

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



**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**

Presentado por

**Br. DENNIS XAVIER HUISA BALCON**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERU

2017

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



## TESIS

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

## PRESENTADO POR:

Br. DENNIS XAVIER HUISA BALCON

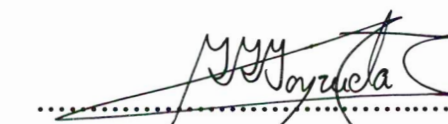
## PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Fecha de Sustentación: 02 de Agosto del 2017

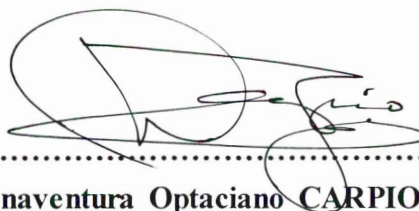
## APROBADO POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE



: M. Sc. Gilmar Gamaliel GOYZUETA CAMACHO

PRIMER MIEMBRO



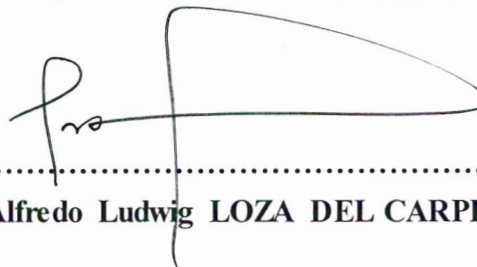
: Dr. Buenaventura Optaciano CARPIO VÁSQUEZ

SEGUNDO MIEMBRO



: Mg. Martha Elizabeth APARICIO SAAVEDRA

DIRECTOR DE TESIS



: M. Sc. Alfredo Ludwig LOZA DEL CARPIO

ÁREA: Ecología

LÍNEA: Gestión Ambiental

TEMA: Evaluación de Impacto Ambiental

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo con mucho cariño y especial estima a la persona más fuerte y amable, porque a ella le debo todo y todo mi mundo es ella, mi madre*

*Agustina, gracias por apoyarme siempre por la confianza que siempre muestras hacia mí, y por ser mi fuerza y guía afrontando la vida, a mi padre Pompeyo, a mis hermanos Aldo, Miguel y Erika, a mi sobrino Jared, es por todos.*

*Para que en un futuro en respuesta de nuestras acciones aprendamos a remediarla... para ti, para que al sentir la brisa te emociones, al sentir la lluvia te regocijes... y el calor del sol festejes... para que cultives en la tierra tu futuro... el mundo que ansiamos está más allá de lo evidente...*

*“Creo haber encontrado el eslabón perdido entre el animal y el Homo sapiens: somos nosotros”*

*Konrad Lorenz (1903-1989)*

## AGRADECIMIENTOS

Al pilar de mis pensamientos y acciones mi familia, por todo el apoyo que siempre me han brindado, mi madre Agustina, mi padre Pompeyo, mis hermanos Aldo, Miguel, y Erika.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, la Facultad de Ciencias Biológicas, y la Escuela Profesional de Biología mi *Alma matter*, gracias por brindarme esa calidez del saber que engrandece el alma y corrige el pensamiento. A los Docentes de la UNAP, Dr. Edmundo G. Moreno Terrazas por su acertada percepción, Mg Sc. Alfredo L. Loza del Carpio por su invaluable colaboración, Mg. Martha E. Aparicio Saavedra por su motivación y apoyo, Mg Sc. Gilmar G. Goyzueta Camacho por ese sentimiento de realizar excursiones a campo, Dr. Buenaventura O. Carpio Vásquez por darle sentido a las palabras a través del Decálogo del Desarrollo, gracias por sus aportes, recomendaciones y cooperación para el desarrollo de este trabajo.

Al Vicerrectorado de Investigación de la UNAP y Vicerrector de Investigación Dr. Wenceslao T. Medina Espinoza, a los organizadores del primer concurso “Mi Proyecto de Tesis en un Poster”, gracias por su incentivo y motivación para poder desarrollar este trabajo de investigación.

A Neotropical Grassland Conservancy NGC, gracias por la confianza depositada, su apoyo e incentivo colaboraron a concluir este trabajo de investigación. A la Asociación para la Conservación de Carnívoros y su Hábitat Pro Carnívoros, donde se cavilan ideas e intenciones para realizar actividades por el bien común, donde puedo expresarme a través de letras y garabatos, buscando estrategias por un futuro con biodiversidad.

A mis amistades, Anthony G. Pino Charaja, Gabriel Llerena Reátegui, Omar Rodríguez Bravo, Mario Alberto Soria Arredondo, Tania Quispe Pilco y Evelyn Huacondori Velásquez gracias por su motivación, colaboración y retroalimentación de saberes, se aprende día a día y aprendí de ustedes. A Wally, mis amigos y personas que escapan a mi memoria gracias por hacer esto posible, espero que nos veamos pronto nuestros caminos convergen.

**INDICE DE CONTENIDO**

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INDICE DE CONTENIDO	
INDICE DE CUADROS	
INDICES DE FIGURAS	
LISTA DE ABREVIATURAS	
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.2. Marco Teórico.....	20
2.2.1. Reserva Nacional del Titicaca.....	20
2.2.2. Definición de contaminación .....	21
2.2.3. Definición de suelo .....	22
2.2.4. Propiedades del suelo.....	22
2.2.5. Contaminación de suelos .....	23
2.2.6. Definición de petróleo.....	24
2.2.7. Formación del petróleo .....	24
2.2.8. Aguas de formación .....	25
2.2.9. Explotación del petróleo en el Departamento de Puno .....	25
2.2.10. Causas de contaminación de suelos por actividad petrolera .....	27
2.2.11. Consecuencias de la contaminación de suelos por la actividad petrolera... ..	27
2.2.12. Consecuencias de la actividad petrolera en Ahuallane .....	29
2.2.13. Legislación Ambiental relacionada a los hidrocarburos .....	30
2.2.14. Pasivo ambiental .....	32
2.2.15. Biodiversidad .....	33
2.2.16. Importancia de la fauna y flora en la caracterización de suelos.....	33
2.2.17. Métodos para evaluar la Biodiversidad.....	34
2.3. Marco Conceptual.....	35
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	37

3.1. Área de Estudio .....	37
3.2. Tipo de Estudio .....	38
3.3. Población y Muestra .....	38
3.4. Materiales .....	38
3.5. Metodología .....	38
3.5.1. Diseño de muestreo o experimento .....	38
3.5.2. De laboratorio .....	40
3.5.3. Método estadístico (Análisis de datos) .....	41
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
4.1. Área degradada por la influencia de la actividad petrolera en Ahuallane .....	44
4.2. Biodiversidad de la zona de influencia por la actividad petrolera en Ahuallane .....	48
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>76</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> Línea de tiempo de actividades petroleras desarrolladas en la cuenca del Titicaca. ....	26
<b>CUADRO 2.</b> Estándares de calidad ambiental para suelo (derecha), EIPeruario (2013); Legislación Ambiental sobre hidrocarburos (izquierda), MINAM (2017). ....	32
<b>CUADRO 3.</b> En detalle área degradada (área, perímetro y porcentaje), ocasionados por la actividad petrolera en Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	44
<b>CUADRO 4.</b> Riqueza de flora, en la Zona de Perforación (ZP), Zona del Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), porcentaje y cantidad de especies, Ahuallane Huancané 2015-2016. ....	49
<b>CUADRO 5.</b> Flora, en Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), índices de dominancia de Simpson (D), de diversidad de Shannon-Weaner (H'), riqueza de Margalef (DMg) y equidad de Pielou (J'), Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	52
<b>CUADRO 6.</b> Riqueza de aves, en: Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), porcentaje y cantidad de especies del área degradada. Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	55
<b>CUADRO 7.</b> Aves, Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), índices de dominancia de Simpson (D), de diversidad de Shannon-Weaner (H'), riqueza de Margalef (DMg) y equidad de Pielou (J'), Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	58
<b>CUADRO 8.</b> Riqueza de Insectos: Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), porcentaje y cantidad de especies. Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	59
<b>CUADRO 9.</b> Ficha de evaluación de flora; Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	77
<b>CUADRO 10.</b> Ficha de evaluación de aves; Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	77

<b>CUADRO 11.</b> Ficha de evaluación de insectos, Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	78
<b>CUADRO 12.</b> Especies de flora registradas en la Zona de Perforación (ZP), PPC = cuadrante en el punto de perforación; Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	78
<b>CUADRO 13.</b> Especies de flora registradas en la Zona de Canal (ZC); CCD = cuadrante de Canal. Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	79
<b>CUADRO 14.</b> Especies de flora registradas en la Zona de Acumulación (ZA); ADC = cuadrante de área degradada. Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	79
<b>CUADRO 15.</b> Especies de aves registradas en las tres zonas de evaluación ZP, ZC y ZA; PC = Punto de conteo. Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	79
<b>CUADRO 16.</b> Especies registradas de insectos en los puntos de recolección de muestras ZP, ZC, y ZA, Ahuallane, Huancané 2015-2016 .....	80
<b>CUADRO 17.</b> Flora, Índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Perforación; Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	81
<b>CUADRO 18.</b> Flora, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad Zona del Canal (ZC); Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	81
<b>CUADRO 19.</b> Flora, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Acumulación (ZA); Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	81
<b>CUADRO 20.</b> Aves, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Perforación (ZP); Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	81
<b>CUADRO 21.</b> Aves, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona del Canal (ZC); Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	82
<b>CUADRO 22.</b> Aves, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Acumulación (ZA); Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	82



## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Área de estudio, se observa el punto de perforación (RH-10), las tres zonas evaluadas y los puntos de muestreo de flora, aves e insectos, Ahuallane, Huancané 2015-2016. ....	37
<b>FIGURA 2.</b> Mapa del área degradada ocasionada por el efecto de efluentes salobres de la perforación RH-10, Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	46
<b>FIGURA 3.</b> Vista satelital; línea roja: derecha, Zona de amortiguamiento de la RNT. Ahuallane, Huancané (Fuente: Google Earth Pro, 2016). ....	47
<b>FIGURA 4.</b> Flora, abundancia relativa, en la Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	51
<b>FIGURA 5.</b> Flora, análisis Clúster mediante índice de similitud de Jaccard (Ij) entre: Zona de Perforación (ZP), Zona del Canal (ZC), y Zona de Acumulación (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	53
<b>FIGURA 6.</b> Aves, abundancia relativa, en la Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulacion (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	57
<b>FIGURA 7.</b> Aves, análisis Clúster mediante índice de similitud de Jaccard (Ij), entre: Zona de Perforación (ZP), Zona del Canal (ZC), y Zona de Acumulación (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.....	59
<b>FIGURA 8.</b> Sello del pozo RH-10 (izquierda y centro); torre petrolífera en alusión a la actividad petrolífera (derecha). Ahuallane, 2015-2016.....	83
<b>FIGURA 9.</b> Profundidad del Canal 1m, (izquierda); interior de la zona degradada, se observa vida vegetal en los alrededores (derecha), Ahuallane, 2015-2016.....	83
<b>FIGURA 10.</b> Residuos sólidos en la Zona de Canal (izquierda); botella en medio del suelo solido como una roca tras el actuar de las aguas de formación, Ahuallane, 2015-2016.....	83

- FIGURA 11.** Recorrido de transecto (izquierda); toma de puntos georeferenciales. Ahuallane, 2015-2016..... 84
- FIGURA 12.** Punto de conteo de aves (izquierda); trampa caída para insectos (derecha). Ahuallane 2015-1016..... 84
- FIGURA 13.** Método de cuadrantes (izquierda); colecta y prensado de muestras de flora (derecha). Ahuallane, 2015-2017. .... 84
- FIGURA 14.** Identificación de insectos (izquierda); insectos colectados de Ahuallane (derecha), en el Lab. Entomología, Fac. de Ciencias Agrarias UNAP, 2015-2016..... 85
- FIGURA 15.** Sitio Prioritario para la Conservación N° 15 (Izquierda); ganado pastando alrededor del area de gradada (derecha). Ahuallane, 2015-2016. .... 85
- FIGURA 16.** Agricultura alrededor del área contaminada en la Zona de Deposito (izquierda), en la Zona de Canal (derecha). Ahuallane, 2015-2016. .... 85
- FIGURA 17.** Animales domesticos en el area de estudio. Ahuallane, 2015-2016. .... 85
- FIGURA 18.** A: hábitat en la Zona de Perforación; B: *Sarcocornia* sp.; C: *Baccharis tricuneata*; D: *Caesalpinia spinosa*; E: *Echinopsis maximiliana*; F: *Eucaliptus globulus*; G: *Grindelia boliviana*; H: *Poa* sp. y *Taphius montanus* (Mollusca) Ahuallane, 2015-2016. (Fotografías: Dennis X. Huisa B.). .... 86
- FIGURA 19.** Aves, A: *Plegadis ridgwayi*; B: *Himantopus mexicanus*; C: *Anas flavirostris*; D: *Cathartes aura*; E: *Zonotrichia capensis*; F: *Phrygilus fruticeti*. Ahuallane, 2015-2016 (Fotografias: Anthony G. Pino Ch.). .... 86
- FIGURA 20.** Ave rapaz, *Athene cunicularia*, nidos terrestres, Ahuallane, 2015-2016. 87
- FIGURA 21.** Insectos del Orden Hymenoptera. Ahuallane, 2015-2016. .... 87

