos que generalmente habitan en el sedimento (CCME, 1995).

Los sedimentos de agua dulce como los marinos están frecuentemente contaminados por compuestos orgánicos industriales (hidrocarburos, compuestos clorados, y otras sustancias derivados del petróleo); que son depositados accidental o ilegalmente por el uso del combustible de los vehículos terrestres y acuáticos, en su mayoría se considera hidrofóbicos (Botello *et al.*, 2005). Por consiguiente se asocian rápidamente a los sedimentos y partículas suspendidas, por lo que representa una fuente de contaminación para los animales acuáticos (Srogi, 2007). En consecuencia, el sedimento constituye una parte muy importante en el ecosistema acuático, sin embargo una vez alterado podría perjudicar a muchos organismos que habitan en el sedimento (Rodríguez *et al.*, 2014). Así mismo los sedimentos aumentan el costo del tratamiento del agua causando problemas de mal olor, y otras consecuencias negativas (Tarapa, 2014).

2.2.5 Petróleo

El petróleo es un recurso natural no renovable que aporta el mayor porcentaje del total de energía que se consume en el mundo. Proveniente de las voces latinas “*petra*” y “*oleum*”, que significan piedra de aceite, y hace referencia a que éste aparece en la naturaleza aprisionado entre piedras (Villanueva, 2009). Se encuentran en estado natural en yacimientos subterráneos de los estratos superiores de la corteza terrestre. Así mismo, en la actualidad los hidrocarburos son un elemento esencial para el desarrollo social, y de gran importancia para la avance moderno (Rodríguez & Rodríguez., 2013).

2.2.6 Origen del petróleo

La teoría actual de origen orgánico recibe unánime aceptación, tanto por parte de los químicos, como de los geólogos e ingenieros de petróleo. Esta teoría indica que el gas natural y el petróleo provienen de la descomposición (específicamente fermentación) anaeróbica (en ausencia de oxígeno) microbiana de grandes masas de plancton (plantas y animales marinos), que existieron hace millones de años (Iñesta & García, 2002), los cuales quedaron atrapados en formaciones rocosas en el fondo de los mares antiguos, bajo la acción de altas presiones ejercidas por los sedimentos acumulados sobre ellos y altas temperaturas. Se quedaron en el lugar donde se acumularon en depósitos subterráneos, formando los yacimientos secundarios (Villanueva, 2009).

2.2.7 Propiedades físicas y químicas del petróleo

Los componentes del petróleo son los hidrocarburos (compuestos por elementos químicos únicamente de hidrógeno y carbono), los cuales representan el 50-98% en relación a la composición total (Botello *et al.*, 2005). El carbono (80-87%) y el hidrógeno (10-15%) son los principales y más abundantes elementos en el petróleo, aunque otros como el azufre (0-10%), nitrógeno (0-1%) y el oxígeno (0-5%) están presentes en cantidades menores ya sea en su forma elemental y grupos funcionales (Villanueva, 2009; Botello *et al.*, 2005). También está compuesto por algunos metales como Vanadio, Níquel, Hierro, Aluminio y Cobre, cuya concentración va dependiendo del tipo de petróleo crudo y la región en donde se formó (Botello *et al.*, 2005). El petróleo es un líquido viscoso de color verde, amarillo, marrón o negro, presenta una densidad de acuerdo a su composición que varía desde un líquido tan poco viscoso como la gasolina hasta un líquido tan espeso que apenas fluye (0,66 y 0,9785 g/ml), y el punto de ebullición depende de los diversos componentes que presente el petróleo. (Iñesta & García, 2002).

2.2.8 Hidrocarburos totales del petróleo (HTP)

Los HTP se usa para describir a un grupo extenso de sustancias químicas derivados originalmente del petróleo crudo (ATSDR, 1999). Constituidos en su mayoría de hidrogeno y Carbono, en cantidades menores por; nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales (Botello *et al.*, 2005; Villanueva, 2009). El número de carbonos y su estructura química determina su clasificación tanto en los hidrocarburos alifáticos e hidrocarburos

aromáticos. Los hidrocarburos ligeros son más volátiles, tienden a ser muy fluidos y se extienden con rapidez en la superficie del agua, así mismo se evaporan rápidamente desprendiendo fuertes olores y son normalmente inflamables y los hidrocarburos más pesados, son menos volátiles y poseen menor velocidad de evaporación y también son inflamables (Botello *et al.*, 2005). Los hidrocarburos se clasifican de la siguiente manera: Hidrocarburos alifáticos e hidrocarburos aromáticos (Martínez, 2013).

2.2.6.1. Hidrocarburos Alifáticos

Los hidrocarburos alifáticos son abundantes y que están presentes en la naturaleza en estado líquido y gaseoso (Botello *et al.*, 2005). En su mayoría son combustibles líquidos (gasolina, kerosene, etc); son incoloros de olor a petróleo (Villanueva, 2009). Presentan cadena lineal o isoalcanos de cadena ramificada con átomos de carbono desde C1 a C40, (Botello *et al.*, 2005; Teijon *et al.*, 1996). Los alcanos de cadena líneas se les considera también como parafinas volátiles, conformados por cadenas desde 1 a 10 átomos de carbono las que predominan los numero impares de átomos de carbono (Mamani *et al.*, 2003). Las cuales son generadas por las ceras de las plantas, tanto terrestres y acuáticas (Quijano & Castro, 2015).

Los isoalcanos son parafinas no volátiles, de cadenas lineales y ramificados formados desde 11 a 40 átomos de carbono, procedentes a partir de cianobacterias, y en grupo más importante están los hidrocarburos isoprenoides (conformados por 5 átomos de carbono); siendo el Pristano (C19), y el Fitano (C20) (Botello *et al.*, 2005). Procedentes principalmente del fitol de la clorofila, que se encuentran entre los biomarcadores más abundantes (Peters & Moldowan, 2005; Quijano & Castro, 2015).

2.2.6.2. Hidrocarburos Aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos son usualmente menos abundantes en el ambiente, contienen uno o más anillos bencénicos ligados o conectados en su estructura (Botello *et al.*, 2005). Los compuestos aromáticos son poco polares, insolubles al agua (Martínez, 2013). Hay dos clases de hidrocarburos aromáticos; las de bajo peso molecular compuesto por 2 a 3 anillos aromáticos como son; el naftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno y derivados. Los de alto peso molecular presentan de 4 a 7 anillos aromáticos como el criseno. Las características físicas y químicas varían de acuerdo a su peso molecular, y

en consecuencia en su distribución y conducta del ambiente, lo mismo sus efectos en los sistemas biológicos (Bustamante, 2007). Todos los hidrocarburos aromáticos son líquidos y sólidos, el punto de ebullición están cercanos a los de los cicloalcanos (Botello *et al.*, 2005).

Los HAPs, son compuestos estables y altamente tóxicos de alta persistencia y riesgo ambiental, algunos son potentes carcinógenos, teratogenicos y otros mutagenicos (Zamalloa, 2014; González *et al.*, 2013). Las principales fuentes son emisiones de la quema de carbón, leña o basura; incendios forestales; emisiones de automóviles y plantas generadoras de energía, de acuerdo a su origen los HAPs pueden ser diagénicos, pirogénicos, biogénicos o petrogénicos (González *et al.*, 2013).

La Agencia para Sustancias toxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR en inglés), la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comunidad Económica Europea (CEE) mencionan dieciséis HAPs (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoreno, benzo(k)fluoreno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, dibenzo(ah) antraceno y benzo(ghi)perileno) que son considerados como contaminantes prioritarios, debido a sus efectos negativos al ambiente y a la salud humana (ATSDRT, 1999).

2.2.7 Presencia de Hidrocarburos totales de petróleo en el ambiente

La contaminación ambiental es uno de los problemas preocupantes a nivel mundial, debido a la falta de responsabilidad desde el ciudadano hasta las grandes empresas, entes generadoras de residuos contaminantes peligrosos para el ambiente (Barrera, 2015). La distribución de los HTP se debe a las diversas fuentes de emisión directa o indirectas (González, 2013; Zamalloa, 2014). Donde algunas fracciones de los HTP flotan en el agua formando una capa superficial, y otras fracciones se depositan en los sedimentos, donde pueden permanecer por largo tiempo (Rodríguez *et al.*, 2014). El inadecuado manejo de hidrocarburos y otros compuestos contaminantes ocasionan el deterioro al ambiente y afecta la salud humana por sus efectos negativos como; cancerígenos, tóxicos y venenosos, se consideran sustancias de difícil biodegradación y se clasifican como residuos peligrosos (Vásquez *et al.*, 2010).

La contaminación de los sedimentos con HTP está estrechamente relacionada con la contaminación de aguas, ríos, lagos y océanos; y la naturaleza hidrofóbica de estos contaminantes favorece su distribución desde las aguas hacia las partículas de sedimentos (Zamalloa, 2014). No obstante, para nadie es desconocido que la explotación de hidrocarburos representa una de las mayores preocupaciones a nivel mundial por el potencial impacto negativo que tiene hacia el ecosistema (Mamani *et al.*, 2003).

2.2.8 Presencia de hidrocarburos totales de petróleo en el Agua

El agua es un recurso importante e indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible (ANA, 2009). Sin embargo diversos factores ocasionan alteraciones negativas, al verter sustancias químicas generadas a partir de las actividades antropogénicas. Los hidrocarburos contienen ciertas particularidades; en combinación con el agua que pueden fácilmente disolverse, así mismo sirve como medio de transporte desde el lugar donde ingresan hasta el lugar donde sedimentan, causando alteración negativa en los organismos acuáticos en el transcurso de los años (Luna, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014). La presencia de hidrocarburos en el agua puede provocar la disminución, y hasta la pérdida de ciertas especies acuáticas que no tienen la capacidad de degradarlos.

La Bahía interior de Puno en cuyas orillas se ubica la ciudad de Puno, el cuerpo de agua sufre altas concentraciones de nutrientes como nitrógeno y fósforo, causado inicios de eutrofización, producto de la contaminación generada por los vertimientos de aguas residuales municipales, que no han sido tratadas adecuadamente o simplemente no tuvieron ningún tipo de tratamiento. La eutrofización ha generado que el agua se vuelva perjudicial para los peces, debido a la presencia de nitrógeno amoniacal (Beltrán *et al.*, 2015; Loza *et al.*, 2016).

2.2.9 Presencia de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos

Los sedimentos son componentes importantes en el ambiente acuático; sin embargo son una fuente de contaminantes persistentes en el ambiente acuático, así como el almacén de los mismos, eliminándolos de la columna de agua y evitando con esto su biodisponibilidad (Zamalloa, 2014; Bonert *et al.*, 2010). Los hidrocarburos almacenados en los sedimentos acuáticos pueden derivarse de diversas fuentes; de zooplancton y fitoplancton, erosión del suelo, incendios forestales, de las desembocaduras urbanas y de

las emisiones vehiculares e industriales (Botello *et al.*, 2005; Zamalloa, 2014). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos indica que un galón de aceite lubricante usado contamina a un millón de galones de agua, la misma que satisface las necesidades de las personas.

En resumen, los sedimentos constituyen el más grande y estable depósito de hidrocarburos en el ambiente marino y podría ser liberado al ambiente cuando ocurra algún cambio drástico en las condiciones del mismo (Rodríguez *et al.*, 2014). Así mismo la presencia de hidrocarburos en sedimentos residuales ha despertado recientemente un gran interés y como resultado, se han establecido concentraciones máximas aceptables para algunas fracciones hidrocarburos aromáticos en lodos que van a ser utilizados para la agricultura (Zamalloa, 2014).

2.2.10 Hidrocarburos totales de petróleo en la salud humana

Todo el mundo está expuesto a los HTP de diferentes fuentes como; gasolineras, aceite derramado sobre el pavimento, y sustancias químicas usadas en el hogar y en el trabajo. En donde algunos compuestos de los HTP pueden perjudicar al sistema nervioso, produciendo dolores de cabeza y mareo (ATSDR, 1999). Los compuestos de las diferentes fracciones de los HTP afectan a la salud de manera diferente, algunos elementos pequeños como el benceno, tolueno y Xileno (que se encuentran en la gasolina) y el n-hexano pueden afectar el sistema nervioso, alterando los nervios conocido como “neuropatía periférica” (Kumar *et al.*, 2015).