**LISTA DE ABREVIATURAS**

- ANP: Área Natural Protegida
- CEDAFOR: Centro de Desarrollo Agrario y Forestal
- CIRNMA: Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente
- DGAAE: Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos
- DDV: Derecho de Vía
- EIA: Evaluación de Impacto Ambiental
- GIZ: Agencia Alemana de Cooperación Internacional (siglas en Alemán)
- GORE – Puno: Gobierno Regional de Puno
- INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales
- LMP: Límites Máximos Permisibles
- INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática
- MINAM: Ministerio del Ambiente – Perú
- MINEM: Ministerio de Energía y Minas – Perú
- MINAG: Ministerio de Agricultura – Perú
- OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
- PA: Pasivo Ambiental
- PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente
- SENHAMI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- TDPS: Sistema Endorreico Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa
- TPH: Hidrocarburos Totales de Petróleo
- T-RFLP: Terminal Restriction Fragment Length Polimorfism
- pmm: partes por millón
- Ca: Calcio
- Cl: Cloro
- HCO<sub>3</sub>: Bicarbonato
- K: Potasio
- Mg: Magnesio
- SO<sub>4</sub>: Sulfato

## RESUMEN

El estudio se realizó en la Comunidad Rural de Ahuallane, a orillas del Lago Titicaca, distrito de Pusi, Huancané. Desde octubre del 2015 a mayo del 2016. El suelo de la zona de Ahuallane fue degradado por la actividad petrolera, debido a la perforación RH-10 desde donde se emanaba agua toxica a la superficie durante 64 años. Se planteó como objetivos: determinar el área degradada y la biodiversidad presente en la zona influenciada por la actividad petrolera de Ahuallane. La metodología establecida fue georeferenciar el área cada 20 m para elaborar un mapa del área degradada, la metodología de cuadrantes, puntos de conteo, transectos y trampas caída fue usada para evaluar la diversidad de flora, aves e insectos respectivamente; en tres zonas establecidas Zona de Perforación ZP, Zona del Canal ZC y Zona de Acumulación ZA. Se calcula un área total degradada (ATD) de 96.54 ha, donde 67.43 ha es una Zona de Ecotono (ze). Se registraron 33 especies de flora agrupados en 7 órdenes, 11 familias y 29 géneros, el mayor registro fue en ZP ( $H' = 1.0153$ ) y el menor en ZA ( $H' = 0.2503$ ), la diferencia no es significativa ( $p = 0.1452$ ); entre ZC y ZP se comparte 19.35 % de especies, ZA y ZP no comparten especies (0.0 %). Además, se registraron 29 especies de aves agrupadas en 10 órdenes, 19 familias y 25 géneros, el mayor registro fue en ZP ( $H' = 1.7803$ ) y el menor en ZC ( $H' = 0.8439$ ), la diferencia no es significativa ( $p = 0.2019$ ), entre ZP y ZC se comparte 18.75 % de especies, ZP y ZA comparten un 3.44 % de especies. Finalmente, se obtuvo 24 especies de insectos agrupadas en 7 ordenes, 18 familias, con mayor registro en ZP y menor en ZA.

**Palabras clave:** Actividad petrolera, Ahuallane, Área degradada, Biodiversidad, y Zona de influencia.

## ABSTRACT

The study was carried out in the Rural Community of Ahuallane, a shores of Lake Titicaca, district of Pusi, Huancané. From October 2015 to May 2016. The soil of the Ahuallane area was degraded by oil activity, due to the RH-10 drilling from which toxic surface water was emitted to the surface for 64 years. The objectives were: to determine the degraded area and the biodiversity present in the area influenced by the oil activity of Ahuallane. The established methodology was to georeferentiate the area every 20 m to elaborate a map of the degraded area, the methodology of quadrants, counting points, transects and fall traps was used to evaluate the diversity of flora, birds and insects respectively; in three established zones ZP Drilling Zone, ZC Channel Zone and ZA Accumulation Zone. A total degraded area (ATD) of 96.54 ha is calculated, where 67.43 ha is an Ecotono Zone (ze). A total of 33 species of flora grouped in 7 orders, 11 families and 29 genera were recorded, the highest recorded in ZP ( $H' = 1.0153$ ) and the lowest in ZA ( $H' = 0.2503$ ), the difference was not significant ( $p = 0.1452$ ); between ZC and ZP we share 19.35% of species, ZA and ZP do not share species (0.0%). In addition, 29 bird species were recorded in 10 orders, 19 families and 25 genera, the highest recorded in ZP ( $H' = 1.7803$ ) and the lowest in ZC ( $H' = 0.8439$ ), the difference was not significant ( $p = 0.2019$ ), between ZP and ZC 18,75% of species are shared, ZP and ZA share 3.44% of species. Finally, 24 insect species were grouped in 7 orders, 18 families, with higher ZP and lower ZA.

**Keywords:** Oil activity, Ahuallane, Degraded area, Biodiversity and Influence area.

## I. INTRODUCCIÓN

La explotación petrolera se remota a los años 1875 al 1940 en la zona de Pusi (Pirin) (INRENA, 1995) algunos trabajos se abandonaron en 1925, esto en vista de resultados infructuosos, ya que no se estudió bien la estructura geológica del lugar resultando en la zona pozos petrolíferos mal sellados (Noriega, 1962, Sáez *et al.* 1999; INRENA 1995) ocasionando la acumulación de sustancias derivadas del petróleo con tendencia a la aridez y la desertificación de suelos, debido a emanaciones de agua salitrosa, petróleo crudo, sustancias tóxicas, y encauzadas por los pobladores directamente al lago Titicaca, afectando a los recursos naturales, el medio ambiente y siendo una seria amenaza para la biodiversidad de este sector (INRENA 1995; CIRNMA-CEDAFOR 2001; Goyzueta 2005; Martínez *et al.* 2007; Pineda-Arce 2013) considerando que la salinidad de las aguas aumenta con la profundidad (Leal, 2011), se visualizan efectos evidentes como la salinización de tierras, pérdida de áreas de uso agrícola, deterioro del hábitat acuático y consecuentemente de los recursos hidrobiológicos y biota silvestre (Pineda-Arce, 2013), como medida definitiva en 2008 Petroperu selló los pozos de petróleo y de agua salada (PERUPETRO, 2008), esta zona posibilita la promoción de actividades de turismo, manejo, recuperación de totorales, recuperación de especies nativas de peces, sistemas agroforestales y conservación de suelos (CIRNMA-CEDAFOR, 2001).

Generalmente si las consecuencias no se detectan de inmediato los peligros potenciales pueden tardar décadas en manifestarse con efectos de gran magnitud (Sabroso & Pastor, 2004) y si el detrimento de los suelos sobrepasa el límite de tolerancia del mismo, éste se sobreesatura, deteriorándose, perdiendo su capacidad de auto regenerarse y sus propiedades (Toledo, 2009), por lo tanto, el mayor riesgo deriva de la restauración de la explotación de los pozos existentes y de la apertura de otros nuevos (Sáez *et al.* 1999), pero, no están libres de amenazas, los bloques 154, 155 y 156 para el 2008 su licitación se encuentra fuera de áreas protegidas (PERUPETRO, 2008), además, existe un alto riesgo de contaminación por exploraciones petroleras en el lote S-2 que abarca parte de las provincias de Puno, Azangaro, Chucuito y Huancané (CIRNMA-CEDAFOR, 2001), considerando, que la industrialización del petróleo genera muchos residuos de muy difícil o costosa eliminación (Malacalza & Coviella, 2002) al tratarse del Lago de un sistema cerrado, contando con una extensa llanura de inundación ribereña, es fácil la

llegada masiva de contaminantes al lago por vía superficial (Saéz et al. 1999) encontrándose la Reserva Nacional en Peligro, debido a que los desechos llegan a esta área (INRENA, 1995) donde son en parte absorbidos por la tierra, en partes se filtra en el agua subterránea y el resto se une a cuerpos de agua en la localidad (Kumar & Kumar, 2009), pues, los contaminantes son dañinos para los organismos, pueden inhibir la fotosíntesis o la respiración, causar problemas reproductivos u otros problemas fisiológicos, o matar a los organismos directamente (Desonie, 2008).

El ecosistema tiene la capacidad de autorregularse al encontrarse en un estado de equilibrio biológico (Wagner, 1999), la biodiversidad tiene un valor intrínseco (Towsend *et al.* 2008) se define como toda la variedad de formas en las que la vida se expresa a todos niveles en el planeta (Carabias *et al.* 2009), una amenaza grande representa el factor antropogénico (Goyzueta, 2005) pueden convertirse en un problema más serio hacia el futuro, si no se toman las precauciones debidas (Martínez *et al.* 2007), estas situaciones constituyen un riesgo y evitan el establecimiento de un adecuado sistema de uso y manejo de estos recursos (PROFONANPE, 2016), los muestreos son una actividad importante detectan cambios en la biodiversidad, generan información aplicable al desarrollo de tecnologías que mejoran aspectos de nuestra vida cotidiana, es una herramienta importante para evaluar los resultados de las estrategias aplicadas para la conservación y el manejo sostenible (Eekhout, 2011; PROFONANPE 2016), la sustentabilidad del sistema de vida de nuestra especie se liga a los suelos (Ortega-Ortiz *et al.* 2009).

## OBJETIVOS

- ✓ Determinar el área degradada por la influencia de la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane.
- ✓ Determinar la biodiversidad presente de la zona de influencia por la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Los hábitos agrícolas han aumentado la salinidad del suelo en diversas regiones del mundo al alterar el equilibrio natural del ciclo del agua (Smith & Smith, 2007), existe contaminación por sulfuros y sulfatos (CIRNMA, 2007), en Ahuallane Lote S2, resultados del análisis de aguas: reporto un pH de 7.55 y 9.05 que sobrepasa los LMP, fenóles 0,004 mg/l por encima de los LMP, sulfuros < 0.001 no sobrepasan los LMP, nitrógeno amoniacal < 0.01 y 1,36 no existen valores establecidos en los LMP, oxígeno disuelto 13,1 mg/L sobrepasa los LMP, metales: cadmio 0,001 mg/L a 0,008 mg/L no pasan los LMP, bario 0,59 mg/L, cromo < 0,01 a 0.05 mg/L no pasa los LMP, mercurio 0,0005 a 0.0026 mg/L debajo de los LMP, plomo menores a 0.01 debajo de los LMP (Machaca, 2007), en el lago Titicaca la salinidad es por lo general inferior a 1 g/l (Martínez *et al.* 2007).

En la cuenca del Lago Titicaca se localizan 03 Lotes con concesiones y contratos de exploración para fines petrolíferos, que alcanzan un área de 1 434 736, 846 ha que representa el 29,33 % de la cuenca del Lago Titicaca (MINAM, 2013), entre las concesiones se encuentran: Lote 105 (Huancané, San Román y Puno); Lote 141 (Azángaro, Lampa y Melgar); Lote 155 (Azángaro, San Antonio de Putina, Huancané y Moho), ahora se considera, el Lote 156 (El Collao y Chucuito), (Los Andes, 2013), en contraste, en Maicao, Colombia, se pudo evidenciar que la contaminación del suelo por los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) produce cambios en las propiedades físicas y químicas alterando su condición natural, principalmente en las capas expuestas directamente a los vertimientos (Castellanos *et al.* 2015).

La magnitud de la contaminación por hidrocarburos y metales pesados, depende del área contaminada, las concentraciones y tipo de hidrocarburos (Zarate, 2010), en contraste, datos hallados en Bucaramanga, México, donde en 37 muestras de agua de formación analizadas, se encontraron elementos mayores ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{HCO}_3$ , K,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4$ ), demostrando que la salinidad de las aguas aumenta con la profundidad (Leal, 2011), así mismo, en Loreto, los Lotes 1AB, 8, y 8X llevan más de 40 años de vida y son los campos petroleros más antiguos de Loreto. El Lote 8X se halla dentro del ANP



Pacaya Samiria y dentro del área de la reserva designada como zona de protección al sur del río Marañón. El área, designada Zona de Recuperación, ha sido explotada por su petróleo por más de cuatro décadas, lo cual ha resultado en un legado de contaminación por desechos y derrames (E-Tech, 2015).

El Sitio Prioritario para la Conservación N° 15, ecosistemas representativos: Vegetación acuática de totora con 5,662.89 ha (72 %) y cuerpos de agua con 1,486.69 ha (19 %) (GORE-Puno, 2016), para el contexto de la cuenca, los usos agropecuarios cubren un total del 48% de la cuenca (incluidas las superficies acuáticas). De éstos, el 4,4 % de la cuenca están dedicados a cultivos y el 21,7 % a pastos, 7 % a usos agropecuarios y 14,9 % a usos agro-silvo-pastoriles. La mayor área de cultivos se encuentra en la cuenca del Titicaca y la mayor área en pastos en la del Ramis (Martínez *et al.* 2007), cuando el detrimento de los suelos sobrepasa el límite de tolerancia del mismo, éste se sobresatura, deteriorándose y perdiendo su capacidad de auto regenerarse y sus propiedades (Toledo, 2009).

Se evidencia en Colombia, que la contaminación del suelo por los TPH produce cambios en las propiedades físicas y químicas alterando su condición natural, principalmente en las capas expuestas directamente a los vertimientos (Castellanos *et al.* 2015), el efecto acumulativo de áreas grandes y más grandes de agricultura intensiva que agota la biodiversidad de una región y reduce la calidad de agua, necesaria para otras actividades humanas. En otras palabras, un manejo de paisajes agrícolas es necesario hacerla a una escala regional (Begon *et al.* 2006), además, se indica para Colombia, una reducción en la retención de humedad del suelo en la primera capa equivalente a 23,25 % y en la segunda una reducción del 2,8 %, circunstancia que incrementa la vulnerabilidad de estos suelos al tensor ambiental sequía (Castellanos *et al.* 2015).

En la Bahía de Juli, Puno se registró un total de 185 taxa agrupados en 3 divisiones, 58 familias y 137 géneros (Arteta *et al.* 2006), así mismo, para el Sitio prioritario para la conservación número 15, especies representativas de flora: Llachales (*Myriophyllum elatinoides*, *Chara* sp., *Elodea potamogeton*, *Potamogeton strictus*, *Zannichellia palustris*) (GORE-Puno, 2016).

Los valores del agua de formación en ejemplos de Noruega, Medio Oriente, Golfo de México y China, menciona que el gas libre presente en la formación puede contener constituyentes corrosivos, tales como  $H_2S$  y el  $CO_2$ , estos mismos constituyentes pueden disolverse en el agua de formación. Además, poseen un pH comprendido entre 4 y 6 para el agua de formación (Abdou *et al.* 2011), para el contexto del lago Titicaca, los pozos también eliminan partículas livianas y gases que tienden a elevarse, quedando en parte adheridas al suelo y vegetación de las colinas. La vegetación adhiere las sustancias en sus tejidos, perdiendo así sus cualidades biológicas y con riesgo para los consumidores primarios como el ganado (INRENA, 1995), a nivel social, afecta las condiciones de vida de las familias asentadas en el lugar, los mismos que se estiman en un área de 55 ha, y un radio de 2.0 km, del punto de afloramiento, el agua de salmuera provoca un desequilibrio que afecta la biodiversidad de flora y fauna, esta agua no es apta para fines de riego (CIRNMA, 2007).

En un estudio de caso en Ecuador, los servicios de análisis y control se hicieron cada 21 a 30 días, en los sitios de tratamiento de suelos. En esta fase se trataron con éxito aproximadamente 140,000 ton de suelos en plataformas; se recuperaron en su totalidad 35 sitios contaminados, y se aplicó una tecnología de bajo costo y ecológicamente compatible. Se obtuvieron niveles de TPH muy inferiores a las 5,000 ppm, valor que había determinado el gobierno ecuatoriano en casos anteriores. Las plataformas en las que se aplicó el tratamiento por más de 90 días alcanzaron valores de TPH por debajo de 3,000 ppm (Ortinez *et al.* 2003), sin embargo, en México se encontró, que el único punto de muestreo en el que se observó concentración de hidrocarburos y que pudiera corresponder a un alto resistivo en la zona 3, es el punto PUE11 con una concentración de 4 145 mg/kg. Esta misma resistividad se detectó en el perfil 3, pero se observó que el punto PUE14 indicó una concentración no detectada, aunque como se mencionó anteriormente pudo ser que la muestra haya caído en una zona con una presencia insignificante de contaminación no detectada en el análisis de dicha muestra (Acevedo, 2012).

Los ductos de petróleo y diésel que irán del Lote 67 a la estación de bombeo de Petroperú en Andoas (Lote 1AB) atravesara 30 km de la RN Pucacuro, ANP al noroeste de Iquitos. Se prevé que estos dos ductos entrarán en servicio en 2017. Una debilidad fundamental del EIA aprobado por el Dirección General de Asuntos Ambientales

Energéticos (DGAAE) del MINEM en 2012 fue el derecho otorgado para construir un camino permanente en el Derecho de Vía, que mide 207 km de largo. Sin embargo, este mismo EIA aprobado impone una serie de requisitos que se consideran como las mejores prácticas en su ámbito, aunque la aplicación de estas mejores prácticas no neutralizaría el daño de un camino permanente en el DDV (E-Tech, 2015).

Estudios en Colombia evidenciaron que, se encontró una reducción promedio del pH del suelo equivalente a 3,5 % y 4,9 % en la primera y segunda capa del perfil, respectivamente, por efecto del vertimiento de TPH (Castellanos *et al.* 2015), sin embargo, estudios en manglares en México, pone de manifiesto que el tema de las respuestas de los mangles al contacto con hidrocarburos es complejo y controversial, dado que depende de múltiples factores, tales como la especie de mangle, del sustrato en el que ésta se encuentre, de las corrientes, dirección del viento y patrones de las mareas, de la temperatura ambiental, de la geomorfología y de las características físico-químicas de los hidrocarburos involucrados (relacionadas a toxicidad, bioacumulación y persistencia) (Olguín *et al.* 2007).

Se estima que en el ámbito del lago pueden existir hasta 60 especies de aves, 8 especies de mamíferos, 15 especies de anfibios, una de reptiles, 12 de peces, y 18 especies de zooplancton, además de un número indeterminado de especies de invertebrados (INRENA, 1996), por lo tanto, las especies que se encuentran tienen generalmente una extensa distribución, tanto en el Altiplano como en las cordilleras (Dejoux, 1991), entonces, se aprecia que el lago, sus orillas y sus islas están pobladas por una avifauna bien diversificada, se señalan más de 13 grupos 25 familias y 50 especies diferentes (Dejoux 1991, PNUMA 1996). El Sitio Prioritario para la Conservación n° 15, especies representativas de fauna: Los totorales albergan especies de aves como *Anas georgica*, *Anas flavirostris*, *Plegadis ridgwayi*, *Chroicocephalus serranus*, *Gallinula chloropus*, *Tringa flavipes*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Rollandia microptera* y *Rollandia rolland* (GORE-Puno, 2016).

## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Reserva Nacional del Titicaca

La única área dedicada a la protección de los valores lacustres es la Reserva Nacional del Titicaca en la subregión de Puno (PNUMA, 1996), establecida por D.S. 185-78- AG del 31 de octubre de 1978, ocupando un área de 36,180 ha, en los cuales se concentra aproximadamente el 50 % de la biodiversidad de todo el lago Titicaca (Goyzueta 2005, Pineada-Arce 2013), así mismo, los peces y las aves son los principales grupos de animales de importancia económica (INRENA, 1996), entre la avifauna se tienen especies residentes y migratorias, algunas utilizadas en la alimentación humana e incluso en diversos usos culturales (PROFONANPE, 2016).

La RNT tiene como objetivos de creación, según PROFONANPE (2016):

- ✓ Conservar la diversidad biológica y los recursos paisajísticos como una muestra representativa del lago Titicaca.
- ✓ Promover el desarrollo sostenible de las poblaciones involucradas mediante el manejo sostenible de los recursos renovables.
- ✓ Fomentar la recreación en la naturaleza y el ecoturismo.

**Zona inundable:** las inundaciones constituyen el evento extremo que ha adquirido quizá la mayor importancia, por sus daños en la cuenca (Martínez, *et al.*, 2007), son espacios territoriales que se encuentran en particular en el límite noreste del Sector Puno (35 %) y límite norte del Sector Ramis (15 %). Son planicies amplias de baja pendiente susceptibles de ser directamente afectadas por el nivel del lago, que para el Titicaca es determinado por los periodos de lluvia y estío (SERNANP, 2015), así mismo, la población rural que ocupa áreas ribereñas circundantes al lago se dedican en su mayoría a la agricultura (papa, cebada, avena, quinua, cañihua) y la ganadería en las pampas (ovinos, llamas y alpacas) (INRENA, 1996).

**Totoral:** la bioecología lacustre se mantiene gracias al desarrollo de estas plantas (Valdivia, 2004), es el principal ecosistema de la reserva (60 %) caracterizado por la presencia de *Schenoplectus tatora*, que es una ciperácea que se desarrolla en áreas con profundidades entre 0.50 m a 2.5 m, con tallos desprovistos de hojas, que emergen hasta los 2 m de altura, sobre el nivel del lago (SERNANP, 2015), son en parte manejadas por

las comunidades rurales mediante parcelas de extracción (INRENA, 1996), además, constituyen un ecosistema de primordial importancia para el desarrollo del poblador circunlacustre local y del altiplano peruano-boliviano (Goyzueta, 2005),

**Cuerpos de Agua:** el recurso hídrico es importante para sustentar el sistema de humedales del lago (INRENA, 1996), así mismo, entre las zonas inundables y totorales existen espacios libres de vegetación o de profundidades que no permiten el desarrollo de vegetación sumergida o emergente, esas áreas con los cuerpos de agua que se presentan a lo largo de toda la reserva. Podemos sin embargo hablar de dos tipos importantes, aguas abiertas con profundidades mayores a los 5 m y aguas someras con profundidades hasta de 80 cm (SERNANP, 2015).

### **Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Del Titicaca**

En las inmediaciones de la Reserva Nacional del Titicaca, habitan distintas poblaciones humanas de habla Quechua y Aymara (Pineda-Arce, 2013), por lo tanto, la delimitación fue diseñada con el propósito de minimizar los efectos de las actividades a desarrollarse en esta zona, considerando aspectos sociales, biológicos y geográficos, así como la existencia de actividades económicas presentes y planificadas alrededor de la reserva. La zona de amortiguamiento no ha sufrido cambio y se mantiene de acuerdo a los límites establecidos con la Resolución Jefatural N°467-2002-INRENA que aprueba el último Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca (SERNANP, 2015), así mismo, es el área que corresponde las inmediaciones y adyacentes a la RNT, tanto terrestre y acuática, posibilita la continuidad física al integrar los dos sectores Puno y Ramis, abarca desde la desembocadura del río Ramis, litoral Pusi, Desembocadura del Río Coata hasta la Bahía Interior de Puno, Ichu, Bahía de Chucuito, Platería y parte de Acora. Además las Islas de Amantani y Taquile (CIRNMA-CEDAFOR, 2001).

#### **2.2.2. Definición de contaminación**

La contaminación puede definirse como la concentración de un elemento o de un compuesto químico a partir de la cual se producen efectos desfavorables (Barbosa, 2011), desde un punto de vista medioambiental, es la alteración de las características físicas, químicas o biológicas de los factores medioambientales en grado tal que supongan un riesgo inaceptable para la salud humana o los ecosistemas (Sabroso &

Pastor, 2004), es decir, toda perturbación del medio ambiente que resulte perjudicial para los seres humanos u otros organismos vivos. El agente causal puede ser de origen químico, físico o biológico y afectar al aire, al agua o a los suelos (Malacalza & Coviella, 2002), por lo tanto, los contaminantes son los productos de desecho de la sociedad humana. Se vierten en el aire o el agua, o en la tierra. Una vez que se liberan, los contaminantes pueden viajar por todo el mundo. No hay ubicación. No importa cuán remoto, que esté libre de contaminantes modernos (Desonie, 2008). Se trata de residuos sólidos que, cuando se vierten en la tierra, se acumulan en ella y causan contaminación (Kumar & Kumar, 2009).

### 2.2.3. Definición de suelo

Se define desde el punto de vista medioambiental, como la fina capa superior de la corteza terrestre (litosfera), situada entre el lecho rocoso y la superficie (Sabroso & Pastor, 2004), es un sistema complejo dinámico caracterizado por una atmósfera interna, una economía particular del agua, flora y fauna determinada, y elementos minerales (Barbosa, 2011), constituye el medio para el crecimiento de plantas, el factor principal que controla el destino del agua en los ambientes terrestres, el sistema de reciclaje de la naturaleza, en donde los residuos vegetales y animales se descomponen y se transforman en sus elementos básicos, y es el hábitat de diversas formas de vida animal (Smith & Smith, 2007).

### 2.2.4. Propiedades del suelo

Las propiedades físicas y químicas de los suelos influyen en características como aireación, disponibilidad de nutrientes y retención de agua, así como también en la actividad biológica (Leal, 2011) siendo el resultado es un medio estable, con propiedades físicas y químicas dadas principalmente por la naturaleza de la roca madre (Malacalza *et al.* 2002).