La ingestión de otros productos como el kerosene y gasolina, produce irritación de la garganta y el estómago, depresión del sistema nervioso, dificultad para respirar. Sin embargo no existen pruebas médicas para determinar si una persona ha estado expuesto a HTP, pero si se puede determinar por algunos componentes o fracciones, por ejemplo el n-hexano y el fenol pueden medirse en la orina, el benceno, kerosene y gasolina pueden medirse mediante el olor del aliento (ATSDR, 1999). La agencia de internacional para investigación del Cáncer (IARC en inglés) ha determinado que el benzo(a) antraceno, benzo(a)pireno, dibenzo(ah) antraceno, 3-metilcolantreno y 7,12-dimetilbenz(a)antraceno son principales carcinogénico químicos en seres humanos (Kumar *et al.*, 2015).

2.2.11 Legislación Ambiental relacionado a los Hidrocarburos

La concentración total de los hidrocarburos se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos, sin embargo *no se tiene establecido los ECA para sedimentos, de tal manera se tomó el, Reglamentó Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas en ecosistemas sensibles del Ecuador.*

- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas establecen Disposiciones Complementarios**

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático: Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos: Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de aguas lenticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

TABLA 1. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aguas, El Peruano, (2017)

Parámetro	Unidad de medida	E1: Launas y lagos
ORGANICO		
Compuestos orgánicos volátiles		
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/L	0,5

El Peruano (2017)

- **Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM – Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos**

Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

TABLA 2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, El Peruano (2017)

Parámetro	Unidad de medida	Suelo Agrícola
ORGANICO		
Hidrocarburos totales		
Fracción de hidrocarburos F1 ($C_1 - C_{10}$)	mg/kg	200
Fracción de hidrocarburos F2 ($C_{10} - C_{20}$)	mg/kg	1200
Fracción de hidrocarburos F3 ($> C_{20} - C_{40}$)	mg/kg	3000

El Peruano (2017)

- **Decreto Ejecutivo 1215, Reglamentó Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas; Registro Oficial 265 de 13 de Febrero del 2001- Ecuador**

Art. 2.- Parámetros y definiciones.- Para los fines del Presente Reglamento, se incorporan y forman parte del mismo, los parámetros, límites permisibles, formatos y métodos así como las definiciones de los términos generalmente utilizados en la industria hidrocarburífera y en la temática ambiental.

TABLA 3. Límite máximo permisible para ecosistemas sensibles según el Decreto Ejecutivo 1215- Ecuador.

Parámetro	Expresado en	Unidad	Uso Agrícola	Uso Industrial	Ecosistema sensible
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/kg	< 2500	< 4000	< 1000

RAOH (2001)

Ecosistema sensible, se les determina a áreas sensibles a cambios climáticos y al desarrollo mismo, por lo que tienen que competir por los nutrientes, el agua y la luz, muriendo muchos de ellos ante esta situación.

2.2.12 Macroinvertebrados Bentónicos

Los macroinvertebrados son aquellos organismos que viven el fondo de ríos y lagos, adheridos a la vegetación acuática, rocas y sedimentos. Se les denomina macroinvertebrados porque su tamaño va de 0.5mm hasta 5 mm por lo que se puede observar a simple vista (Oscoz, 2009; Roldan, 2016). Generalmente están presente los artrópodos (insecto, arácnido, crustáceo), y dentro de esto dominan los insectos en

especial en su ciclo larvario, los macroinvertebrados son el grupo dominante en los ríos, de lagos y humedales (Alba *et al.*, 2002).

Los macroinvertebrados son generalmente abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el tamaño suficiente para ser observados a simple vista (Salamanca, 2013), para poder identificarlo solo se requiere indicar a nivel de familia para algunas métricas (Alba *et al.*, 2002). El uso de los Macroinvertebrados acuáticos, constituye hoy en día una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua, siendo necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema (Alba *et al.*, 2002). Así mismo estos individuos proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, porque algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir, y otros se desarrollan con normalidad en zonas con presencia de contaminantes (Salamanca, 2003).

2.3.13 Índices BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System)

La evaluación de la calidad de agua, en la actualidad se ha complementado con monitoreos biológicos, con la utilización de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua, lo cual permite detectar condiciones ambientales específicas y los cambios producidos por la contaminación (Salcedo *et al.*, 2013). El índice BMWP es usado de manera extensiva, es un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua, usando los macroinvertebrados acuáticos (Roldan, 2016). El índice solo requiere llegar hasta el nivel de familia, y los datos son cualitativos (presencia/ausencia), por lo que no es necesario cuantificar la abundancia de los grupos (Reyes, 2012).

TABLA 4. Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System) (Alba *et al.*, 2002)

CLASE	RANGO	CALIDAD	INTERPRETACION	COLOR CARTOGRAFICO
I	> 120	Muy buena	Aguas muy limpia	Azul
II	101-120	Buena	Aguas limpia	Azul Claro
III	61-100	Aceptable	Aguas medianamente contaminada	Verde
IV	36-60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16-35	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	< 15	Muy Critica	Aguas fuertemente contaminada	Rojo

Alba *et al.* (2002)

2.4 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).

Ecosistema: Sistema natural formado por conjuntos de organismos vivos independientes que comparten un mismo hábitat (Huisa, 2017).

Ecosistema sensible: Se les determina a áreas sensibles a cambios climáticos y también siendo sensible al desarrollo mismo, por lo que tienen que competir por los nutrientes, el agua y la luz, muriendo muchos de ellos ante esta situación (RAOH, 2007).

Hidrocarburos totales de petróleo: Compuestos formados en su mayoría por átomos de hidrogeno y carbono; y en cantidades menores por azufre, oxígeno, nitrógeno, níquel y vanadio, se considera como una mezcla líquida compleja de gases, líquidos y sólidos (Bustamante, 2017).

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

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

Petróleo: Mezcla compleja de compuestos químicos cuyas características y proporción de sus constituyentes varían en función de su origen geológico y geográfico, el cual está compuesta por una mezcla de hidrocarburos (Villanueva, 2009).

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 (Zamalloa, 2014).

Sedimentos contaminados: Los sedimentos contaminados alteran la cadena alimenticia, al destruir el hábitat de los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones acuáticas (Botello *et al.*, 2005).

Sedimentos contaminados por hidrocarburos: Es aquel sedimento que se encuentran alterada hidrocarburos, y que por sus cantidades afecten el ecosistema acuático del agua (Botello *et al.*, 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La investigación se realizó en la Bahía interior del lago Titicaca Puno (Fig. 1). El cual es un cuerpo natural de agua con 16 km^2 , con un sistema lenticó por la presencia de barreras naturales formadas por totorales que lo divide de la Bahía mayor de Puno condición que limita el intercambio de agua (ANA, 2014). Que presenta una profundidad promedio de 4,5 m, y una máxima de 6,5 m. Actualmente la Bahía interior de Puno es un espejo de agua susceptible a la contaminación por la desembocadura de aguas residuales de origen antropogénicas, generadas por de la población de Puno (Salamanca, 2013). También considerada como una zona turística descuidada en donde existe un manejo inadecuado de los residuos generados por las embarcaciones turísticas, así mismo es un lugar con estudios escasos sobre la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos.

El área de estudio está ubicado en siete estaciones donde: la estación 1 (E-1) se ubica en las coordenadas: $15^{\circ} 49' 47.22''$ latitud sur y $69^{\circ} 59' 39.58''$ longitud oeste, cerca al hotel isla Esteves; la estación 2 (E-2) ubicada en las coordenadas $15^{\circ} 50' 5.96''$ latitud sur y $70^{\circ} 00' 53.68''$ latitud sur, en el margen izquierdo del puerto; la estación 3 (E-3) ubicada en las coordenadas: $15^{\circ} 50' 05.24''$ latitud sur y $70^{\circ} 00' 54.10''$ longitud oeste, en el margen derecho del puerto, donde en el puerto se encuentran estacionadas gran cantidad de embarcaciones turísticas y al vez está ubicado un grifo de la empresa PECSA; estación 4 (E-4) en las coordenadas: $15^{\circ} 49' 44.96''$ latitud sur y $69^{\circ} 59' 41.68''$ longitud oeste, ubicado por la ruta hacia a la isla de los Uros, donde diariamente transitan las embarcaciones turísticas; la estación 5 (E-5) ubicada en las coordenadas: $15^{\circ} 50' 40.65''$ latitud sur y $70^{\circ} 00' 51.46''$ longitud oeste, ubicado por el terminal terrestre; estación 6 (E-6) en las coordenadas: $15^{\circ} 50' 53.22''$ latitud sur y $70^{\circ} 0' 15.68''$ longitud oeste, ubicado cercano a la laguna de oxidación, zona donde recibe todos los residuos generados por parte de la población de Puno; y la estación 7 (E-7) ubicada en las coordenadas: $15^{\circ} 50' 54.69''$ latitud sur y $69^{\circ} 57' 15.58''$ longitud oeste, ubicado por el antiguo faro (captación de Chimú).



FIGURA 1. Área de estudio, siete estaciones de evaluación en la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018

3.2 Tipo de estudio

La investigación es de tipo descriptivo, por haber realizado la toma de muestra de sedimentos en siete estaciones de estudio, donde se evaluó la concentración de hidrocarburos totales de petróleo, en dos épocas (lluviosa y seca); ejecutándose además la sistemática de macroinvertebrados bentónicos de la Bahía interior de Puno.

3.3 Población y Muestra

La Bahía interior del lago Titicaca de Puno presenta un área de 16 km^2 , del cual se determinó siete puntos de estudio para la investigación; en donde seis puntos (E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6) se encuentran altamente influenciados por la actividad antropogénicas, y el punto (E-7) se determinó como testigo puesto que se encuentra ubicado en el sector con menor influencias por parte de actividad de la población de Puno.

3.4 Metodología

3.4.1 Determinación de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en el sedimento de las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.

a) Frecuencia y tiempo

Durante 8 horas de trabajo se realizó el primer muestreo en el mes de febrero del 2017 considerada como época de lluvia, y el segundo muestreo se ejecutó en el mes de junio del 2018 considerada como época seca.

b) Descripción detallada

- **Procedimiento en campo**

La evaluación se realizó aleatoriamente a bordo de una lancha a motor, se utilizó un GPSMAP 62s para la ubicación de las estaciones de muestreo, se tomó datos de temperatura, profundidad, viento y nubosidad de las siete estaciones de evaluación. Para la extracción de los sedimentos se utilizó una draga Ekman facilitadas por la Facultad de Ciencias Biológicas área de ecología, para extraer aproximadamente 2 kg de sedimentos, donde rápidamente se almacenaron 300g de muestra en frascos de vidrio ámbar previamente desinfectados y debidamente rotulados, las cuales fueron selladas con tapa rosca y conservadas en hielera a 0°C, hasta su análisis en el laboratorio (INVEMAR, 2003; UNESCO, 1982).

- **Procedimiento en laboratorio**

Se inició destrozando las piedras y terrones de barro; hasta obtener partículas pequeñas de la muestra, luego se secó en una estufa a 104 °C, se tamizó en un tamiz de 45 µm para homogenizar. Se colocó de 5g de muestra seco y finamente molido en un cartucho de celulosa, se adicionó sulfato de sodio anhidro en una relación 1:1. Seguidamente se colocó cada cartucho, dentro de la columna extractora del equipo Soxhlet, adicionando 125 ml de diclorometano en el matraz del balón, se colocó suficientes perlas de ebullición para evitar la proyección del solvente al calentarse. Se ajustó el equipo Soxhlet para iniciar el calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 45 °C. Se mantuvo el reflujo en estas condiciones durante 8 horas, lo que permitió la liberación de los analitos. Después de 8 horas, se obtuvo los hidrocarburos totales de petróleo, seguidamente se pasó el matraz bola a un rotoevaporador para tener la concentración del extracto orgánico a sequedad.