Propiedades del suelo, según Volke *et al.* (2005):

- ✓ Reactor natural: El suelo es un elemento filtrante, amortiguador y transformador, que regula los ciclos del agua y los biogeoquímicos. Tiene la propiedad de retener sustancias mecánicamente o fijarlas por adsorción,

contribuyendo a la protección de aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos. El suelo, además, promueve fenómenos de evotranspiración o transpiración del aire a través de la superficie.

- ✓ Hábitat de organismos y reserva genética: El suelo constituye, junto con el agua, el aire y la luz solar, el fundamento de la vida en los ecosistemas terrestres, alberga una gran diversidad de organismos y microorganismos.
- ✓ Soporte físico de infraestructura: Por sus características físicas, químicas y mecánicas, el suelo posee propiedades de soporte para el desarrollo de actividades forestales, recreativas y agropecuarias, además de socio-económicas como vivienda, industria y carreteras, entre otras.
- ✓ Fuente de materiales no renovables: El suelo es un yacimiento de materias primas, como minerales no metálicos de interés para la construcción (piedra, mármol, caliza, yeso, arena), minerales metálicos (blenda, galena, siderita, pirita) y combustibles fósiles como el petróleo.

#### 2.2.5. Contaminación de suelos

Se considera contaminante a toda sustancia que tiene el potencial de presentar un riesgo de dañar a la salud humana o cualquier otro valor medioambiental (Sabroso y Pastor, 2004), tierra o suelo son contaminadas por descarga indiscriminada de desperdicio doméstico, comercial, municipal e industrial (Kumar & Kumar, 2009), que se traduce en una pérdida de aptitud para determinada función o hace inutilizable al suelo, a menos que se le someta a una remediación de suelos (Barbosa, 2011), por desgracia, en los últimos cientos de años, este recurso se ha degradado rápidamente como consecuencia de una serie de actividades humanas derivadas de nuestro explosivo crecimiento poblacional (Ortega-Ortiz *et al.* 2009).

La clasificación de agentes contaminantes según su efecto primario según Sabroso & Pastor (2004):

- ✓ Contaminación física: aquellos que originan variaciones en parámetros como temperatura y radiactividad.
- ✓ Contaminación biológica: aquellos que inducen a la proliferación de especies ajenas a los microorganismos presentes en el suelo de forma natural.

- ✓ Contaminación química: aquellos que por su presencia o por su elevada concentración alteren la composición originaria del suelo.

### 2.2.6. Definición de petróleo

La palabra petróleo es una castellanización del latín *petroleum* (de *petra* piedra y *oleum* aceite) (Méndez, 2007), el aceite petrolífero está constituido por hidrocarburos, desde el metano C<sub>1</sub>, según la forma de expresión petrolera, hasta especies complejas, tipo C<sub>40</sub> y aún más altas, que no pueden destilarse sin descomposición (Casas, 2010), es un líquido viscoso de color verde, amarillo, marrón o negro, y que está constituido por diferentes hidrocarburos, es decir, por compuestos formados por átomos de carbono e hidrogeno en cantidades variables (Iñesta & García, 2002), pueden ser vistos como sustitutos imperfectos y exagerados de la naturaleza que inicialmente conservan el hábitat (Goklany, 2009), sin embargo, es una de las principales fuentes de energía y evolución; generador de bienestar y progreso social; motor del desarrollo científico y tecnológico; energético de gran importancia para las sociedades modernas (Méndez, 2007), más de la mitad de la energía que mantiene en actividad a nuestra civilización proviene de esta fuente energética no renovable (Iñesta & García, 2002).

### 2.2.7. Formación del petróleo

El proceso de descomposición de la materia orgánica y la formación del petróleo tarda entre 10 y 100 millones de años (Iñesta & García, 2002), su origen se debe a la lenta descomposición de materia orgánica acumulada en cuencas marinas y lacustres en un pasado remoto. La sedimentación y el sepultamiento propiciaron procesos químicos desarrollados en un ambiente rocoso, en el que predominaron altas presiones y temperaturas, dando como resultado al aceite crudo y al gas natural. En ocasiones estas acumulaciones profundas de petróleo, adquieren altísimas presiones y encuentran fracturas o grietas por las cuales el aceite migra hacia la superficie (Méndez, 2007), llena los agujeros de las rocas de origen sedimentario, como sucede con el agua en los acuíferos o esponja (Iñesta & García, 2002).

La catagénesis es la etapa principal de formación del petróleo a partir de kerógeno, se caracteriza por la ocurrencia (asumida) de reacciones de maduración de primer grado, donde la cinética es determinada por la estructura del kerógeno y su grado de



deformación en el tiempo geológico. La metagénesis es la etapa ocuriente entre la catagénesis y el metamorfismo (inorgánico) de la roca y se caracteriza por la generación de gas (Méndez, 2007).

#### **2.2.8. Aguas de formación**

El agua presente en el yacimiento en el momento en que es penetrado por una barrena de perforación se denomina agua de formación. Normalmente, los operadores consideran al agua de formación como un subproducto indeseado de la producción de hidrocarburos. No obstante, las muestras y el análisis de esa misma agua proveen información vital para los planes de desarrollo de campos petroleros que incluyen la optimización del diseño de las terminaciones, la selección de materiales y la recuperación de hidrocarburos (Abdou *et al.* 2011), las aguas de formación son aguas con alto contenido de sólidos disueltos y debido a la diferencia de densidad que presenta con el gas y el aceite, ejercen una fuerza de empuje ascendente sobre ellos, que al momento de perforar un pozo petrolero, provoca que salgan primero a la superficie (Méndez, 2007).

El estudio de aguas de formación es una disciplina relativamente nueva dentro del área de la hidrogeoquímica, y representa una herramienta útil en el entendimiento de procesos químicos, físicos y geológicos que ocurrieron en una cuenca sedimentaria, a través del estudio de especies disueltas en las aguas de formación (Méndez, 2007), por tal motivo, el gas libre presente en la formación puede contener constituyentes corrosivos, tales como H<sub>2</sub>S y el CO<sub>2</sub>, estos mismos constituyentes pueden disolverse en el agua de formación. Además, poseen un pH comprendido entre 4 y 6 para el agua de formación (Abdou *et al.*, 2011).

#### **2.2.9. Explotación del petróleo en el Departamento de Puno**

La moderna historia del petróleo empieza en torno a 1860 (Casas, 2010), este recurso natural ha sido utilizado por el género humano desde tiempos inmemoriales (Méndez, 2007), desde los orígenes de la industria, muchos pozos han sido perforados (Noriega, 1962) mientras tanto se ponían en evidencia nuevos campos petrolíferos en otros puntos del Perú y principalmente en los bordes del lago Titicaca su ubicación incluye el área de

la RNT en la zona de Pirin del distrito de Pusi, provincia de Huancané, donde se tienen perforados 30 pozos (Noriega 1962, IRENA 1995, CIRNMA-CEDAFOR 2001).

La explotación petrolera se remota a los años 1875 al 1940 en la zona de Pusi (Pirin), a cargo de empresas chilenas, francesas, españolas, etc., obteniéndose 300, 000 barriles de crudo de 30 pozos perforados (INRENA, 1995) (Cuadro 1), con una altitud de 3850 msnm es el campo petrolero más alto del mundo entero (PERUPETRO, 2008), en el año 1875 se llevó a cabo la perforación del primer pozo en la zona de la Sierra (específicamente en el área de Pirín-Pusi perteneciente a la localidad de Corocoro en el departamento de Puno a orillas del Lago Titicaca, donde se concentraba la producción de esta zona). Dicha actividad comenzó a desarrollarse verdaderamente en el año 1906. Sin embargo, el nivel de producción procedente de esta región a lo largo de la historia de la industria nacional de crudo ha sido poco significativo, representando en el acumulado sólo el 0.01 % del total (Vásquez & Villar, 2005).

**CUADRO 1.** Línea de tiempo de actividades petroleras desarrolladas en la cuenca del Titicaca.

Año	Compañía	Actividad	Suspensión de Actividades
1860	Historia moderna del petróleo	Extracción de petróleo a nivel industrial. En Perú se refina Petróleo en Piura.	-
1875	Compañía Corocoro	Hizo una perforación petróleo a 122 m de profundidad	-
-	Sindicato Petrolero del Titicaca		1909
-	La Rio Ramis Petroleum Co.		1909
1905	Titicaca Oil Company	10 perforaciones, 8 productivas	1911
1917	La Sociedad de Petróleo España	5 pozos con 128 m adquirió concesiones de la Titicaca Oil Co.	1917
1922	Peruvian Corporation	3 perforaciones (Saman, Sorajacha) 70 m, 120 m, y 130 m de profundidad	1925
1939	Gobierno Peruano a través del Colegio de Ingenieros Mineros	realizaron 11 perforaciones del RH-1 al RH-10	1946

(Elaboración propia)

El Gobierno del Perú operaba el campo a través de la Escuela de Ingenieros Mineros CIM 1939-1946 sin éxito comercial. Se perforaron 10 pozos, tres en Pirin y siete a una distancia de entre 2 a 5 km SE de Pirin (PERUPETRO, 2008), se reportó que fluye agua salada a alta presión en 1946 del pozo RH-10 (PERUPETRO, 2008), sin embargo, se conocían desde tiempo inmemorial estas emanaciones aceitosas de Pirin, Pallpata, Pichigua y otros lugares (Noriega 1962, Schlumberger 2008), en base al reconocimiento de campo se ha localizado en la zona de Pirin (Prov. De Huancané) la fuente de contaminación y área de influencia de la contaminación de suelo, aire y agua, a causa de

las emanaciones de petróleo (INRENA, 1995). Lo preocupante a través de éste impacto ambiental constituye el tiempo de aporte a aguas de salmuera sin que se tomen las medidas correctivas para la solución de los mismos, ya que el vertido de fluidos viene desde el año de 1 945, siendo al año 2005, 61 años continuos de contaminación con desmedro a las áreas de totorales de la zona y que contribuyen a la alteración de aguas del lago en general, debido a la alta concentración de sales que compone las aguas de salmuera (Goyzueta, 2005).

#### **2.2.10. Causas de contaminación de suelos por actividad petrolera**

La Agencia de Cooperación Alemana GIZ (2012) expresa, que comúnmente la contaminación del suelo se puede generar en las industrias y establecimientos debido al manejo inadecuado y la mala disposición de residuos y materiales peligrosos generados por las actividades altamente riesgosas de una empresa, y derivado de la carente capacitación técnica y jurídica en materia de seguridad ambiental.

Los derramamientos de petróleo durante su extracción, refinación, almacenamiento, transporte, son frecuentes y en gran escala; aun hoy es un problema latente principalmente en los países productores de petróleo, afectan tanto a los ecosistemas terrestres como a los acuáticos, especialmente el mar y ríos navegables debido a que surgen daños en las infraestructuras y producen derrames (Malacalza & Coviella 2002, Toledo 2009), también la contaminación puede ocurrir de forma accidental. Otra situación frecuente que genera contaminación son los derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de sustancias y materiales peligrosos en las instalaciones de la empresa que de manera imprudente o por un accidente ocurren (GIZ, 2012), hay que tener en cuenta que los efectos causados por un suelo contaminado, son en general a largo plazo (Sabroso & Pastor, 2004).

#### **2.2.11. Consecuencias de la contaminación de suelos por la actividad petrolera**

El MINAM, (2014b) manifiesta, en Perú, no se conoce actualmente la magnitud precisa del problema de la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas en el ámbito nacional. Pese a ello, la identificación de pasivos ambientales mineros y los de hidrocarburos brinda una alerta sobre la situación y las eventuales acciones a emprender, de forma que se puedan prevenir los impactos negativos desde el punto de

vista ambiental y de los efectos en la salud de las personas. Por ese motivo. Diversos países han establecido políticas para prevenir el deterioro y la contaminación de los suelos, estableciendo leyes basadas en las evaluaciones y probabilidades de riesgos asociados a la contaminación de suelos, previniendo la descarga al medio ambiente de desechos peligrosos (Toledo, 2009), en este contexto, generalmente cuando sustancias contaminantes entran en contacto con los suelos, estos actúan como filtros protectores, puesto que los degradan, inmovilizan e impiden la manifestación de efectos adversos inmediatos, Esto se debe a las características del suelo y se lo denomina poder de amortiguación. Sin embargo, cuando la concentración de las sustancias contaminantes supera el límite del poder amortiguador, el suelo pierde la capacidad de comportarse como sumidero ocasionando problemas al medio (Leal, 2011).

La vida media del petróleo en un suelo depende de las características de este último: proporción de materia orgánica y arcilla, actividad microbiana, temperatura, oxígeno, fotooxidación, actividad enzimática y peso molecular del petróleo. Puede fluctuar desde unas cuantas semanas hasta más de diez años (Deléy, 2010), al presentarse un evento de contaminación de suelos con hidrocarburos, sus componentes pueden llegar a aguas subterráneas por infiltración y aguas superficiales por escorrentía, igualmente sus componentes volátiles pueden llegar al aire si es el caso de hidrocarburos livianos (Leal, 2011).