Luego se recuperó el concentrado en un vial de 40 ml con tapón de teflón. Finalmente para la cuantificación se utilizó el método de gravimetría de hidrocarburos totales de petróleo. El análisis se realizó en el laboratorio de investigación y servicios (LABINVSERV) de la facultad de ingeniería química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA).

c) Método estadístico

Para determinar las diferencias entre las estaciones de muestreo, los datos fueron analizados con la prueba estadística paramétrica análisis de varianza completamente al azar (ANDEVA), con nivel de significancia de error a 0.05, el modelo estadístico lineal para este tipo de diseño fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable de respuesta en la j- esima repetición del i-esimo tratamiento

M : Media general

T_i : Efecto del tratamiento i.

e_{ij} : Error del aleatorio.

Así mismo para realizar el respectivo contraste de los datos se empleó la prueba de Tukey, que sirve para determinar las diferencias entre los tratamientos, la fórmula es la siguiente:

$$w_{ijq} = \sqrt{\frac{CME}{2} \left[\frac{1}{r_i + r_j} \right]}$$

Dónde:

W_{ij} : Comparador para el par de tratamientos i,j

q : Valor de la tabla de Tukey, con grados de libertad de tratamientos y grados de libertad del error

CME : Cuadrado medio del error

$r_i + r_j$: Repeticiones de los tratamientos i,j

3.4.2 Registró de macroinvertebrados bentónicos en las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.

a) Frecuencia y tiempo

Para el registró de macroinvertebrados se realizó durante 8 horas de trabajo el primer muestreo se ejecutó en el mes de febrero del 2017 considerada como época de lluvia, y el segundo se realizó en el mes de junio del 2018 considerada como época seca, y durante 4 días de trabajo en laboratorio se realizó el reconocimiento y cuantificación de macroinvertebrados bentónicos.

b) Descripción detallada

- **Procedimiento en campo**

La metodología aplicada para la evaluación de los macroinvertebrados fueron según el Manual de Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú (Samanez *et al.*, 2014).

Para evaluar los macroinvertebrados, se utilizó los mismos sedimentos que fueron extraídas para los hidrocarburos totales de petróleo, una vez obtenida las muestras se colocaron en un recipiente y se lavaron lentamente haciendo el uso de dos tamices, en el mismo cuerpo acuático, hasta disminuir de residuos (restos de vegetación, basura, terrones de piedra etc.), las muestras obtenidas fueron colocadas en plásticos herméticos debidamente etiquetado, para mayor confianza se usó papel cansón el cual se colocó dentro del plástico hermético debidamente marcado; las muestras obtenidas fueron trasladadas al Gabinete de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano, para su posterior identificación y cuantificación, siguiendo los pasos para recuento de los individuos, según el indicie BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System).

- **Procedimiento en laboratorio**

Los macroinvertebrados fueron colocadas en bandejas blancas, bien iluminadas, se aclararon con abundante agua para eliminar restos de residuos, seguidamente se coloca en una placa Petri, para identificarlas y contabilizarlas se utilizó el estereoscopio de 10x, con la ayuda de pinzas se procedió a la separación de los organismos e identificarlas por

familia, las cuales fueron apuntadas en la ficha de conteo, con base a los datos obtenidos realizamos el puntaje correspondiente a cada familia según el BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System). Para el reconocimiento de macroinvertebrados se realizó en el gabinete de Limnología de la Facultad de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano Puno (UNAP).

En la investigación se determinó el índice de diversidad de especies presentes en las siete estaciones evaluadas con el índice de Shannon – Wiener.

c) Índice de Shannon-Weaver (H')

$$H' = -p_i \log p_i$$

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

Donde:

p_i : indica número de individuos

N: Abundancia total

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Concentración de hidrocarburos totales de petróleo en el sedimento de las diferentes estaciones de estudio de la Bahía interior de Puno.

Para obtener un mejor resultado se presenta los registros obtenidos en campo de acuerdo a dos épocas climáticas (lluviosa 2017 y seca 2018), las cuales fueron obtenidas en siete estaciones de muestreo de la Bahía interior del lago Titicaca de Puno.

Época lluviosa

Las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en los sedimentos para la época lluviosa se muestra en la Tabla 5, donde la estación E-3 (margen derecho del puerto) presentó mayor concentración de HTP, con un promedio de 1648,3 ppm, seguidamente las estaciones E-4 (ruta hacia la Isla) y E-6 (laguna de oxidación), registraron un promedio de 1485,6 y 1304,8 ppm de HTP respectivamente. Y la menor concentración se registró en la E-7 (faro antiguo - Chimú) con un promedio de 368,67 ppm de HTP. En el caso particular de la estación E-2 ubicado en el margen izquierdo del puerto, se registró un promedio de 426,22 ppm de HTP, menor al dato obtenido en el margen derecho del puerto, esta diferencia sería debido a que en la E-2 existe escasa actividad de las embarcaciones, a diferencia de la E-3 donde realizan diariamente salidas turísticas, y además el mantenimiento de las embarcaciones empleadas para estas actividades.

Según el coeficiente de variación nos indica que la E-1 es de 9,31%; E-3 es de 1,34%, E-5 es de 6,97%; E-6 es de 5,17% y la E-7 es de 4,66% nos da a conocer que no existe dispersión elevada entre las muestras, sin embargo las zonas E-2 y E-4 presentaron 35,56% y 27,52 % respectivamente, lo que denotaría una diferencia media, sin embargo es aceptable ya que no supera el 50%. La estación E-2, lugar donde existe disminución de volumen de agua debido a la profundidad por la acumulación de sedimentación (Loza *et al.*, 2016), la gran cantidad de embarcaciones genera el movimiento del agua y sedimento, no muy lejano se encuentra la desembocadura de un alcantarillado, es necesario mencionar que en el análisis del laboratorio se observó terrones de barro y piedra alternado los resultados. Así mismo en la E-4 transitan diariamente las embarcaciones turísticas generando movimientos en el cuerpo de agua, por lo cual altera las muestras obtenidas.

TABLA 5. Concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en los sedimentos de diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época lluviosa

Estaciones	Época lluviosa				
	Concentración de HTP Ppm			D.E	C.V (%)
	1	2	Promedio		
E-1	874,18	1053,6	963,87	89,71	9,31
E-2	577,81	274,63	426,22	151,59	35,56
E-3	1626,2	1670,4	1648,3	22,1	1,34
E-4	1076,7	1894,5	1485,6	408,9	27,52
E-5	432,57	376,18	404,38	28,19	6,97
E-6	1237,2	1372,3	1304,8	67,55	5,17
E-7	385,84	351,49	368,67	17,17	4,66

Según el análisis de varianza, donde el p-valor $0,0035 < 0,05$ el cual sugiere rechazar la hipótesis nula, es decir existe diferencias significativas entre las estaciones de muestreo sobre la concentración de hidrocarburos totales de petróleo. Según el contraste de Tukey (Figura 2), las estaciones E-7, E-5 y E-2 son iguales, así mismo las estaciones E-3, y E-4 son similares en su comportamiento de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo, por lo que podemos afirmar que la presencia de HTP fue mayor en el margen derecho del puerto de Puno y en la ruta hacia la Isla de los Uros.

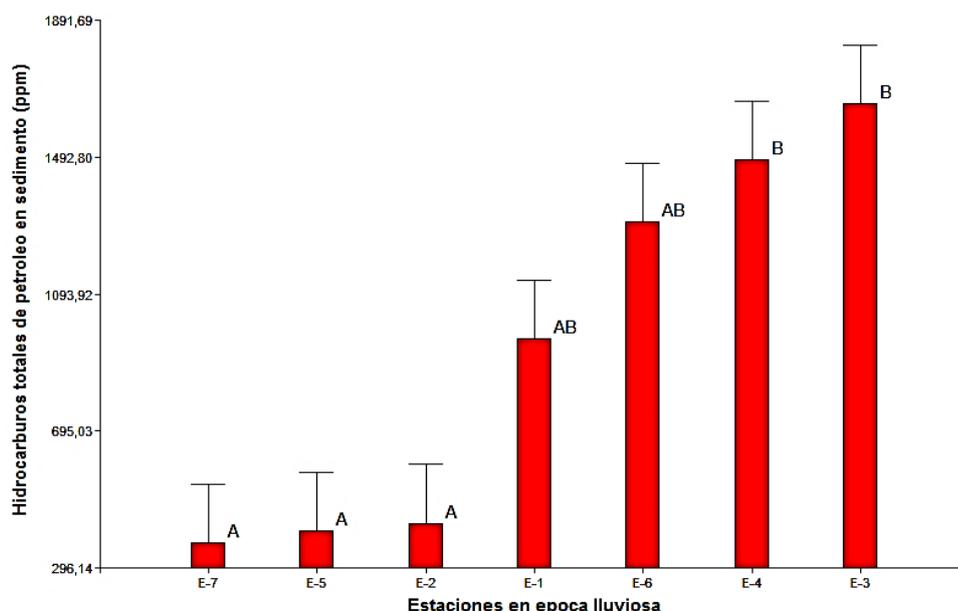


FIGURA 2. Prueba de Tukey de la concentración de hidrocarburos totales en sedimentos en las diferentes estaciones de la Bahía Interior de Puno, época lluviosa.

Las estaciones E-3 y E-4 a menudo están influenciados por la presencia de HTP, la E-3 está ubicada en el margen derecho del puerto, donde presentó 1648,3 ppm de HTP, en esta zona pernoctan las embarcaciones, realizando además mantenimiento y cambio de aceites, así mismo existe un grifo de la empresa PECSA. Zamalloa (2014) realizó investigación en la Bahía interior de Puno, y registró la presencia de HAPs como: Fenantreno, 30 ug/kg; Antraceno, 9 ug/kg, Fluorantreno, 372 ug/kg; Pireno, 579 ug/kg; Benzo(a)pireno, 17 ug/kg; Dibenzo(a,h)-antraceno, 24 ug/kg; Benzo(g,h)perileno, 19 ug/kg e Indeno (1,2,2, -c,d), pireno, 36 ug/kg. En Punta Morales y Costa de pájaro en Costa Rica registró en los puntos 3 y 4; 8137 mg/kg y 10463 mg/kg de HTP respectivamente, zonas donde se estacionan gran cantidad de embarcaciones de pescadores (Rodríguez *et al.*, 2014), por lo tanto la presencia de estos contaminantes, generalmente son elevadas por la actividad antes mencionada (González *et al.*, 2006).

La estación E-4 presentó 1485,6 ppm de HTP, zona donde transitan diariamente las embarcaciones turísticas. Zamalloa (2014) registró la presencia de HAPs como: Naftaleno 58 ug/kg, y Fenantreno 9 ug/kg. Cabe recalcar que en febrero se realiza fiesta patronal de la Candelaria, teniendo una considerable presencia de personas, que visitan las zonas turísticas (Salamanca, 2013), incrementando el tránsito de las embarcaciones y residuos contaminantes.

Según el reglamento ambiental de operaciones hidrocarburíferas del Ecuador establece una concentración máxima de 1000 mg/kg de HTP para ecosistemas sensibles. Sin embargo en nuestra investigación las estaciones E-3, E-4 y E-6, sobrepasaron la concentración indicada, lo que debería ser un dato importante para preocuparnos y realizar investigaciones más extensas sobre la presencia de hidrocarburos totales en sedimentos, así mismo Zamalloa (2014), registro valores mayores que la concentración que recomienda la (ISQGs) Canadiens Quality (Anexo C). Por otro lado según los ECA para agua; superaron los valores recomendados en todas las zonas de muestreo, lo cual representa un nivel de valoración en cuanto a sus concentraciones totales de hidrocarburos en agua. Sin embargo según los ECA para suelo, no superaron los valores recomendados en ninguna de las estaciones.

Época Seca

Al ser la Bahía interior de Puno un cuerpo de agua casi cerrado con una escasa circulación y recambio con la Bahía exterior del lago Titicaca (Northcote *et al.*, 1991), generalmente tienden a acumularse los contaminantes en el cuerpo de agua y sedimentos, y sobre todo en época seca (Valenzuela *et al.*, 2005). Según los resultados obtenidos, la concentración de hidrocarburos totales de petróleo incrementaron considerablemente en todas zonas de evaluación con respecto a los valores de la época lluviosa.

La mayor concentración de HTP se obtuvo en el margen derecho del puerto con un promedio de 2635,29 ppm; las estaciones E-2 (margen izquierdo del puerto) y E-4 (ruta hacia la Isla los Uros) con 1635,29 y 2022,47 ppm de HTP; estos valores fueron menores a comparación con la E-6 (laguna de oxidación) que presentó una concentración de 2386,88 ppm (Tabla 6). Estas diferencias puede estar influenciado por los factores fisicoquímicos, y además por la forma de recirculación del agua que presenta la Bahía interior de Puno, lo cual permitiría la transportación de contaminantes a zonas aledañas como por la laguna de oxidación. Según el coeficiente de variación nos indica que para todas las estaciones no existe dispersión elevada entre las muestras, ya que en la época seca la corriente de agua tiende a calmarse y el muestreo de datos fue mejor.

TABLA 6. Concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en los sedimentos de diferentes estaciones de la bahía interior de Puno, época seca.

Estaciones	Época seca				
	Concentración de HTP Ppm		Promedio	D.E.	C.V. (%)
	1	2			
E-1	1267,01	1118,42	1192,71	74,29	6,22
E-2	1851,86	1418,73	1635,29	216,57	13,24
E-3	2851,86	2418,73	2635,29	216,57	8,21
E-4	2069,58	1975,37	2022,47	47,10	2,33
E-5	1152,97	1902,79	1527,88	374,91	24,54
E-6	2106,98	2666,78	2386,88	279,9	11,73
E-7	801,9	883,91	842,90	41,05	4,87

Según el análisis de varianza (Tabla 8), indica rechazar la hipótesis nula y aceptar la alterna el cual indica que existen diferencias significativas entre las estaciones, ya que el

p-valor $0,0054 < 0,05$ es por ello que realizamos la prueba de contraste Tukey para indicar cuál de las estaciones es diferente. Según el contraste (Figura 3) indica que existe diferencias entre las zonas; E-7 (Captación de Chimú) con la zona E-3 (margen derecho del puerto), por lo que se puede deducir que la presencia de HTP fue elevada en el puerto principal. Por otro lado las zonas E-5, E-2 y E-4 son significativamente iguales.

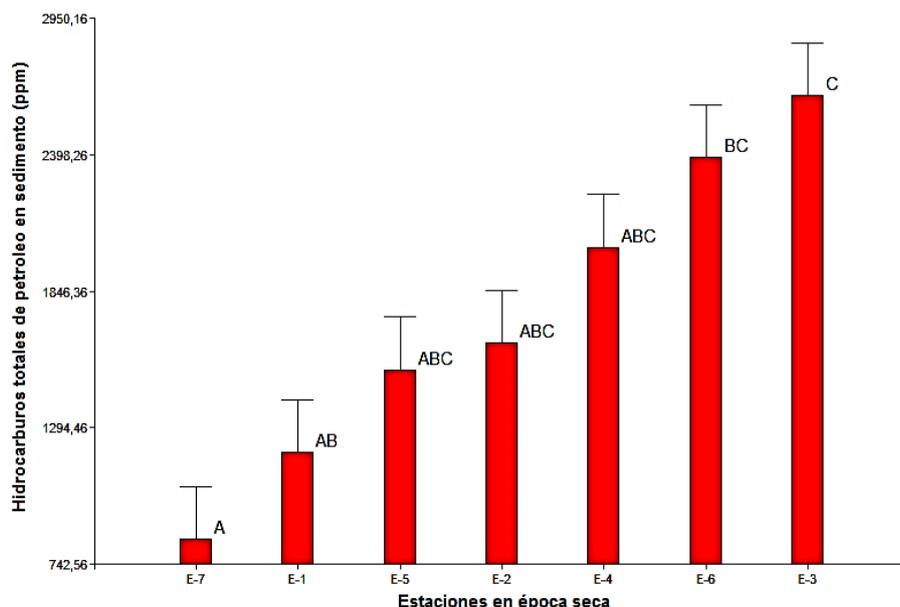


FIGURA 3. Prueba de Tukey de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época seca

En la época seca la mayor concentración se registró en la E-3 con 2635,29 ppm de HTP. En la comunidad de costa de Pajaros-Costa Rica presentó valores superiores, en los puntos 2 y 4 registró 24453 y 3775 mg/kg de HTP correspondientemente; en dichas zonas se estacionan gran cantidad de embarcaciones de pescadores donde realizan mantenimiento que generan residuos tóxicos, así mismo en los puntos 10, 9 y 8 presentaron 10942, 59826 y 4456 mg/kg de HTP respectivamente, los cuales están localizados cerca al terminal portuario de LAICA (empresa azucarera), cuyo muelle recibe barcos de hasta 3000 toneladas (Rodríguez *et al.*, 2014). De igual forma en laguna de Tamiahua México, en la estación 14 (Boca del río Tancochin) obtuvo 12956 mg/kg y en la E-4 (San Jeronimo) 4,261 mg/kg de HTP, en las estaciones mencionadas se encuentran gran cantidad de embarcaciones de pescadores (Mendo, 2014).

Seguidamente en la zona E-6 se obtuvo un promedio 2386,88 ppm de HTP, el cual está ubicado cerca de la laguna de oxidación, lugar donde es depositado todo los residuos generados por la población de la ciudad de Puno. En Ecuador en la estación de Miraflores se registró 1124,33 mg/kg de HTP, zona donde tienen menor influencia de las mareas y es considerada como las más afectada por aguas residuales de uso doméstico, de las cuales varias urbanizaciones no poseen sistema de alcantarillado sanitario (Cárdenas, 2010). De igual forma en México obtuvieron 2619 mg/kg de HTP, zona ubicada a desembocaduras provenientes de las numerosas descargas de agua residuales, agroquímicos y otros productos industriales (Mendo, 2014)

Excepto la E-7, todas las estaciones presentaron valores elevadas según los valores máximos permitidos para ecosistemas sensibles (RAOH), donde se establece una concentración máxima de 1000 mg/kg de HTP. Las altas concentraciones de hidrocarburos pueden generar diversos efectos, principalmente a los individuos que tienen contacto directo con los sedimentos (Zamalloa, 2014), y mediante la cadena alimenticia afectar a las salud humana, sin embargo todo el mundo está expuesto a los HTP de diferentes fuentes como; gasolineras, aceite derramado sobre el pavimento, y sustancias químicas usadas en el hogar y en el trabajo, algunos compuestos de los hidrocarburos (ATSDR, 1999). Que pueden generar diversos malestares en la salud de las personas.

Entre épocas lluviosa y seca

La mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo, se registró en la época seca – 2018 con un promedio de 1749,06 ppm, y la menor en la época lluviosa -2017 con un promedio de 943,12 ppm (Tabla 7). Los datos obtenidos indican diferencias considerables entre las épocas, lo que da a conocer que en épocas seca se concentra mayor cantidad de HTP en sedimentos. Los factores fisicoquímicos y biológicos estarían influenciado a dichas diferencias, ya que en época de lluvia se incrementa la precipitación pluvial; existe también la presencia vientos constantes, el cual genera movimientos bruscos al cuerpo de agua, además está expuesto al ingreso de aguas residuales contaminadas, mediante la laguna de oxidación, ya que tienden a rebasar en época de lluvia.

TABLA 7. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo en dos épocas lluviosa y seca, en el sedimento de las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018

Estaciones	Épocas climáticas	
	Lluviosa	Seca
E-1	963,87	1192,71
E-2	426,22	1635,29
E-3	1648,3	2635,29
E-4	1485,6	2022,47
E-5	404,38	1527,88
E-6	1304,8	2386,88
E-7	368,67	842,90
Promedio	943,12	1749,06

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 8), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna el cual indica, diferencias significativas entre las épocas climáticas, ya que el p-valor $0,0265 < 0,05$ debido a lo indicado es por ello que aplicamos la prueba de contraste Tukey. Según la prueba de contraste (Tabla 11) entre las épocas, existen diferencias significativas, teniendo mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo en la época seca.

TABLA 8. Prueba de contraste Tukey del nivel de concentración de hidrocarburos totales en sedimento en dos épocas lluviosa y seca

Épocas	Medias	N	E.E.	
Lluviosa	943,12	7	225,45	A
Seca	1749,06	7	225,45	B

La mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo se registró para la época con un promedio de 1749,06 ppm, y la menor en la época lluviosa con un promedio de 943,12 ppm de HTP. De igual forma en Costa Rica registraron mayor concentración en época seca con 60000 mg/kg de HTP, y 331 mg/kg HTP en época lluviosa (Rodríguez *et al.* 2014). Investigación realizada en dos zonas portuarias México, obtuvieron valores altos en época de sequía con 106 y 754 mg/kg de HTP, y para la estación de lluvia las concentraciones se redujeron considerablemente en ambas zonas, con 0,10 y 142 mg/kg de HTP (Valenzuela *et al.*, 2005).

Estas diferencias puede estar influenciado, a los fuertes vientos ocasionales, turbulencias y flujos internos que modifican el lecho, y por otro lado también existe las razones antrópicas como el ingreso de aguas residuales sin tratamiento previo (Loza *et al.*, 2016). Así mismo las fuertes escorrentías en la época de lluvia arrastran la erosión del suelo, cabe menciona también que en la bahía interior de Puno existe los permanentes movimientos de las embarcaciones turísticas que utilizan motores potentes, estos factores juegan un rol destacado en la degradación y remoción de los hidrocarburos totales de petróleo en el medio acuático. Además se debe considerar el tiempo de exposición así como la vía de entrada de las sustancias químicas (Moreno *et al.*, 2017).

Por otro lado en la Laguna Sontecomapan México, el año 1991 registraron 11,24 mg/kg, y en el año 1992 obtuvieron 24,79 mg/kg, de hidrocarburos alifáticos (Calva *et al.*, 2005). A lo largo de 3 años de estudio en la Bahía de Buenaventura obtuvieron 63 mg/kg de HTP y en la ensenada de Tumaco 29 mg/kg (Marrugo, 1990) de HTP. Dichos datos dan a conocer que existe un ingreso constante de hidrocarburos al sistema acuático. Contrariamente en Ecuador registraron datos de 1124 mg/kg en el año 2009 valores que fueron inferiores a los registrados en el año 2007 con una concentración de 145873 mg/kg de HTP, esta diferencia se debió a que la zona fue dragada, de tal forma que algunos hidrocarburos tienden a dispersarse a diferentes espacios, lo cual permite la degradación natural, así como la transportación de dichos contaminantes en zonas colindantes (Cárdenas, 2010).

El promedio de la época seca 1749,06 mg/kg de HTP, supero el valor recomendado por el RAOH para ecosistemas sensibles de 1000 mg/kg, según estudios la concentración excesiva del hidrocarburos totales ha dejado tragedias ecológicas de gran impacto sobre el ambiente global, afectando al ecosistemas acuático y a la salud de las personas (Martínez, 2013). Sabiendo que un galón de aceite lubricante usado contamina a un millón de galones de agua, la misma que satisface las necesidades de mil personas (Rodríguez *et al.*, 2014). En consecuencia los sedimentos constituyen el más grande y estable depósito de contaminantes en el ambiente acuáticos, que podrían ser liberados cuando ocurra algún cambio drástico en las condiciones del mismo (Rodríguez *et al.*, 2014). Así mismo según los ECA para agua superaron los valores recomendados, sin embargo según los ECA para suelo no superaron los valores permisibles.

5.2 Registró de macroinvertebrados bentónicos en la diferentes zonas de estudio de la Bahía interior de Puno.

Se registró un total de 9385 individuos de macroinvertebrados bentónicos en todo el periodo ejecutado, pertenecientes a cinco familias; la más representativa fue Chironomidae con 2886 individuos presentes en toda la estaciones; seguidamente la familia Tubificidae con 2133 individuos, la familia Hyallellidae presentó 2355 individuos; las demás familias son menos representativas en cuanto abundancia, pero son la composición de la comunidad (Figura 4).