Cuando los suelos son arcillosos o rocosos la contaminación es menor, porque el hidrocarburo penetra a poca profundidad lo cual facilita las actividades de limpieza, en el caso que los suelos sean arenosos penetra con mayor rapidez, a mayor profundidad y en los suelos con gran contenido de materia orgánica se adhiere fuertemente a las partículas y a los restos vegetales tal es el caso de los manglares o pantanos (Toledo, 2009), existen diferentes procesos mecánicos, químicos y biológicos que afectan el movimiento de contaminantes en el suelo. Algunos contribuyen a que su movimiento sea lento y otros podrían ocasionar su aceleración (Leal, 2011), la penetración del petróleo en el subsuelo está determinada por su viscosidad y, generalmente, es retenido en el horizonte superficial del suelo (Zarate, 2010), así mismo, la calidad del suelo, es decir, su capacidad para desarrollar una serie de funciones, puede verse afectada negativamente por la contaminación (Barbosa, 2011), un suelo contaminado deja de estarlo cuando se han realizado de forma efectiva las correspondientes actuaciones de

recuperación y exista y sea firme la resolución administrativa que así lo declare (Sabroso & Pastor, 2004).

### 2.2.12. Consecuencias de la actividad petrolera en Ahuallane

En Perú, no se conoce actualmente la magnitud precisa del problema de la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas en el ámbito nacional (MINAM, 2014b), en general los ecosistemas de la Cuenca son frágiles y vulnerables a la fragmentación, debido a que la composición y estructura de la vegetación en gran parte de la Cuenca ha sufrido drásticas modificaciones, principalmente a través de centurias de uso pastoril por un lado y una carente planificación de los recursos por el otro, por ello es importante desarrollar programas de manejo dirigidos a su recuperación, con la finalidad de un uso sostenible a largo plazo (ALT, 2004), en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca las planicies inundables y deltas (ríos Ramis, Illpa y Coata) en ellas existe una gran concentración de aves en los periodos de invierno (CIRNMA-CEDAFOR, 2001),

El MINAM (2014b) a través El sub sector de la construcción y saneamiento registró para el año 2012 como residuos peligrosos a los lodos de pozos séptico, agua servidas y de lavado de equipos de 99 %, seguido de tierras contaminadas con hidrocarburos 0.15 %, así mismo, el Lago Titicaca y sus afluentes, contienen aguas de salinidad discreta (1,000mg/l), pH 8.6, Cloro 260 mg/l, sulfato 284 mg/l, calcio 66 mg/l, magnesio 34 mg/l, oxígeno disuelto 6.02 mg/l (CIRNMA-CEDAFOR, 2001), el olor del aire es desagradable (CIRNMA, 2007), la contaminación de las aguas ha impactado evidentemente las cadenas tróficas del Sistema Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa TDPS peruano-boliviano (Martínez *et al.* 2007).

Se advierte, en Puno existen 1,048 pasivos ambientales, de los casi 9 mil que se registran en el país según un informe de la Dirección de Minería, del Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Nuestra región, en segundo lugar, es superada por Ancash con 1,199 pasivos ambientales (Cazasola, 2014) los pasivos ambientales presentan una franca tendencia a incrementarse: el año 2010 fueron 5 557 PA y en el 2012 subió a 7 576, repartidos en 21 departamentos. Ancash, Cajamarca, Huancavelica, Puno, Lima, La libertad, Junín y Pasco son los departamentos que registran más del 80 % de los PA identificados para el 2012. OEFA ha realizado la verificación de 777 posibles pasivos

ambientales con base a información de PERUPETRO, OSINERGMIN y denuncias ambientales directamente recibidas (MINAM 2014b), es necesario tener en claro que debe realizarse la caracterización del sitio y del problema, pues la estrategia de remediación puede ser específica para el grupo del suelo y su tipo la afectación, logrando con ello remediar con una buena efectividad (Chan-Quijano *et al.* 2015) ya que, los contaminantes dañan individualmente, pero pueden causar aún más daño cuando se encuentran juntos o cuando afectan a organismos que están experimentando otras tensiones ambientales (Desonie, 2008), observándose actualmente la formación de costras de sales, sobre el cual no hay presencia de vegetación demostrando así la toxicidad de estas aguas, sin embargo, esta resulta de las condiciones propias de la cuenca (Martínez *et al.* 2007).

### **2.2.13. Legislación Ambiental relacionada a los hidrocarburos**

El mundo necesita una teoría ecológica general y predictiva para el uso apropiado de los recursos naturales, pero el desarrollo de una ecología predictiva de este tipo representa una empresa monumental (McPherson & DeStefano, 2003), diversos países han establecidos políticas para prevenir el deterioro y la contaminación de los suelos, estableciendo leyes basadas en las evaluaciones y probabilidades de riesgos asociados a la contaminación de suelos, previniendo la descarga al medio ambiente de desechos peligrosos (Toledo, 2009), entonces, en el marco institucional peruano asigna las principales responsabilidades reguladoras del control de la contaminación y manejo ambiental a las unidades creadas en cada autoridad del sector. El sector Energía y Minas encabeza estos esfuerzos desarrollando normas sectoriales basadas en el uso de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), Gestión Ambiental y Planes de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMAs), y Límites Máximos Permisibles (LMPs) y estableciendo una entidad independiente para reforzar las normas ambientales en los subsectores de electricidad y de hidrocarburos (Banco Mundial, 2007). Hacemos de referencia el siguiente marco legal.

- ✓ **D.S.N° 004-2011-EM, Ley N° 29134: Ley que regula los pasivos ambientales del Subsector Hidrocarburos (Congreso de la República del Perú, Diario de los debates, 2007)**

**Artículo 1.- Objeto de la Ley:** La presente Ley tiene por objeto regular la gestión de los pasivos ambientales en las actividades del subsector hidrocarburos con la finalidad de reducir o eliminar sus impactos negativos en la salud, en la población, en el ecosistema circundante y en la propiedad.

- ✓ **Ley N° 29906 Ley que declara de necesidad y utilidad pública la prevención y recuperación ambiental integral del Lago Titicaca y sus Afluentes. (El Peruano, 2012)**

**Artículo 2.- Acciones para la recuperación ambiental:** El Estado, en los tres niveles de gobierno, prioriza las acciones de prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca. Para tales efectos:

- a) El Gobierno Nacional establece los lineamientos y criterios para el desarrollo de las acciones orientadas a la recuperación ambiental del lago Titicaca.
- b) El Gobierno Regional de Puno y los gobiernos locales desarrollan los planes, actividades, programas y proyectos orientados a la recuperación ambiental del lago Titicaca, en el marco de sus competencias y priorizando en sus presupuestos anuales el financiamiento para su implementación.

- ✓ **Ley General del ambiente – N° 28611, 2005 (compilado por el MINAM revisado en 2016):**

**Artículo 91.- Del Recurso suelo:** El estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola. Según lo establezcan las normas correspondientes.

- ✓ **Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM – Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo (El Peruano, 2013)**

**Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación:** Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio



nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia (Cuadro 2).

**CUADRO 2.** Estándares de calidad ambiental para suelo (derecha), ElPeruano (2013); Legislacion Ambiental sobre hidrocarburos (izquierda), MINAM (2017).

SECTOR	NUMERO DE NORMA	NORMA LEGAL	FECHA DE PUBLICACIÓN	N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo	
						Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos		
GENERAL	D. Leg. 757	Ley Marco para el Credimiento de la Inversión Privada	13 / 11 / 1991							
	Ley N° 26221	Ley Organica que norma las Actividades de Hidrocarburos en el Territorio Nacional	20 / 08 / 1993							
HIDROCARBUROS	DECRETO SUPREMO 042-2005-EM	Texto Unico Ordenado de la Ley N° 26221 – Ley Organica de Hidrocarburos	14 / 10 / 2005							
	DECRETO SUPREMO 015-2006-EM	Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos	16 / 03 / 2006							
	DECRETO SUPREMO 052-93-EM	Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos	18 / 11 / 1993							
	DECRETO SUPREMO 026-94-EM	Reglamento de seguridad para el Transporte de Hidrocarburos	10 / 05 / 1994							
	DECRETO SUPREMO 081-2007-EM	Reglamento para el Transporte de Hidrocarburos por Ductos	21 / 11 / 2007							
	DECRETO SUPREMO 043-2007-EM	Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos.	22 / 08 / 2007							
	DECRETO SUPREMO 032-2004-EM	Reglamento de las actividades de exploración y explotación de actividades de hidrocarburos	21 / 08 / 2004							
	DECRETO SUPREMO 012-2008-EM	Reglamento de Participación Ciudadana para la realización de actividades de Hidrocarburos	20 / 02 / 2008							
	D. S. 037-2008-PCM	Establece los Limites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos	14 / 05 / 2008							
					<b>I Orgánicos</b>					
					1	Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
				2	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B	
				3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B	
				4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B	
				5	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B	
				6	Fración de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B	
				7	Fración de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1 200	1 200	5 000	EPA 8015-M	
				8	Fración de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3 000	3 000	6 000	EPA 8015-D	
				9	Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D	
				10	Bifenilos policlorados - PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D	
				11	Aldrin (mg/kg MS) <sub>(1)</sub>	2	4	10	EPA 8270-D	
				12	Endrín (mg/kg MS) <sub>(2)</sub>	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D	
				13	DDT (mg/kg MS) <sub>(3)</sub>	0,7	0,7	12	EPA 8270-D	
				14	Heptacloro (mg/kg MS) <sub>(4)</sub>	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D	
				<b>II Inorgánicos</b>						
				15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/ AWWA-WWF 4500 CN F	
				16	Arsénico total (mg/kg MS) <sub>(5)</sub>	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051	
				17	Bario total (mg/kg MS) <sub>(6)</sub>	750	500	2 000	EPA 3050-B EPA 3051	
				18	Cádmio total (mg/kg MS) <sub>(7)</sub>	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051	
				19	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734	
				20	Mercurio total (mg/kg MS) <sub>(8)</sub>	6,6	6,6	24	EPA 7471-B	
				21	Plomo total (mg/kg MS) <sub>(9)</sub>	70	140	1 200	EPA 3050-B EPA 3051	

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)  
 DIN: German Institute for Standardization  
 MS: materia seca a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40 °C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10 °C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2 mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada < 2mm.

### 2.2.14. Pasivo ambiental

Las actividades antropogénicas causan cambios en el medio ambiente que en ocasiones son de gran importancia y que a la larga van en detrimento de los propios seres humanos, ya que acaban con los bienes y servicios que se obtienen de la naturaleza, afectando así a futuras generaciones que ya no podrán disfrutar de estos (Evans *et al.* 2003), entonces, la gran mayoría de los predios donde se han realizado actividades en las que se manejaron y generaron materiales y residuos peligrosos, en el caso de presentar contaminación, son considerados pasivos ambientales, pues dicha



contaminación ha ocurrido a lo largo de mucho tiempo (GIZ, 2012), se convierten en riesgos para la vida y la salud de los habitantes cercanos a dichas zonas y a largo plazo en riesgos para toda la sociedad (Rodríguez & Burucua, 2015).

### **2.2.15. Biodiversidad**

Una definición amplia de la Diversidad Biológica, o Biodiversidad (BD), la entiende como la riqueza de la vida y de sus variantes sobre la tierra; como los millones de plantas, animales y microorganismos existentes; también los genes que contienen, y en un nivel más panorámico, el abanico de ensamblajes de especies, conformantes de los ecosistemas, muchas veces complejos, que constituyen los ambientes naturales (Reynel *et al.* 2013), los biólogos miden la biodiversidad en diferentes niveles de organización, como el monto de la variación genética en una especie (la diversidad genética), el rango de especies o los grupos de especies dentro de una localidad (diversidad de especie), y la diversidad de los ecosistemas dentro de una área (la diversidad de ecosistema) (Day, 2006), siendo, los muestreos o monitoreos de las poblaciones de los diferentes vertebrados, útiles para diseñar e implementar políticas de conservación y manejo de ecosistemas y hábitats. Además, aportan información técnica para la identificación de comunidades que necesitan protección e información científica para el desarrollo de estudios en biogeografía, sistemática, ecología y evolución (Amador, 2010), entonces, la conservación de la diversidad biológica surge en los últimos años como una necesidad imperiosa para asegurar la persistencia del ser humano no sólo para una neta supervivencia, sino para mejorar la calidad de vida de la población, la conservación de la biodiversidad significa también una serie de acciones, entre ellas, la conservación y mantenimiento de áreas de zonas conservadas, procesos ecológicos y especies en su estado natural (ALT, 2004).