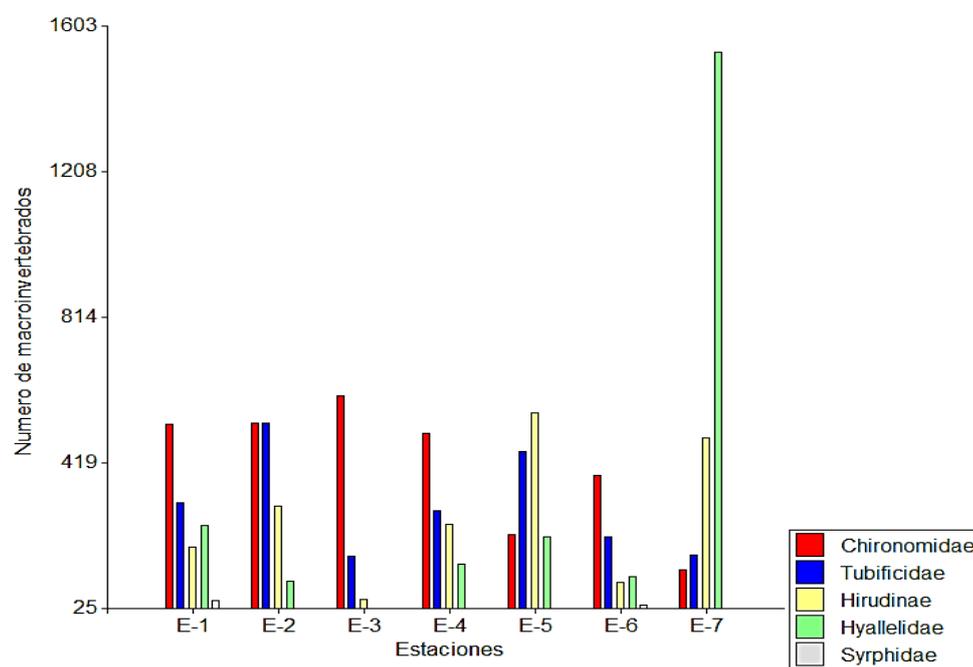


FIGURA 4. Distribución de las familias de macroinvertebrados bentónicos en las estaciones evaluadas de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018

La estación con mayor abundancia de macroinvertebrados fue cercano a la captación de Chimu (E-7) con 2317 individuos, donde predominó la familia de Hyallellidae (Fig. 4). Salamanca (2013) obtuvo 3600 individuos con 2 familias Hyallellidae e Hirudinae, donde nunca registró Chironomidae y Tubificidae, sin embargo en nuestra investigación se registró la presencia de ambas familias. Los Quironomidos son considerados como bioindicadores de la presencia de un sistema largamente perturbado (Paggi, 1999). Entonces se puede deducir que en dicha zona está ocurriendo una alteración preocupante. Por otro lado en las estaciones E-1 y E-2, se registraron 1318 y 1456 individuos respectivamente, así mismo en las estaciones E-4, se obtuvo 1186 individuos, finalmente

en las estaciones E-3 (margen derecho del puerto) y E-6 (cercano de la laguna de oxidación) presentaron un total de 816 y 842 individuos correspondientemente, cantidades menores en comparación a las demás estaciones. Uno de los factores principales que estaría influyendo a la disminución de los macroinvertebrados, es por parte de la actividad antropogénicas (salidas diarias de embarcaciones turísticas e ingreso de aguas residuales).

Salamanca (2013) obtuvo un total de 1110 individuos en la laguna de oxidación, Bahía interior de Puno. En el estero saldo del Ecuador registraron 1224 organismos, en la zona considerada con presencia de mayor contaminación antropogénicas, y a la vez es afectada por el ingreso de aguas residuales de uso doméstico (Cárdenas, 2010). Así mismo otro estudio ejecutado en la Bahía interior y exterior del lago Titicaca dieron a conocer que la presencia de macroinvertebrados fue más abundante en la Bahía exterior y menor en la Bahía interior de Puno, donde solo registraron individuos pertenecientes a cuatro familias; Oligoquetos, Hirudineos, Hyallela y Chironomidos (Northcote *et al.*, 1991). Particularmente las zonas del Espinar (E-6), muelle principal (E-2 y E-3) terminal terrestre (E-5) y por la UNA Puno, son consideradas áreas con mayor acumulación de sedimentación, en donde determinaron que anualmente existe un incremento de 4,1 mm/año de sedimento (Loza *et al.*, 2016). Entonces la BIP tiene un importante acumulación de sedimentos, generalmente por el ingreso de agua residuales de la ciudad Puno y otro factores (Loza *et al.*, 2016).

Cabe mencionar que los sedimentos recolectados en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, variaron de un color negro a parduzco con presencia de olor fétido, textura pastosa, y suave al tacto, poca presencia de organismos bentónicos, y en algunos casos presencia de abundantes restos de conchas de moluscos pero nunca se encontraron especies vivos. Por otro lado en la estación E-7 (captación de Chimú) se observó mamíferos alimentándose, y también se estaba realizando la actividad pesca.

En el caso de las épocas, existe diferencias considerables; ya que la mayor densidad se presentó para la época lluviosa con 67,5% de individuos; donde la familia Chironomidae estuvo con el 53,8%, el cual tiene una ligera diferencia con la época seca al 46,2%. Los Tubifidos presentaron el 90,6% en época lluviosa y solo el 9,3% en época seca, de igual forma las familias de Hyallellidae e Hirudinae disminuyen para la época seca (Tabla

9). Estas diferencias estarían influenciado por la estación del año, factores fisicoquímicos y el ciclo biológico de los organismos colectados.

TABLA 9. Número de individuos de macroinvertebrados y porcentaje de familias de las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018

Época	Familias										Total	
	Chironomidae		Tubificidae		Hirudinae		Hyalellidae		Syrphidae			
	Ind	%	Ind	%	Ind	%	Ind	%	Ind	%	Ind	%
Lluviosa	1554	53,8	1933	90,6	1310	67,8	1492	63,4	46	58,2	6335	67,5
Seca	1332	46,2	200	9,3	622	32,2	863	36,3	33	41,8	3050	32,5
Total	2886	100	2133	100	1932	100	2355	100	79	100	9385	100

Medina (1984), señala que en los meses de febrero a junio alcanzan máximos niveles de individuos, con densidades elevadas particularmente en junio donde los Gasteropodos, Hyalella y Poríferos, pueden llegar alrededor de 5000 organismos por metro cuadrado; así mismo Northcote *et al.* (1991), indican que la densidad máxima de zoobentos en la Bahía exterior presentaron en la época seca (mayo- agosto). De igual forma Riaño *et al.* (1993) registraron mayor presencia de macroinvertebrados en la época de otoño con una densidad de 319.540 individuos/m² y en primavera registraron 13.080 individuos/m². Sin embargo, en nuestro estudio la mayoría de los individuos tienden a disminuir para la época seca con 3050 organismos, y tienden a incrementarse para la época lluviosa con 6335 de individuos. Al igual que Salamanca (2013), registró 12087 individuos en el mes de febrero (época lluviosa), y para el mes de junio (época seca) 1732 individuos.

Los cambios de temperatura muchas veces es la razón por la cual el oxígeno disuelto disminuye y esto ocasiona la desaparición espontanea de muchos macroinvertebrados que en meses anteriores estuvieron habitando (Salamanca, 2013). Es importante mencionar que el ciclo biológico condiciona la densidad de los macroinvertebrados (Riaño *et al.*, 1993). Como es el caso de los Tubificidos que se presentó con 90,6% para la época lluviosa y tiende a disminuir en la época seca con 9,4%. Por otro lado los Quironomidos se presentaron para ambas épocas con una ligera diferencia 53,8% (lluviosa) y 46,2% (seca).

En cuanto a la diversidad y abundancia de especies de macroinvertebrados bentónicos se determinó mediante el índice de diversidad de Shannon-Weaver, ya que es el índice adecuado para la evaluación en calidad de agua. Donde se asignó; poca diversidad para

todas las estaciones, ya que los valores de 0-1.5 son interpretados como poco diversos (Tabla 10). La información es corroborada por Salamanca (2013), donde determinó como poco diverso a nueve estaciones estudiadas en la Bahía interior de Puno.

TABLA 10. Índice de Diversidad de macroinvertebrados de las estaciones en la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018

INDICE	ESTACIONES						
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7
índice de diversidad de Shannon- Weaver	1.3	1.2	0.7	1.2	1.3	1.2	1

La estación con menor diversidad se presentó en el margen derecho del puerto con el valor de 0.7, siendo la estación menos diversa numéricamente, registrándose con la dominancia de la familia Chironomidae. Así mismo Salamanca (2013) obtuvo el valor de 1, para misma estación. Los factores que estarían perjudicando el desarrollo de los macroinvertebrados sería la actividad antropogénicas que se desarrolla diariamente, (actividad turística) además es considerada como zona en disminución de volumen de agua y a la vez con mayor sedimentación (Loza *et al.*, 2017).

La estación E-6 (laguna de oxidación) presentó el valor de 1.2, sin embargo Salamanca (2013) obtuvo el valor de 0, para dicha estación. La diferencia conlleva a que algunos macroinvertebrados bentónicos han llegado a adaptarse a lo largo del tiempo en zonas con presencia de contaminantes. Es importante recalcar que existe el ingreso continuo de aguas residuales generada por parte de la población. Beltrán *et al.* (2015) registró la presencia de *E. coli* cercano a la laguna de oxidación, lo que se evidenciaría que el tratamiento de la laguna es deficiente. Así mismo Loza *et al.* (2016) considera como zona con mayor sedimentación.

La estación E-1 (cerca a la isla Esteves) estuvo con un valor de 1.3; el cual indica mayor diversidad a comparación con las demás estaciones. Los macroinvertebrados generalmente se encuentran en zonas con presencia de materia orgánica. El sector isla Esteves está influenciado por la actividad hotelera, por lo habitual son entes generadoras de residuos sólidos mediante desagües. Metcalf & Eddy (1998) mencionan que la presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal, para lo cual Beltrán *et al.* (2015) registraron la presencia de nitritos en el sector de la isla Esteves;

por lo que Cabrera *et al.* (2003) deduce que los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos y metahemoglobinemia en animales acuáticos y afectando a la salud humana mediante la cadena alimenticia.

Así mismo en cuanto la diversidad entre épocas, según el índice de Shannon-Weaver, se determinó poca diversidad donde, en época lluviosa se tiene un valor menor de 1.2 y en época seca se obtuvo un valor de 1.3 (Tabla 11).

TABLA 11. Índice de Diversidad de macroinvertebrados de las épocas lluviosa y seca en la Bahía interior de Puno

INDICE	Épocas	
	Lluviosa	Seca
índice de diversidad de Shannon- Weaver	1.3	1.2

Sin embargo Salamanca (2013) obtuvo los valores de 0.8 para el mes de marzo (época lluviosa); y 1.2 para junio (época seca). Así mismo Northcote *et al.* (1991), evaluaron la diversidad de zoobentos en la Bahía exterior donde registraron mayor presencia en la época seca (mayo- agosto). La actividad antropogénicas, factores fisicoquímicos, y el ciclo biológico de los organismos, estarían influenciando la desaparición espontanea de algunos macroinvertebrados bentónicos (Salamanca, 2013; Riaño *et al.*, 1993).

La calidad del agua de la Bahía interior de Puno, se determinó en dos categorías; las estaciones E-1(cerca del hotel Isla Esteves), E-4, E-5 y E-7, como calidad crítica el cual indica tipos de agua muy contaminada. Es necesario mencionar que en el sector de Chimu (E-7), se encuentra ubicado una de las fuentes de captación de agua para el consumo de la población. Por otro lado las estaciones E-2, E-3 y E-6, se denominó en estado muy Crítico la cual se refiere a tipos de agua fuertemente contaminadas (Tabla 12).

TABLA 12. Valores obtenidos según el sistema de índice biológico BMWP mediante el muestreo de los macroinvertebrados en las siete estaciones de la Bahía interior de Puno febrero 2017- junio 2018.