### **2.2.16. Importancia de la fauna y flora en la caracterización de suelos**

Los humanos dominan gran parte del globo, actualmente, tanto sobre la tierra como el mar, en consecuencia, la medida de la biodiversidad a menudo concierne a la biodiversidad en paisajes manejados (Chown & Mc Geoch, 2011), para obtener, listados de especies en donde idealmente se disponga de información climática y edáfica de la zona inventariada. Si corresponden a zonas ecológicamente similares también son útiles (Garibello, 2003).

La relación natural o equilibrio de las plantas y animales siempre lleva a un beneficio para el hombre, y bajo el análisis de la existencia de aves acuáticas las que viven gracias a las condiciones de hábitat que ofrece los totorales y llachales, podemos resaltar la importancia que representa este ecosistema en la población local, regional, y mundial (Goyzueta, 2005), la condición más importante para que pueda establecerse este equilibrio dinámico es el tiempo. Solo cuando un ecosistema puede desarrollarse lenta y continuamente, cuando las condiciones del lugar no varían durante un largo periodo de tiempo, aparece un comunidad de seres vivos rica, equilibrada y estable (Wagner, 1999).

### **2.2.17. Métodos para evaluar la Biodiversidad**

Según Eekhout (2011) el muestreo por cuadrantes: en este método se definen subáreas (cuadrantes) dentro del área a estudiar que, o bien se muestrean durante un tiempo concreto, o bien se muestrean de forma intensiva, los resultados entonces se extrapolan al área completa. Estos cuadrantes se pueden seleccionar aleatoriamente.

Los conteos por puntos son el principal método de monitoreo de aves terrestres en un gran número de países debido a su eficacia en todo tipo de terreno y hábitats, y a la utilidad de los datos obtenidos (Ralph *et al.* 2006), se recomienda realizar estos conteos en varias horas del día especialmente al amanecer (05:00 – 07:00 a.m.) y atardecer (17:00 – 18:30 p .m.) (Amador, 2010).

Muestreo por transectos, en esta aproximación en lugar de cuadrantes, se seleccionan líneas (camino) a través del área de estudio, de forma que estas líneas se muestrean durante un tiempo determinado o de forma intensiva (Eekhout, 2011). La cantidad de transectos y de puntos de conteo quedan al criterio del investigador y también de las condiciones del área de estudio (Amador, 2010).

### 2.3. Marco Conceptual

**Aguas de formación:** agua naturalmente presente en las rocas inmediatamente antes de la perforación (GPA, 2000).

**Biota:** Conjunto de flora y fauna de una región. La flora y la fauna de un paisaje en su totalidad (Sarmiento, 2000).

**Biodiversidad:** La totalidad de genes, de especies, y de ecosistemas de cualquier área del planeta. Es el contenido biológico total de organismos que habitan un determinado paisaje, incluyendo su abundancia, su frecuencia, su rareza y su situación de conservación (sinónimo: diversidad biológica) (Sarmiento, 2000).

**Caracterización de sitios contaminados:** Determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación (MINAM, 2014a).

**Contaminante:** Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente (MINAM, 2014a).

**Ecosistema:** es un sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico donde se relacionan. Un ecosistema es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat.

**Fauna:** Contenido de todos los grupos de animales presentes en un sitio determinado. Cuando se refiere a un grupo específico de animales se utiliza el prefijo correspondiente (*e.g.*: avifauna, herpetofauna, entomofauna) (Sarmiento, 2000).

**Flora:** Contenido de organismos vegetales de un sitio determinado (Sarmiento, 2000).

**Impacto ambiental:** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre.

**Medio Ambiente:** El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

**Muestreo de Identificación:** Es aquel orientado a identificar si el suelo está contaminado o no. Entiéndase que toda referencia hecha al muestreo exploratorio en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, se entenderá como referida al muestreo de identificación (MINAM, 2014a).

**Muestreo de Detalle:** Es aquel orientado a identificar el área y el volumen del suelo impactado, y de ser el caso, de otros medios afectados por las sustancias señaladas en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2014a).

**Riesgo Ambiental:** Se define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente el ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogenico (MINAM, 2010).

**Salmuera petrolera:** Las aguas de formación son aguas con alto contenido de sólidos disueltos y debido a la diferencia de densidad que presenta con el gas y el aceite, ejercen una fuerza de empuje ascendente sobre ellos, que al momento de perforar un pozo petrolero, provoca que salgan primero a la superficie.

**Suelo:** El suelo surge de la interacción de cinco factores la roca madre, el clima, los factores bióticos, la topografía y el tiempo (Smith & Smith, 2007). Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (MINAM, 2014a).

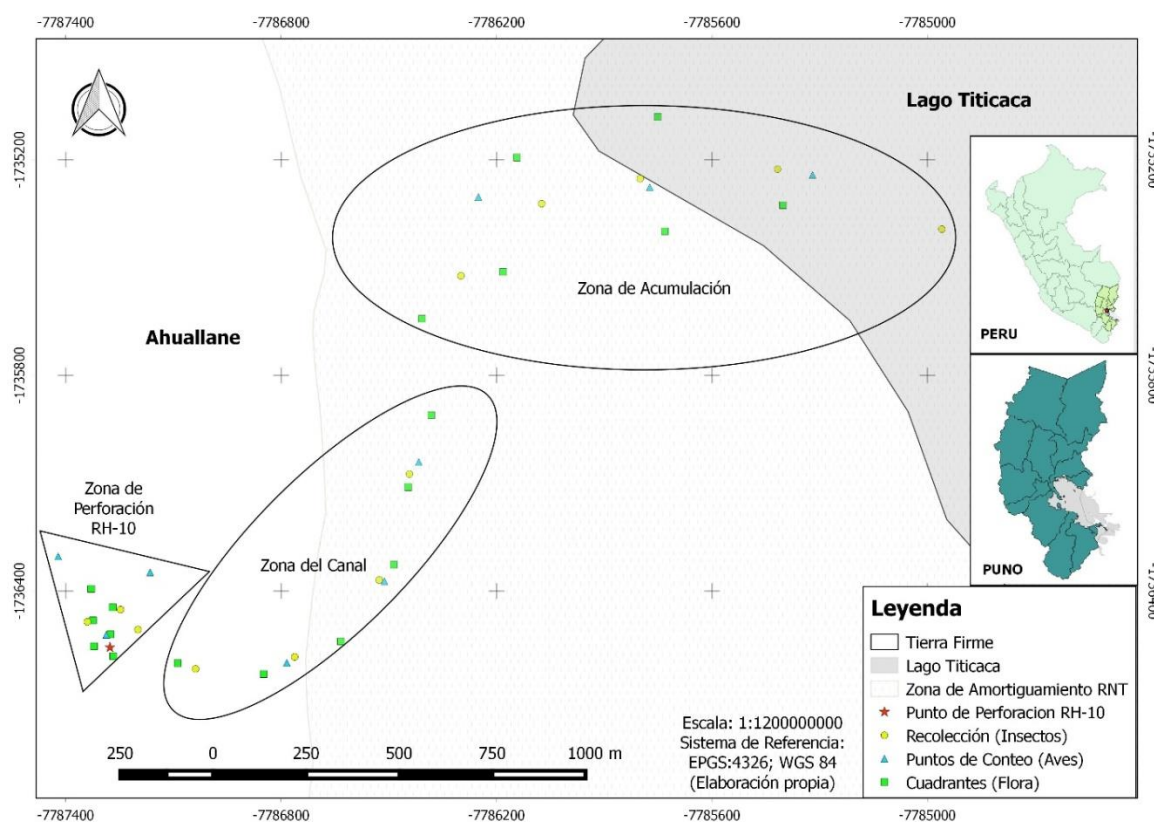
**Suelo contaminado:** Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2014a).

**Suelo contaminado con hidrocarburos:** es aquel en el cual se encuentran presentes hidrocarburos que por sus cantidades y características afecten la naturaleza del suelo (GIZ, 2012).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Área de Estudio

El área de estudio está ubicada a orillas del lago Titicaca; en torno a la zona influenciada por los afluentes tóxicos de la perforación RH-10 ubicada en Lat.: 15°12'05.4"S, Long.: 69°45'12.8"W y una altitud de 3890 msnm (Figura 1), este área comprende la zona de Ahuallane ubicada dentro del terreno de la Comunidad Campesina de Hatun Ayllu del Distrito de Pusi, Huancané, Puno; se prolonga hacia la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca (RNT), dentro del área Continental, conformada por planicies inundables y deltas (ríos Ramis, Ilpa y Coata) (CIRNMA-CEDAFOR, 2001), Leslie R. Holdridge la ubica en la Zona de Vida Bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS) (CIRNMA-CEDAFOR, 2001), además, en la zona circunlacustre se registran precipitaciones con una media de 650 mm, la estación meteorológica CO Huancané muestra una temperatura media de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $15^{\circ}\text{C}$  (SENAMHI, 2015), se estima una población de 3838 hab. con una densidad poblacional de 25,86 hab/km<sup>2</sup> (INEI, 2007).



**FIGURA 1.** Área de estudio, se observa el punto de perforación (RH-10), las tres zonas evaluadas y los puntos de muestreo de flora, aves e insectos, Ahuallane, Huancané 2015-2016.

### 3.2. Tipo de Estudio

**Estudio Descriptivo:** tiene el propósito de explicar un fenómeno especificando las propiedades importantes del mismo, a partir de mediciones precisas de variables o eventos, sin llegar a definir como se relacionan estos. Requiere de considerables conocimientos en el área que se investiga.

### 3.3. Población y Muestra

La población comprenden los organismos de flora vascular, aves e insectos y el área de Ahuallane en la zona de influencia de los suelos contaminados por la actividad petrolera. La muestra comprende los organismos a evaluarse de flora, aves e insectos en los cuadrantes, puntos de conteo, transectos, trampa caída y el área afectada por la actividad petrolera.

### 3.4. Materiales

Los materiales usados durante el estudio fueron: GPS (Garmin e-trex 20), laptop (HP-1000), cámara fotográfica (Sony- zoom 16x), estereoscopio, calibrador. Para la evaluación de flora se usó cuadrantes elaborados a base a cuerda de algodón y clavos, prensa botánica, cuaderno de campo y fichas de campo. Para la evaluación de aves se utilizó Binoculares (Bushnell 8\*42) fichas de campo. Para la evaluación de insectos se utilizó red entomológica, frascos, alfileres, vasos descartables, agua, detergente, cinta adhesiva, tecnopor, alcohol 70 %, etiquetas de recolección y fichas de campo. Se usó material de escritorio como lapiceros, cuadernos de campo para anotar las ocurrencias y observaciones.

### 3.5. Metodología

#### 3.5.1. Diseño de muestreo o experimento

##### a) **Determinar el área degradada por la influencia de la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane**

Durante 4 salidas (días) con un tiempo de 8 horas de trabajo se realizó la primera visita a campo a la zona de estudio (Cuadro 2), con el uso del GPS en mano, se transitó por el borde del área degrada (límite entre área degradada y área no degradada) donde cada 20

m aproximadamente se georeferenció un punto en el GPS, con estos puntos se mapeo la zona degradada, se comenzó con la georeferencia el 08 de noviembre del 2015. Para el desarrollo del mapa se usó software libre (Google Earth Pro, QGIS), y la base de cartas nacionales del Perú de la base de datos de internet del MINAM. Para la elaboración del mapa se delimitaron las siguientes zonas:

- ✓ Área Total degradada (ATD): es el área total degradada por la actividad petrolera.
- ✓ Zona degradada fuera de la Zona de Amortiguamiento (FZA): es el área degradada que se encuentra fuera de la Zona de Amortiguamiento de la RNT
- ✓ Zona degradada dentro de la Zona de Amortiguamiento (DZA): es el área degradada que se encuentra dentro de la Zona de Amortiguamiento de la RNT

**b) Determinar la biodiversidad presente de la zona de influencia por la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane**

A partir de las observaciones del lugar se establecieron las siguientes zonas de evaluación:

- ✓ Zona de Perforación (ZP): es el lugar donde se encuentra la perforación RH-10.
- ✓ Zona del Canal (ZC): Canal construido por los pobladores para encauzar las aguas salobres al Lago Titicaca.
- ✓ Zona de Acumulación (ZA): lugar de concentración de las aguas antes de su ingreso al Lago Titicaca. Esta área se divide en dos sub áreas. Zona degradada (zd) y Zona de ecotono (ze).

**Flora:** En cada zona de evaluación se estableció 6 cuadrantes de (1 m<sup>2</sup>), las muestras de flora fueron recogidas en prensa de 40 x 40 cm secadas con papel bond, los datos a tener en cuenta se llenaron en fichas (Anexo 1). Las muestras fueron transportadas hacia Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrarias, donde fueron identificadas en base a la guía de Flora y Fauna de la Laguna de Orurillo (Venero, *et al.*, 2012) y claves dicotómicas.