ESTACIO NES	CLA SE	CALID AD	BM WP	SIGNIFICADO	COLOR CARTOGRAFICO
E-1	V	Crítica	20	Aguas muy contaminadas	 Naranja
E-2	VI	Muy Crítica	12	Aguas fuertemente contaminada	 Rojo
E-3	VI	Muy Crítica	12	Aguas fuertemente contaminada	 Rojo
E-4	V	Crítica	18	Aguas muy contaminadas	 Naranja
E-5	V	Crítica	18	Aguas muy contaminadas	 Naranja
E-6	VI	Muy Crítica	14	Aguas fuertemente contaminada	 Rojo
E-7	V	Crítica	18	Aguas muy contaminadas	 Naranja

Salamanca (2013) determino en dos categorías de nueve estaciones evaluadas de la Bahía interior de Puno; a cinco asigno como aguas de calidad crítica, y los otros cuatro restantes se les denominó como calidad muy crítica. Actualmente, los cuerpos de agua superficiales en su gran mayoría presentan una alteración en su calidad misma por todas las descargas que reciben de las actividades domésticas e industriales, que influyen de una manera en la salud humana y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones adyacentes (Rodríguez *et al.*, 2016).

Es el caso particular de la BIP, el aumento de la población de Puno es considerable en los últimos años más aun en fechas de festejo, de modo que se genera mayor cantidad de residuos de las cuales la gran mayoría ingresan a la Bahía interior de Puno (Salamanca, 2013). Por otro lado también recibe gran cantidad de descargas de aguas residuales domésticos, por medio de varias desembocaduras; alcantarillados, canales pluviales o indirectamente por drenaje superficial, en donde ha manifestado una contaminación severa durante los últimos años (Vásquez, 2016).

Beltrán, *et al.* (2015), estudio realizado en la Bahía interior de Puno, obtuvieron elevadas concentraciones de nutrientes; fósforo (4,63 mg/L), nitratos (18,86 mg/L) y amonio (44,14 mg/L) en consecuencia muestra muchos síntomas químicos de una eutrofización

extrema. Así mismo Vásquez (2016), señala los parámetros fisicoquímicos; oxígeno disuelto 9,7 mg/L considerada como aguas muy oxigenadas lo cual es producto de la alta productividad primaria. Así mismo las concentraciones de fosfato 1,2 mg/L y clorofila 32,6 mg/m³, superaron los valores recomendados según el ECA, la presencia de estos parámetros contribuye al proceso de eutrofización (Vásquez, 2016).

El análisis de correlación exponencial (Figura 5), entre la diversidad de macroinvertebrados (y) y los hidrocarburos totales de petróleo (x) de la Bahía interior de Puno, de las siete estaciones de muestreo, obtuvimos una correlación negativa de -0,93, la que indica que la variable de los macroinvertebrados (y) disminuye, al incrementarse la concentración de hidrocarburos totales de petróleo; obteniendo una $r^2 = 0,86$, lo que indica que existe una resistencia de ciertos organismos ante los hidrocarburos totales de petróleo.

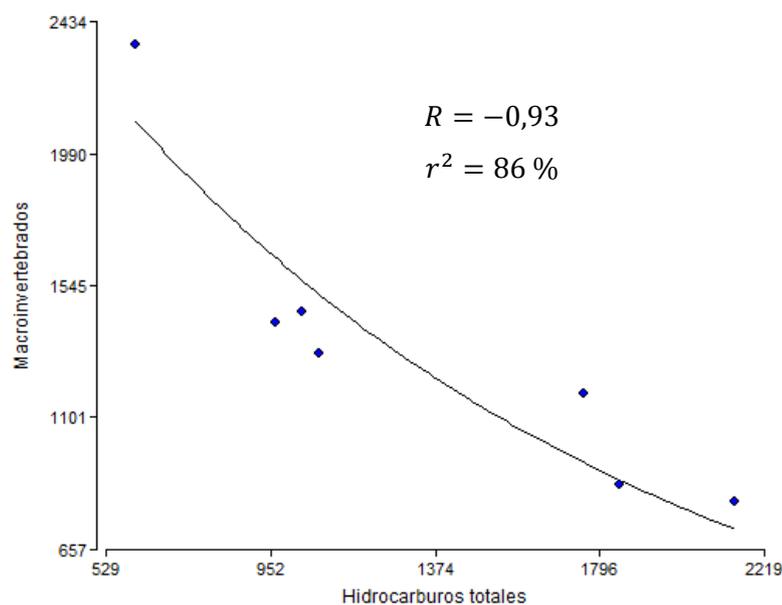


FIGURA 5. Relación de la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos de la Bahía interior Puno, febrero 2017 – junio 2018.

Estudio realizado en Ecuador, sobre el análisis comparativo entre la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y la concentración de hidrocarburos totales, demostró que existe una relación inversamente proporcional entre dichas variables, siendo la diversidad de individuos mayores, en zonas con menor concentración de hidrocarburos totales de petróleo (Cárdenas, 2010). En nuestro estudio la familia más abundante fue Chironomidae, quienes se presentaron en ambas épocas, y en todas las estaciones de muestreo. Winner *et al.* (1980), indica que los Quironómidos son utilizados para determinar la toxicidad en sedimentos y la biocumulación a estos.

Así mismo la Asociación Americana de Salud Pública (APHA) señalan como protocolos estandarizados para la obtención de bioensayos de toxicidad aguda y crónica acuática a las larvas de los insectos Quironómidos, principalmente; *Chironomus tentans*, *Chironomus riparius* y *Chironomus plumosus* (Lannacone *et al.*, 2003). Por otro lado Winner *et al.*, (1980), determinaron que los Quironómidos registraban el 80% de la fauna total en una sección de un pequeño arroyo en Ohio altamente contaminado con metales, mientras en una sección no contaminada presentaron solo el 10 %. En nuestros resultados registramos valores de igual forma a lo manifestado; con 20%, (puerto principal de Puno) 18% (cerca de la isla Esteves) y 13% (cercano de la laguna de Oxidación), en dichas estaciones se registraron mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo; y un 4% ubicado por la captación de Chimú, donde se registró menor presencia de hidrocarburos totales de petróleo.

Así mismo estudio realizado en aguas de la BIP, determinaron que existe exposición ambiental por metales pesados (Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg), estos elementos superaron los valores permisibles, y solo As como Hg estuvieron en lo recomendado (Moreno *et al.*, 2017). Sin embargo la presencia de metales (Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg) en los sedimentos superficiales no representaron riesgo por exposición ya que las concentraciones no sobrepasaron los valores referenciales (Moreno *et al.*, 2018). La presencia de estos elementos puede traer consecuencias negativas no solo para el ecosistema acuático, sino además a la propia salud humana.

En el sector Chimu de la Bahía interior del lago Titicaca Puno, reportaron una mortandad significativa de 119,400 ind. Correspondiente a una biomasa de aproximadamente de 2340,0. La especie con mayor pérdida fue *Orestias Agassi* y la menor *Trichomycterus dispar*, mediante el programa GECOTOXIC, determinó un riesgo ambiental de tipo alto,

desde un punto ecotoxicológico, donde puede ser ocasionada por agente químicos orgánica (Argota, 2015). Después que aconteció derrame de petróleo en la playa de Caimare Venezuela, cinco años después determinaron que 7,580.00 macroinvertebrados murieron; y que solo regresaron el 40% de las especies que originalmente habitaban (Severeyn *et al.*, 2003). De igual forma Huisa (2017) realizó investigación en la zona de Ahullane, Huancane Puno, dicha área está influenciada por la actividad petrolera, en donde determinó como sitio contaminado de pasivo ambiental, además es considerado como uno de los más longevos del territorio nacional de 74 años, ejerciendo un efecto constante a zonas aledañas.

Por lo tanto se puede concluir que la concentración de hidrocarburos totales de petróleo si influye de manera negativa, sobre el desarrollo la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la bahía interior de Puno, de esta manera se acepta la hipótesis inicial del estudio.

V. CONCLUSIONES

La mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo, se registró en la E-3 (margen derecho del puerto), para ambas épocas con 1648,3 ppm (época lluviosa) y 2635,29 ppm (época seca), y la menor se registró en la E-7 con 368,67 ppm (época lluviosa) y 842,90 ppm (época seca). Y entre las épocas climáticas los valores mayores se registró en la época seca con un promedio de 1749,06 ppm y la menor en la época lluviosa con 368,67 ppm (época lluviosa).

Los macroinvertebrados bentónicos presentaron un total de 9385 individuos en las siete estaciones evaluadas, pertenecientes a cinco familias (Quironomidos, Hirudinae, Tubificidae, Hyalellidae y Syrphyidae). El índice de Shannon - Winer no manifestó diferencias entre las estaciones ni entre las épocas climáticas (0 -1.5), donde se determinó como “poco diverso”. Según el índice biológico BMWP se calificó en dos categorías; como calidad crítica, para las estaciones (E-1, E-4, E-5 y E-7) el cual se refiere a tipos de agua muy contaminada, en las estaciones E-2, E-3 y E-6, se denominó en estado muy Crítico la cual se refiere a tipos de agua fuertemente contaminadas. La diversidad de macroinvertebrados fue mayor en estaciones con menor concentración de hidrocarburos totales, sin embargo los Chironomidos y Tubificidae se registraron en gran cantidad en zonas con alta presencia de hidrocarburos totales, esto debe a las adaptaciones que ellos han adquirido en condiciones desfavorable.

VI. RECOMENDACIONES

Incorporar estudios sobre la concentración de hidrocarburos totales de petróleo; como en el agua, macroinvertebrados, peces, aves y algas.

Incorporar estudios en las demás zonas de la Bahía interior del lago Titicaca para determinar si los valores han disminuido o incrementado, principalmente en sectores con influencia antropogénicas.

Realizar un plan de manejo adecuado de los residuos generados por las embarcaciones turísticas.

Solicitar al Ministerio del Ambiente, incorporar el límite máximo permisible en sedimentos y organismos con presencia de hidrocarburos totales de petróleo.

Realizar estudios en el sector de Chimu, puesto que se registró HTP, y además otros investigaciones afirman que se encuentra en un estado de preocupación, ya que se está ubicado una de las fuentes de captación de agua que se utiliza para el consumo de la población de Puno.

Desarrollar estudios sobre la familia de Chironomidae en laboratorio, ya que se determinó que habitan en zonas con presencia de hidrocarburos totales de petróleo.

VII. REFERENCIAS

- ARGOTA P., G. (2015). Aplicación Gecotoxic para predicción de riesgos ambientales: caso estudio sobre la mortandad de peces en la Bahía interior del lago Titicaca-Puno. Perú. Revista Campus, Vol. 20(20), 11-20pp.
- AUCCAHUAS A., W. (2015). Calidad de agua y sedimentos en el río madre de dios, departamento madre de dios, Perú, 2015. Tesis para optar Título de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 151 p.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR) (1999). Reseña Toxicológica de hidrocarburos totales de petróleo (TPH). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- ALBA J., JAIMEZ P., ALVAREZ M., AVILES J., BONADA N., CASAS J., MELLADO M., ORTEGA I., PARDO N., PRAT M., RIERAD M., EVALL S., ROBLES C., SÁINZ-CANTERO A., SÁNCHEZ M., SUÁREZ M., TORO VIDALABARCA S. VIVAS & ZAMORA-MUÑOZ. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP). Revista Limnética. Vol. 21(2), 175-182pp.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (2014). Evaluación de la calidad del agua del lago Titicaca Perú –Bolivia, informe del monitoreo del mes de marzo del 2014, 68p.
- BELTRÁN F., PALOMINO C., MORENO T., GAMARRA P. & MONTESINOS T. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de ciencias Biológicas, Revista peruana de Biología 22(3): 335 - 340 (2015), 6p.
- BOTELLO A., RENDÓN V., GOLD-BOUCHOT & HERNÁNDEZ C. (2005). Contaminación e Impacto Ambiental en el Golfo de México, Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Univ. Autón. De Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 728 p.