**Aves:** las evaluaciones se realizaron en 3 puntos de conteo separado entre 190 m aprox. por las mañanas entre las 06:30 a 09:00 horas con dos repeticiones por punto de

conteo, se usó binoculares (Bushnell 8\*42), en un radio de 50 m, el tiempo de permanencia por punto fue de 10 - 15 min, los datos a tener en cuenta se llenaron en fichas de muestreo (Anexo 2) , para identificación usamos las guías Birds of Perú (Schulemberg, et al., 2010), Flora y Fauna de la Laguna de Orurillo (Venero, et al., 2012), adicionalmente se tomó un registro fotográfico.

**Insectos:** Se evaluó mediante muestreo por transectos, sin repeticiones, se recorrió el transecto de 20 m por 2 m de ancho con una red entomológica, llevando en mano frascos, y tecnopor para los insectos hallados, cloroformo para turbar a los insectos, se llevó alfileres y tecnopor para montar los insectos, los datos se anotaron en fichas de muestreo (Anexo 3), los transectos tuvieron un numero de 3, 4 y 5 por cada zona de muestreo ZP, ZC y ZA respectivamente, además, se le añadió una trampa caída al inicio y final (vaso enterrado de 250 ml, con un contenido de 150 ml de agua con detergente), para la identificación a nivel de familia se usó el libro An Introduction to Entomology de Comstock (1962) y claves dicotómicas.

### 3.5.2. De laboratorio

#### **a) Determinar el área degradada por la influencia de la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane.**

Con la matriz de datos recolectados con el GPS, haciendo uso de software libre, se elaboró un mapa base para el área degradada (en base a 631 puntos georeferenciales), , estos puntos fueron ordenados en Microsoft Excel 2013, estos datos fueron trasportados al GoogleEarth Pro donde se elaboró los formatos KML que son plantillas para formar capas de mapas en formatos SHP (o shapefile) en el software QGIS 2.12, donde fue utilizado el sistema de referencia EPSG:4326, y WGS 84 a una escala de 1:12000 donde se obtuvo el área y perímetro de la zona degradada.

#### **b) Determinar la biodiversidad presente de la zona de influencia por la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane.**

Las datos de recolección y muestras de flora e insectos fueron llevadas al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA Puno, donde se identificaron los grupos taxonómicos a los cuales pertenecen, para determinar la flora a



nivel de especie se consultó la guía Flora y Fauna de la Laguna de Orurillo (Venero, *et al.*, 2012) y claves dicotómicas, algunas consultas a través de internet mediante envió de fotos de flora, para determinar los insectos a nivel de familia se utilizó el libro Entomology de Comstock (1962) y claves dicotómicas.

### 3.5.3. Método estadístico (Análisis de datos)

#### a) Determinar el área degradada por la influencia de la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane.

Para el proceso de datos recolectados del área degradada se realizó tablas estadísticas o de distribución, representando el área y perímetro de la zona en el programa Excel 2013, las variables que consideramos son las siguientes área, perímetro y elaboración de mapa, estos fueron calculados mediante el software Google Earth-Pro, QGIS 2.12 y los porcentajes fueron elaborados en Excel 2013.

#### b) Determinar la biodiversidad presente de la zona de influencia por la actividad petrolera, en la zona de Ahuallane.

El software usado en el proceso de datos y elaboración de figuras y tablas fueron las siguientes, Excel 2013 y PALEontological STatistical PAST versión 3.12. (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

- ✓ **Riqueza de Margalef:** El resultado del cálculo supone una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 1988 en MINAM, 2014c)

$$DM_g = S - 1 / \ln N$$

Dónde:

S= número de especies

N = número total de individuos

Con este índice evaluaremos la riqueza de las zonas evaluadas, con la intención de comparar la zona más afectada por las aguas de formación (salobres).

- ✓ **Índice de abundancia de Simpson (1949):** Simpson sugirió que la diversidad estuviera inversamente relacionada con la probabilidad de que las

dos personas individuales escogidas al azar pertenecen a la misma especie.

Por una población infinita por la que esto es dado (Krebs, 1999):

$$D = \sum p_i^2$$

Dónde:

D = Índice de Simpson

$p^2$  = Proporción de especies  $i$  en la comunidad.

Con este índice nos evocamos a visualizar la abundancia por parte de algunas especies registradas, de esta manera determinar qué zona evaluada es la que posee especies tolerantes al área degradada.

- ✓ **Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ )** (Balderrama & Ramírez, 2001):

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

Dónde:

$P_i$  = Proporción del número de individuos de la especie " $i$ " con respecto al total.

Con este índice evaluaremos la diversidad de especies presentes en las zonas evaluadas, para poder realizar comparaciones entre las tres zonas de evaluación.

- ✓ **Índice de equidad de Pielou  $J'$** : mide la proporción observada de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988). Se calcula de la siguiente manera:

$$J' = H' / H' \text{ máx}$$

Dónde:

$H'$  = índice de diversidad de Shannon-Wiener

$H' \text{ máx} = \ln (s)$

$S$  = número de especies

Este índice nos permite confirmar la equidad en la abundancia de especies registradas en las zonas de evaluación.

✓ **Índice de similitud de Jaccard (coeficiente de similitud  $I_j$ )**

El rango de esta índice va desde cero (0) cuando no hay especies compartidas, hasta uno (1) cuando los dos sitios comparten las mismas especies. Este índice mide diferencias en la presencia o ausencia de especies (Villareal *et al.*, 2004)

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Dónde:

a = número de especies en el sitio A

b = número de especies en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas

Relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas (Villareal *et al.*, 2004). Nos permitirá realizar comparaciones entre las tres zonas de evaluación ZP, ZC, y ZA.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Área degradada por la influencia de la actividad petrolera en Ahuallane

Se determinó un Área Total Degrada (ATD) de 96.54 ha con un perímetro de 14.53 km, la Zona de Perforación (ZP) la más pequeña con una área de 0.25 ha y perímetro de 0.28 km representa un 0.26 %, la Zona del Canal (ZC) posee un área de 1.49 ha y un perímetro de 3.25 km representa un 1.54 %, la Zona de Acumulación (ZA) posee un área de 94.8 ha y un perímetro de 11 km representa el 98.20 % esta área debido a características particulares (ausencia y presencia de flora) fue dividida en dos, la primera denominada Zona Degradada (zd) con 29.7 ha y 1.87 km de perímetro representa un 31.33 % y la segunda denominada Zona de Ecotono (ze) con 65.1 ha y 9.13 km de perímetro representa un 68.67 %, sin embargo, esta zona respecto al ATD representa un porcentaje de 67.43 % (Cuadro 4).

**CUADRO 3.** En detalle área degradada (área, perímetro y porcentaje), ocasionados por la actividad petrolera en Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Zonas	Área (ha)	Perímetro (km)	Porcentaje %
<b>ZP</b>	0.25	0.28	0.26
<b>ZC</b>	1.49	3.25	1.54
<b>ZA (*)</b>	94.8	11	98.20
<b>ATD (**)</b>	<b>96.54</b>	<b>14.53</b>	<b>100.00</b>
<b>* zd</b>	<b>29.7</b>	1.87	31.33
<b>* ze</b>	65.1	9.13	68.67 / 67.43 <sup>a</sup>
<b>Total (*)</b>	<b>94.8</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>
<b>**DZA</b>	96.04	13.27	99.48
<b>**FZA</b>	0.5	1.26	0.52
<b>TOTAL (**)</b>	<b>96.54</b>	<b>1.26</b>	<b>100.00</b>

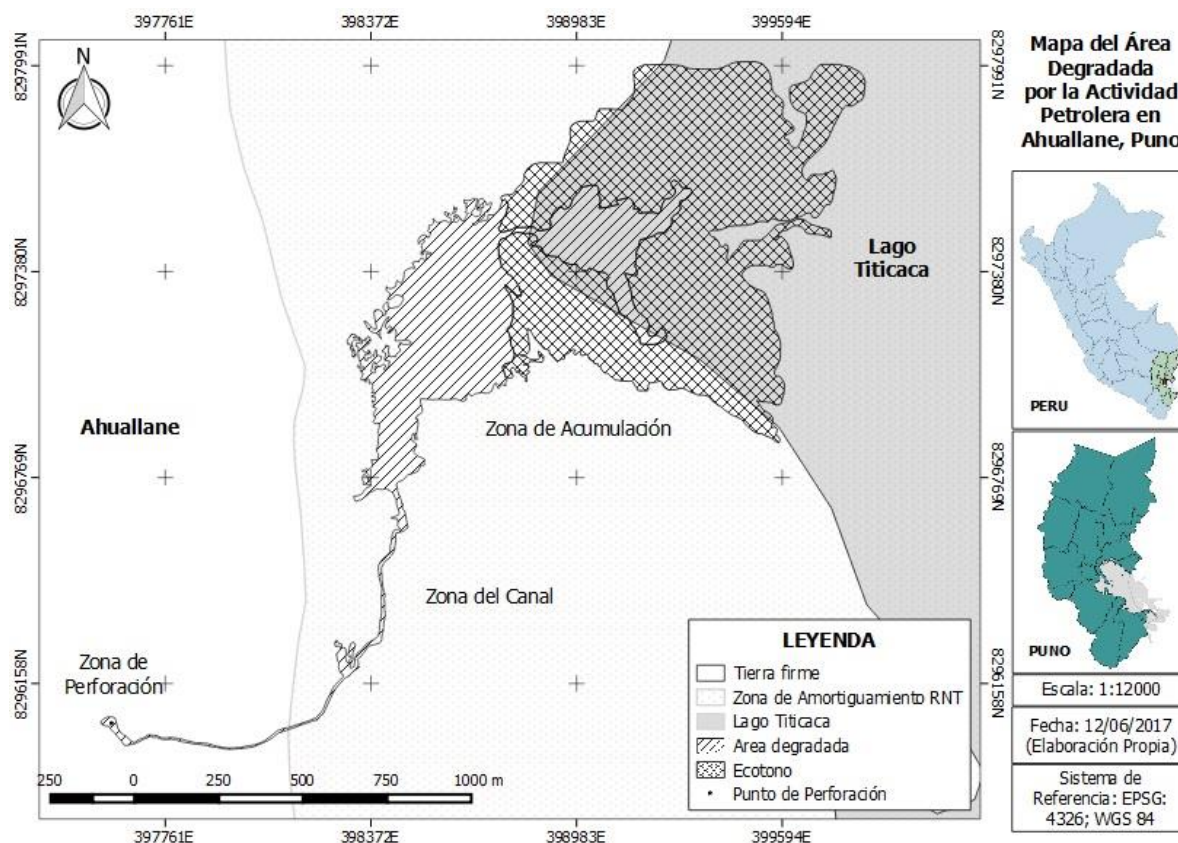
(Elaboración propia)

<sup>a</sup> Porcentaje con respecto al Área Total Degradada ATD.

En el Ecuador los derrames de petróleo ocurridos en el Campamento Sacha 161, contaminaron una superficie de 1,25 ha lo que equivale a 12500 m<sup>2</sup> y un volumen de aproximadamente 24000 m<sup>3</sup> de suelo hoy inservible (Deléy, 2010), paralelamente, el CIRNMA (2007) estima para la zona de Ahuallane un área degradada de 55 ha y un radio de 2.0 km del punto de afloramiento, desconociéndose el método de estimación, nuestra trabajo muestra casi el doble con un área de 96.54 ha. pero no se conoce el volumen. En evaluaciones realizadas por monitores nativos entre los años 2006-2010 en

Iquitos han reportado 92 derrames de petróleo por roturas de tuberías, los derrames mayores fueron 69 y 23 los menores (FECONACO-SHINAI, 2011) para esta evaluación no se estimó el área degradada o la duración del vertido de petróleo, en Ahuallane el vertido de agua salitrosa duro 64 años, en ambos lugares no se analizaron muestras del suelo, en adición, considerándose la estratigrafía del suelo como un factor de retención del contaminante, indicándonos que a menor porosidad del suelo el contaminante quedara retenido y adherido a las partículas del suelo limitando su trayecto (García & Fernández-Villagómez, 2014), concluyéndose, la topografía influye en la cantidad de agua que penetra en el suelo y en la velocidad de erosión de los suelos (Smith & Smith, 2007), por ende, la formación del suelo y el equilibrio entre formación y erosión, representa un servicio clave y de apoyo para los sistemas de pastizales (Downs & Sala, 2009), entonces, características del suelo como la permeabilidad, absorción y retención del agua se reducen después de que la vegetación ha sido removida o degradada (Solórzano & Páez-Acosta, 2009), en Maicao, Colombia se observó una reducción en la retención de humedad del suelo en la primera capa equivalente a 23,25 % y en la segunda una reducción del 2,8 %, circunstancia que incrementa la vulnerabilidad de estos suelos al tensor ambiental sequía (Castellanos *et al.* 2015), entonces, en la zona de Ahuallane la ausencia de vegetación en el área degradada estaría promoviendo la desertificación, ya que no previene la lixiviación, y no promueve el proceso de fertilidad y regeneración del suelo, siendo estos servicios ecosistémicos.