- BUSTAMANTE U., J. (2007). Remediación de suelos y aguas subterráneas por contaminación de hidrocarburos en los terminales Mollendo y Salaverri de la Costa Peruana, Tesis para optar el Título de ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Ingenierías (UNI). 167p.
- BONERT C., PINTO L. & ESTRADA R. (2010). Presencia de hidrocarburos en agua y sedimentos entre el seno Reloncaví y el Golfo corcovado (x región), Revista Ciencia y Tecnología del Mar, vol. 33(2), Chile pp. 89-94. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62420836006>.
- BARRERA G., L. (2015). Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viales para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Azogue. Tesis para optar el grado de Ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 135p.
- CABRERA E., HERNÁNDEZ L., GÓMEZ H. & CAÑIZARES M. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en aguas. Comparación costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. Rev. Sociedad Química de México, Vol. 47, (1), 88-92p. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v47n1/v47n1a14.pdf>
- CÁRDENAS C., M. (2010). Efecto de la contaminación Hidrocarburíferas sobre la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos presentes en el sedimento del Estero Salado, Tesis para optar el Grado de Magister-Universidad de Guayaquil de la República del Ecuador. 106 p.
- CALVA L., BOTELLO A. & PONCE G. (2005). Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la laguna Sontecomapan, Ver., México. Hidrobiológica 15 (1): 97-108.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME) (1995). Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Vol. IX. 38p.

- DECRETO EJECUTIVO 1215 (2001). Reglamento Sustitutivo del reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH); Registro Oficial 265 de 13 de Febrero del 2001. 57p.
- DONAIRES T., ZAMALLOA W. & SALAS DE PINO M. (2003). El lago Titicaca: Síntesis de conocimiento actual. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. 4p.
- EL PERUANO (2017). DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aguas y establecen disposiciones complementarias.
- EL PERUANO (2017). DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos.
- GONZÁLEZ M., MENDEZ L., LOPEZ D. & VAZQUEZ A. (2006). Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salinas Cruz, Oaxaca, México. Art. Interciencia. 11p. disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/46416954>
- GONZÁLEZ E., LOYOLA R., NEIRA J. & NEIRA F. (2013). Contenido, distribución y origen de hidrocarburos en sedimentos de tres lagunas urbanas de concepción – Chile. Quim. Nova, Vol. 36 (5), 669-674pp.
- HUISA B., D. (2017). Determinación del área degradada y biodiversidad de la zona de influencia por la actividad petrolera en la zona de Ahuallane. Distrito de Pusi, Huancane – Puno. Tesis para optar el título de profesional de licenciado en Biología, Universidad Nacional del Altiplano Puno. 88p.
- KUMAR V., ABBAS A. & ASTER J. (2015). Robbins y Cotran: Patología estructural funcional 9na edición. Ed. Elsevi España, S.L.U. 1408p.
- LUNA P., J. (2011). Gestión de residuos sólidos en talleres automotrices de la provincia de Chiclayo, tesis para obtener título en ingeniero mecánico, Universidad de Cesar Vallejo. 195p.

- LOZA A., GAMARRA C., & CONDORI N. (2016). Caracterización morfo batimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG, Rev. Investigación Alto andina, vol. 18, N 237-248pp. Disponible en: <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria>
- LANNACONE A., SALAZAR N. & ALVARIÑO L. (2003). Variabilidad del ensayo ecotoxicológico con *Chironomus calligraphus goeldi* (Diptera: Chironomidae) para evaluar cadmio, mercurio y plomo. Rev. Eco. Aplicada 2(1)
- IÑESTA B., J. & GARCIA F., P. (2002). El petróleo: El recorrido de la energía, 1era ed. Talleres Graficas Soler S.A. Madrid, 19p. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/aula/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>
- INTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS “JOSE BENITO VIVES DE ANDREIS” (INVEMAR) (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinar parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos), Ed. Precolombi - David Reyes. 148p. disponible en: www.invemar.org.co
- MARRUGO G., A. (1990), Estudio de la contaminación marina por hidrocarburos en el litoral sur Pacífico Colombiano, boletín científico, 41-54 pp.
- MAMANI W., SUAREZ R. & GARCIA T. (2003). Contaminación del agua e impacto por actividad Hidrocarburíferas en aguarague – la Paz: Fundación PIEB, ediciones Fortaleza, of. 601. Offset Boliviana Ltda. 203p.
- MARGALEF R. (1983). Limnología, Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- MORENO E., ARGOTA G., ALFARO R., APARICIO M., ATENCIO S. & GOYZUETA G. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú. Revista de investigación Alto andina, Vol. 19 (2): 125 – 134 pp.
- MEDINA A. (1984). Determinación de macrozoobentos en la bahía interior de Puno (ojerani), del Lago Titicaca. Tesis para optar el título de profesional de licenciado en Biología, Universidad Nacional del Altiplano Puno. 78pag.

- MORENO E., ARGOTA G., ALFARO R., APARICIO M., ATENCIO S. & GOYZUETA G. (2018). Cuantificación de metales pesados en sedimentos superficiales de la Bahía interior, lago Titicaca- Perú. *Revista de investigación Alto andina*, Vol. 20 (1): 9-18 pp.
- METCALF & EDDY (1998). *Ingeniería de Aguas Residuales*, Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill.
- MENDO P., W. (2014). Alternativa de biorremediación con bacterias autóctonas de sedimentos contaminado de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México. Tesis para obtener el título en Ciencias del Ambiente. 97p.
- NORTHCOTE G., MORALES P., LEVY A. & GREAVE S. (1991). Contaminación en el lago Titicaca, Perú: Capacitación, investigación y manejo, Northbum Printers & Stationers Ltd. Canadá. 278p.
- OSCOZE., J. (2009). Guía de campo macro-invertebrados de la cuenca del Ebro, España. Cemeyka. 128p.
- PETERS E., WALTERS C. & MOLDOWAN M. (2005). *The Biomarker Guide*. Ed. Cambridge University Press, Vol. 2, 700 p.
- PAGGI A., C. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* Vol. 58 (1-2); 202-207 pp.
- QUIJANO M., L. & CASTRO J., M. (2015). Molecular Stratigraphy: biomarkers as proxies for climatic and environmental changes trough Earth System history. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 180-193 pp.
- RODRÍGUEZ C., SARAVIDA A., URPÍ P., PIEDRA O. & MARÍN G. (2014). Evaluación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos marinos, su posible origen y efectos sobre la actividad de acuicultura entre Punta morales y Costa de pájaros en el golfo de Nicoya – Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, vol. 2(53), 113-134 pp.

- RODRÍGUEZ S., P. & RODRÍGUEZ P., L. (2013). El petróleo como instrumento de progreso: una nueva relación Ciudadano-estado-petróleo, Caracas, ed. IESA, (2da.) 244p. Disponible en: http://www.iesa.edu.ve/FILES_MediaBroker/Public/_PDF/3727.pdf
- REYES M., E. (2012). Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la cuenca del lago Atitlan, Guatemala, tesis de maestría, Universidad Rodrigo Facio, Costa Rica, 114p.
- RODRÍGUEZ P., SERNA A. & SÁNCHEZ J. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. Revista logos ciencia y tecnología. Vol. 8(1).
- ROLDAN P., G. (2016). Los macroinvertebrados y valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. Vol. 40(155): 254-274pp. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefy.335>
- RIAÑO P., BASAGUREN A. & POZO J. (1993). Spatial changes of macroinvertebrate communities in the aguera stream (basque country-cantabria, northern spain) under two different seasonal hydrologic regimes. Limnética, Vol 9, 19-28pp. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237390054>
- SAMANEZ I., RIMARACHIN V., GONZALES C., ARANA J., ORTEGA H., CORREA V. & HIDALGO M. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú, departamento de Limnología-MINSA, Zona Comunicaciones S.A.C. 39p
- SEVEREYN V., DELGADO J., GODOY A. & GARCÍA Y. (2003). Efecto del derrame de petróleo del buque nissos amorgos sobre la fauna macro invertebrada bentónica del golfo de Venezuela: cinco años después, Universidad del Zulia. Ecotrópicos 16(2):83-90, Sociedad Venezolana de Ecología, 8pp.
- 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 Biología, Universidad Nacional del Altiplano Puno, 66p.

- SROGI K., (2007). Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review *Environmental chemistry Letters*, V (5). 4p.
- SALCEDO S., ARTICA L. & TRAMA F. (2013). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. *Rev. Apunt. cienc. soc.* Vol. 03(02). 16p.
- TEJON M., GARCIA P., OLMO R. & GARCIA C. (1996). *Química: Teoría y Problemas*. 78p
- TARAPA C., B. (2014). Obtención de biocombustible gaseoso a partir de plantaciones acuáticas y lodos sedimentados de la bahía interna Puno- lago Titicaca tesis para optar el grado de ingeniero Químico. 181p.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO) (1982). Determinación de los hidrocarburos de petróleo en los sedimentos. *Manuales y guías*. 36p.
- VÁSQUEZ M., GERRERO J. & QUINTERO A. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados, *Revista Colombiana de Biotecnología* vol. (XII). 141-157pp. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77617786014>
- VÁSQUEZ T., Y. (2016), Efectos de la Eutrofización en el hábitat de la bahía de Puno, en la diversidad y abundancia de la avifauna del lago Titicaca, tesis para optar el grado de Biología, Universidad Nacional del Altiplano Puno 62p.
- VALENZUELA G., GOLD-BOUCHOT & MORENO C. (2005). Hidrocarburos en agua y sedimentos De la laguna de Chelem, y puerto Progreso México. Pág. 311-328. *In:* A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias 2da Edición*.
- VILLANUEVA R., T. (2009). El petróleo, edición: Domenech e-learning multimedia, S.A (1era edición), talleres grafico Soler S.A. Castilla de León, España. 23p. disponible en: <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Hidrocarburos.pdf>

WINNER R., BOESEL M. & FARRELL M. (1980). Insect Community Structure as an Index of Heavy-Metal Pollution in Lotic Ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(4): 647-655, available of: <https://doi.org/10.1139/f80-081>

ZAMALLOA C., W. (2014). Determinación exploratoria de compuestos orgánicos persistentes e hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimento de la Bahía Interior del lago Titicaca, Puno. Tesis Doctoral, Escuela de Post Grado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, 116p.

ANEXOS

ANEXO A

Informe de ensayo de Hidrocarburos totales en sedimento de la Bahía Interior de Puno – Época lluviosa



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

UNIDAD DE PRODUCCION DE BIENES Y PRESTACION DE SERVICIOS
LABORATORIO DE INVESTIGACION Y SERVICIOS
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYO

N° DE REPORTE: 17929-17

DETERMINACIÓN DE :	HIDROCARBUROS			
	ppm			
E-1	874,18			
E-1B	1 053,56			
E-2	577,81			
E-2B	374,63			
E-3	1 606,22			
E-3B	1 670,38			
E-4	1 076,65			
E-4B	1 604,46			
E-5	432,57			
E-5B	376,18			
E-6	1 237,23			
E-6B	1 372,28			
E-7	385,64			
E-7B	351,94			
OBSERVACIONES:				

METODO DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO
	NORMA REFERENCIA / NOMBRE
Hidrocarburos totales	Método de Extracción con Solventes

Establecido en Arequipa (Puno), el 06 de Abril del 2007
PAGINA 2 DE 2


Dr. Juan Reyes Larico
 Jefe de Laboratorio
 RCGP - 348




Lic. Fredy Valderrama Peña
 Químico Responsable
 RCGP - 842

ANEXO B

Informe de ensayo de Hidrocarburos totales en sedimento de la Bahía Interior de Puno – Época seca



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

**UNIDAD DE PRODUCCION DE BIENE:
PRESTACION DE SERVICIOS
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIO
LABINVSERV**

INFORME DE ENSAYO

N° DE REPORTE: 19645-18

DETERMINACIÓN DE :	HIDROCARBUROS			
	ppm			
E-1	1 267,01			
E-1-B	1 118,42			
E-2	1 851,86			
E-2-B	1 418,73			
E-3	2 851,86			
E-3-B	2 418,73			
E-4	2 069,58			
E-4-B	1 975,37			
E-5	1 152,97			
E-5-B	1 902,79			
E-6	2 106,98			
E-6-B	2 666,78			
E-7	801,90			
E-7-B	883,91			
OBSERVACIONES:				

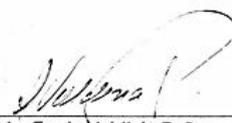
METODO DE ENSAYO	
DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO
	NORMA /REFERENCIA / NOMBRE
Hidrocarburos totales	Método de Extracción con Solventes

PAGINA 2 DE 2

Emitido en Arequipa (Perú), el 13 de Julio del 2018


Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
 RCQP - 348




Lic. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
 RCQP - 842

Anexo C.

TABLA 13. Comparación de hidrocarburos aromáticos policíclicos de sedimentos de Bahía interior de Puno según la norma canadiense de sedimentos

Compuesto	Bahía- Puno ug/kg	Canadian Sediment Quality ug/kg
Naftaleno	58	34,6
Acenafteno	12	6,71
Fenantreno	30	41,9
Antraceno	9	46,9
Fluoranteno	372	111
Pireno	39	53
Benzo(a) antraceno	571	31
Criceno	33	57,1
Benzo(K) Fluoranteno	24	--
Benzo (a) pireno	17	31,9
Dibenzo (a,h) antraceno	24	6,22
Benzo (g,h,i)perileno	19	--
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	36	--

Fuente: Zamalloa, 2014

Anexo D

TABLA 14. Datos de las diferentes estaciones evaluadas de la Bahía interior de Puno febrero 2017 – junio 2018.

Estaciones	Coordenadas		época lluviosa			época seca		
	Latitud	Longitud	Temperatura °C	Profundidad m	Hora	Temperatura °C	Profundidad m	Hora
E-1	15° 49' 47.22"	69°59'39.58"	12	4	8:40	13	4	8:30
E-2	15°50' 5.96"	70° 00'53.68"	15	2	9:30	15	2	9:20
E-3	15° 50' 05.24"	70° 00' 54.10"	15	1.8	10:00	15	1.5	10:00
E-4	15° 49' 44.96"	69° 59' 41.68"	12	4.5	10:40	12	4	10:40
E-5	15°50'40.65"	70° 00'51.46"	14	5	11:30	14	5	11:30
E-6	15°50'53.22"	70° 0'15.68"	15	5	12:20	15	5	12:15
E-7	15°50'54.69"	69° 57'15.58"	15	6.5	12:45	15	6.7	13:00

ANEXO E

TABLA 15. Puntuaciones para asignar a las familias de macroinvertebrados bentónicos según el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System) (Alba *et al.*, 2002).

ORDENES	FAMILIAS	PUNTAJE
Plecotera	Perlidae	10
Ephemeroptera	Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymatarcyidae	
Trichoptera	Odontoceridae, Euthyplociidae, Polymatarcyidae, Apheloceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae	
Coleoptera	Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae	
Odonata	Polythoridae	
Diptera	Blepharoceridae	
Unionoidea	Unionidae	
Acari	Lymnessiidae	
Hidroida	Hidridae	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	
Trichoptera	Hydrobiosidae,	
Coleoptera	Gyrinidae	
Odonata	Ghompidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae	
Diptera	Simuliidae	
Gordioidea	Gordiidae, Chordodiidae	
Lepidoptera	Pyralidae	
Mesogastropoda	Ampullariidae	
Hirudiniiformes	Hirudinae	
Ephemeroptera	Baetidae, Caenidae	8
Trichoptera	Hidropsychidae, Leptoceridae	
Coleoptera	Dystiscidae, Dryopidae	
Odonata	Lestidae, Calopterygidae	
Diptera	Dixidae	
Decapoda	Palaemonidae, Pseudothelphusidae	
Basommatophora	Chilinnidae	
Ephemeroptera	Tricorythidae, Leptohiphidae	
Trichoptera	Polycentropodidae	
Coleoptera	Elmidae, Staphylinidae	
Odonata	Aeshnidae	
Hemiptera	Naucoridae, Notonectidae	
Diptera	Psychodidae	
Basommatophora	Aneylidae, planorbidae	
Mesogastropoda	Melaniidae	
Coleoptera	Limnichidae, Lutrochidae	
Odonata	Libellulidae	
Hemiptera	Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastoridae, Nepidae	
Diptera	Dolichopodidae	6
Megaloptera	Corylidae, Stalidae	
Decapoda	Atyidae,	
Anphipoda	Hyalellidae	
Tricladida	Planariidae, Dugessidae	
Coleoptera	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculionidae	
Diptera	Tabanidae, strationmyidae, Empididae	
Basommatophora	Thiaridae	
Coleoptera	Hidrophilidae, Noteridae, Hydraenidae	
Diptera	Tipulidae, Ceratogonidae	
Basommatophora	Limnaeidae, Sphaeridae	
Coleoptera	Culicidae, Muscidae	
Basommatophora	Physidae	4
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae, Cyclobdellidae	
Diptera	Chironomidae, Ephydriidae, syrphidae	3
Haplotaxida	Tubificidae	
		2
		1

ANEXO F

TABLA 16. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados de la estaciones de muestreo de la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.

ESTACIONES	BMWP	FAMILIA	N DE INDIVIDUOS TOTALES
E-1	2	<i>Chironomidae</i>	523
	9	<i>Hirudinae</i>	190
	1	<i>Tubificidae</i>	310
	6	<i>Hyaellidae</i>	249
	2	<i>Syrphidae</i>	40
TOTAL	20		1312
E-2	2	<i>Chironomidae</i>	526
	9	<i>Hirudinae</i>	303
	1	<i>Tubificidae</i>	527
TOTAL	12		1356
E-3	2	<i>Chironomidae</i>	600
	9	<i>Hirudinae</i>	80
	1	<i>Tubificidae</i>	136
TOTAL	12		816
E-4	2	<i>Chironomidae</i>	375
	9	<i>Hirudinae</i>	360
	6	<i>Hyaellidae</i>	145
	1	<i>Tubificidae</i>	102
TOTAL	18		982
E-5	2	<i>Chironomidae</i>	499
	9	<i>Hirudinae</i>	252
	1	<i>Tubificidae</i>	290
	6	<i>Hyaellidae</i>	145
TOTAL	18		1186
E-6	2	<i>Chironomidae</i>	224
	9	<i>Hirudinae</i>	556
	1	<i>Tubificidae</i>	451
	2	<i>Syrphidae</i>	33
TOTAL	14		1264
E-7	2	<i>Chironomidae</i>	130
	9	<i>Hirudinae</i>	578
	1	<i>Tubificidae</i>	78
	6	<i>Hyaellidae</i>	1531
TOTAL	18		2317

ANEXO G

TABLA 17. Número de individuos y porcentajes de familias entre las estaciones evaluadas en la Bahía interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018.

Estaciones	Familia										Total	
	Chironomidae		Tubificidae		Hirudinae		Hyaellidae		Syrphidae		ind	%
	Ind	%	Ind	%	Ind	%	Ind	%	ind	%		
E-1	523	18,12	310	14,53	190	9,83	249	10,57	46	58,23	1318	14,04
E-2	526	18,23	527	24,71	303	15,68	100	4,25	0	0,00	1456	15,51
E-3	600	20,79	166	7,78	50	2,59	0	0,00	0	0,00	816	8,695
E-4	499	17,29	290	13,60	252	13,04	145	6,16	0	0,00	1186	12,64
E-5	224	7,76	451	21,14	556	28,78	219	9,30	0	0,00	1450	15,45
E-6	384	13,31	219	10,27	95	4,92	111	4,71	33	41,77	842	8,972
E-7	130	4,50	170	7,97	486	25,16	1531	65,01	0	0,00	2317	24,69
TOTAL	2886	100	2133	100	1932	100	2355	100	79	100	9385	100

ANEXO H

TABLA 18. Prueba de contraste Tukey de la concentración de HTP en sedimentos en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época lluviosa.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS= 957,82222

Error: 58389,7754 gl: 7

Estaciones	Media	N	E.E
E-7	368,67	2	A
E-5	404,38	2	A
E-2	426,22	2	A
E-1	963,87	2	A B
E-6	1304,76	2	A B
E-4	1485,56	2	B
E-3	1648,3	2	B

ANEXO I

TABLA 19. Prueba de contraste Tukey de la concentración de HTP en sedimentos en las diferentes estaciones de la Bahía interior de Puno, época seca.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=
957,82222

Error: 58389,7754 gl: 7

Estaciones	Media	N	E.E		
E-7	842,91	2	A		
E-1	1192,72	2	A	B	
E-5	1527,88	2	A	B	C
E-2	1635,3	2	A	B	C
E-4	2022,48	2	A	B	C
E-6	2386,88	2		B	C
E-3	2635,3	2			C

ANEXO J Anexo fotográfico



FIGURA 6. Muestreo de sedimentos utilizando una Draga Ekman de 15x 15 x cm, en la Bahía Interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018



FIGURA 7. Materiales para realizar el muestreo de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos de la Bahía Interior de Puno, A: hielera con hielo, B: hielera con frascos de vidrio, febrero 2017 – junio 2018.



FIGURA 8. Muestreo de sedimentos para la recolección de macroinvertebrados bentónicos de la Bahía Interior de Puno, febrero 2017 – junio 2018



FIGURA 9. Identificación de los macroinvertebrados bentónicos, en el laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 – junio 2018.



FIGURA 10. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Tubificidae (Sanguijuela), laboratorio de Limnología, de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 – junio 2018



FIGURA 11. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Hirudinae (Gusano tornillo rojo), laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 – junio 2018



FIGURA 12. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Quironomidae, laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA-Puno, febrero 2017 – junio 2018

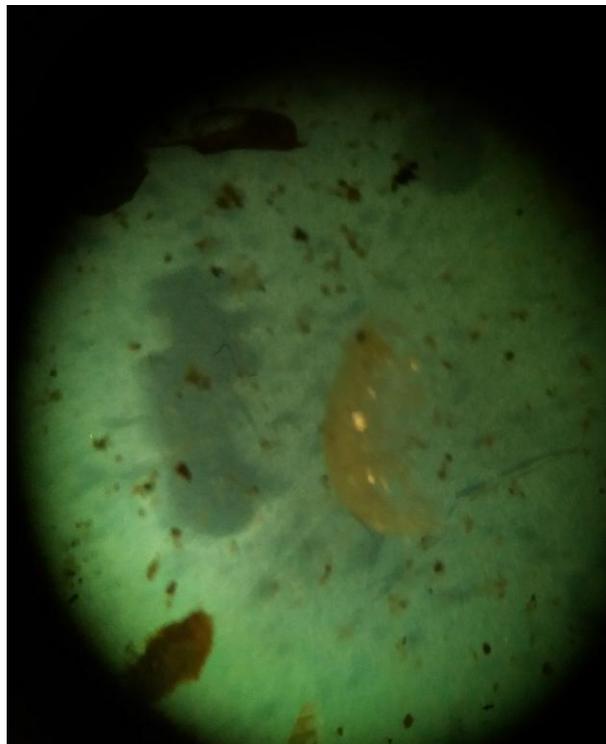


FIGURA 13. Macroinvertebrados bentónicos, familia: Hyalellidae, laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias Biológicas UNA Puno, febrero 2017 – junio 2018



“Año del dialogo y reconciliación Nacional”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

LABORATORIO DE LIMNOLOGÍA

CONSTANCIA

EL JEFE DE LABORATORIO DE LIMNOLOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO –PUNO

HACE CONSTAR:

La Br. Eva Fernández Arpa, egresada de la Facultad de Ciencias Biológicas de la mención de Ecología, ha realizado el reconocimiento de macroinvertebrados bentónicos en sedimentos recolectadas de diferentes zonas de la bahía interior de Puno, de su trabajo de investigación: NIVEL DE CONCENTRACION DE PETROLEO EN SEDIMENTOS Y SUS RELACION CON MACROINVERTEBRADOS DE LA BAHIA INTERIOR DE PUNO, ejecutado en los meses de marzo del 2017 y junio del 2018.

Se expide la presente a solicitud personal para fines que crea conveniente.

Puno, 10 de setiembre del 2018

Atentamente:



Blgo. Rene Hermino Alfaro Tapia
Jefe de laboratorio de limnologia