Se elaboró el mapa en base al área degradada ocasionado por aguas de formación y/o salobres, provenientes de la perforación RH-10 esta fue realizada entre 1939-1946 por el Colegio de Ingenieros de Minas del Perú CIM, y vertió agua toxica durante 64 años en el año 2008 fue sellado junto a otros pozos de emanaciones similares (Figura 2). Parte de la Zona del Canal (ZC) y la totalidad de la Zona de Acumulación (ZA) se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca. El nivel del lago es menor al observado en el mapa (ver figura 3).



**FIGURA 2.** Mapa del área degradada ocasionada por el efecto de efluentes salobres de la perforación RH-10, Ahuallane, Huancané 2015-2016.

En la Cuenca del lago Titicaca, los usos agropecuarios en el suelo cubren un total del 48% incluidas superficies acuáticas, de éstos, el 4,4 % están dedicados a cultivos y el 21,7 % a pastos, 7 % a usos agropecuarios y 14,9 % a usos agro-silvo-pastoriles, los cultivos en su mayoría se encuentran en el área de la cuenca del Titicaca y los pastos en su mayoría en la del Ramis (Martínez *et al.* 2007), un manejo de paisajes agrícolas es necesario hacerla a una escala regional (Begon *et al.* 2006), los pozos en Ahuallane eliminaban partículas livianas y gases que tienden a elevarse, en parte adhiriéndose al suelo y vegetación cambiando sus propiedades siendo un riesgo para los consumidores primarios como el ganado (INRENA, 1995), paralelamente, las zonas de muestreo ZP y ZC se observa un área urbanizada, con cultivos alrededor de las viviendas (quinua, habas, trigo, papa, cebada) y pastoreo principalmente ganado ovino, vacuno y cría de animales domésticos (gallinas, pavos, cerdos, perros y gatos), se advierte un proceso de biomagnificación de contaminantes, por la cantidad de 74 años de interacción con el área degradada.



En las evaluaciones en la zona Degradada de Ahuallane se observó actividad agrícola en gran magnitud, en esta zona los suelos son aprovechados al máximo, tanto así, que existe un contraste entre los cultivos ubicados al margen entre el área degradada y área no degradada (Figura 3), el 99.48 % (96.04 ha) del área degradada se ubica dentro de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca, la cota del nivel del lago durante la evaluación es baja, a continuación de la Zona de Ecotono (ze) se encuentra el Sitio Prioritario para la Conservación N° 15, con ecosistemas conformado por macrofitas (totora) 5,662.89 ha (72 %) y cuerpos de agua 1,486.69 ha (19 %) (GORE-Puno, 2016), el pasivo ambiental de Ahuallane representa una amenaza para este Sitio Prioritario de Conservación, aunque no está establecida legalmente y no presenta categoría de área natural protegida.



**FIGURA 3.** Vista satelital; línea roja: derecha, Zona de amortiguamiento de la RNT. Ahuallane, Huancané (Fuente: Google Earth Pro, 2016).

Los campos petroleros más antiguos de Loreto, Perú son los Lotes 1AB, 8, y 8X con más de 40 años de vida, de estos el Lote 8X ubicada dentro del área designada Zona de Recuperación y Zona de Protección al sur del río Marañón en el ANP Pacaya Samiria, ha sido explotada por su petróleo por más de cuatro décadas, resultando en un legado de contaminación por desechos y derrames (E-Tech, 2015), el área degradada en esta ANP no ha sido estimada, contrariamente, la explotación de petróleo en Ahuallane fue fugas en comparación a este campo petrolífero, pero el afluente de agua salobre de la perforación RH-10 vertió sus aguas durante 64 años, hoy en día representa un pasivo

ambiental de 74 años desde su abandono hasta el 2017, además, un 99.48 % es decir 96.04 ha, del total del área degradada está ubicada dentro de la zona de amortiguamiento de la RNT, ocurrió, en la ANP Pacaya Samiria como resultado de la actividad petrolera la contaminación de las aguas y fuentes de alimentación de los pueblos Achuar, Urarina y Kichwa, ejerciendo fuerte influencia sobre su modo de vida (FECONACO-SHINAI, 2011), contrariamente, los pobladores de la Comunidad de Ahuallane desarrollan actividades agropecuarias con normalidad, tan solo evitan la zona degradada, el pastoreo de ganado y cultivos son frecuentes de ver alrededor y al margen de esta área degradada.

#### **4.2. Biodiversidad de la zona de influencia por la actividad petrolera en Ahuallane**

##### **a) Flora**

Se registró una cantidad de 33 especies de flora agrupados en 7 órdenes, 11 familias y 29 géneros (Cuadro 5). En la zona ZP se registró 22 especies representa el 55 %, zona ZC se registró 15 especies representa el 37.5 % y zona ZA se registró 3 especies representan el 7.5 %, algunas especies fueron registradas en dos zonas de evaluación.



**CUADRO 4.** Riqueza de flora, en la Zona de Perforación (ZP), Zona del Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), porcentaje y cantidad de especies, Ahuallane Huancané 2015-2016.

Orden	Familia	Especie	ZP	ZC	ZA
Asterales	Asteraceae	<i>Tagetes mandonii</i>	x		
		<i>Tagetes multiflora</i>	x		
		<i>Bidens andicola</i>	x		
		<i>Ageratina cuzcoensis</i>	x		
		<i>Viguiera procumbens</i>	x	x	
		<i>Chersedoma jodopappa</i>	x		
		<i>Baccharis tricuneata</i>	x		
		<i>Grindelia boliviana</i>		x	
		<i>Achyrocline alata</i>	x		
		<i>Tessaria angustifolia</i>	x		
Caryophyllales	Cactaceae	<i>Cumulopuntia boliviana</i>	x		
		<i>Echinopsis maximiliana</i>	x	x	
	Polygonaceae	<i>Rumex cuneifolius</i>		x	
	Amaranthaceae	<i>Sarcocornia sp.</i>			x
Fabales	Fabaceae	<i>Astragalus arequipensis</i>	x		
		<i>Caesalpinia spinosa</i>	x		
		<i>Trifolium repens</i>	x		
		<i>Trifolium amabile</i>		x	
Lamiales	Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>		x	
	Verbenaceae	<i>Verbena hayekii</i>	x		
Myrtales	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	x		
Poales	Poaceae	<i>Festuca dolichophylla</i>	x	x	
		<i>Bothriochloa saccharoides</i>		x	
		<i>Aristida peruviana</i>		x	x
		<i>Calamagrostis rigescens</i>		x	
		<i>Calamagrostis ovata</i>		x	
		<i>Chondrosium simplex</i>	x	x	
		<i>Poa sp.</i>			x
		<i>Hordeum muticum</i>		x	
		<i>Poa annua</i>	x		
<i>Stipa ichu</i>	x	x			
Rosales	Rosaceae	<i>Margyricarpus pinnatus</i>	x		
	Rhamnaceae	<i>Colletia spinosissima</i>	x		
<b>Total de Especies</b>		<b>33</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>3</b>

En la Bahía de Juli, Puno, en una evaluación altitudinal (3830-3900) en tres zonas, se registró un total de 185 taxa agrupados en 3 divisiones, 58 familias y 137 géneros (Arteta *et al.* 2006), hipotéticamente realizando una comparación considerando aquel relevamiento como un área prístina, el registró de 33 especies de flora agrupados en 7 órdenes, 11 familias, 29 géneros y altitud de 3890-3810, se concluye un registro bajo.

En la Zona ZP la especie con mayor abundancia relativa son *S. ichu* (23.63 %) seguido de *T. multiflora* (14.29 %) y *C. boliviana* (12.64%); las especies con menor abundancia relativa *C. simplex* (0.55 %), *P. annua* (0.55 %) y *E. maximiliana* (0.55 %). En la Zona ZC las especies con mayor abundancia relativa son *A. peruviana* (17.21 %) seguido de *R. cuneifolius* (17.21 %) y *E. maximiliana* (16.39 %); las especies con menor abundancia relativa *G. boliviana* (0.82 %) y *C. spinosissima* (0.55 %). En la Zona ZA las especies con mayor abundancia relativa son *Sarcocornia* sp. (58.54%), seguido de *Poa* sp. (37.80 %); las especies con menor abundancia relativa *A. peruviana* (3.66 %) (Figura 4).

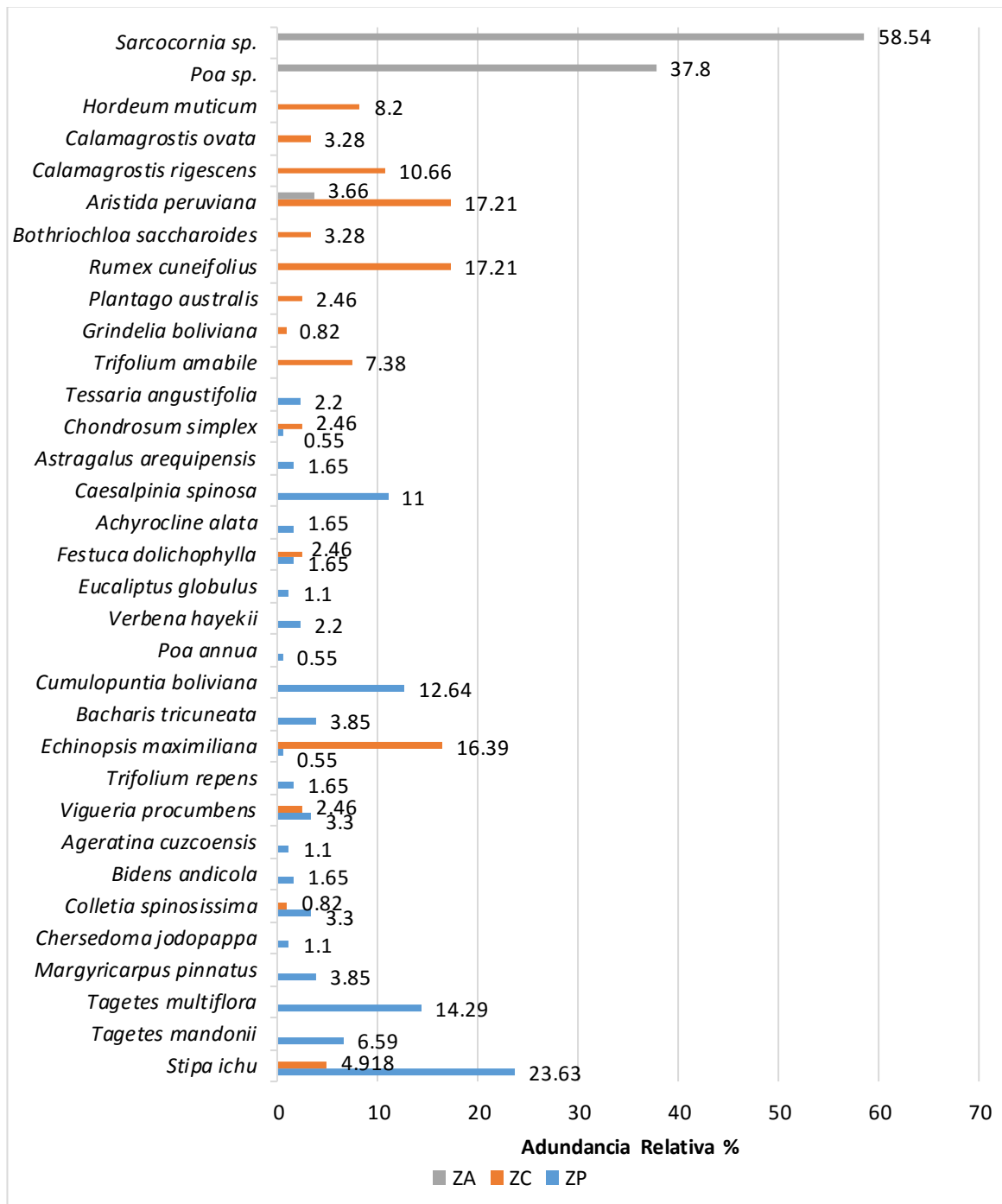


FIGURA 4. Flora, abundancia relativa, en la Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.

La flora representativa en el Sitio Prioritario para la Conservación N° 15, son en general macrofitas: Llachales (*Myriophyllum elatinoides*, *Chara sp.*, *Elodea potamogeton*, *Potamogeton strictus*, *Zannichellia palustris*) (GORE-Puno, 2016), estos registros comprenden hábitat acuáticos, la zona continental ribereña de la Zona (ZA) en su segunda división la Zona de Ecotono (ze) que antecede a este sitio prioritario, se

registró la mayor abundancia relativa para *Sarcocornia* sp., quien interactúa con este sitio contaminado formando cojines, en otro contexto, en Loreto, Perú en la ANP Pacaya Samiria, se observa a dos especies exóticas introducidas por Pluspetrol las cuales han llegado a interactuar con la zona contaminada por hidrocarburos, estas son una planta denominada “mordisco de rana” y una hierba alta conocida como “totora” ambas resaltan en la zona (E-Tech, 2014).

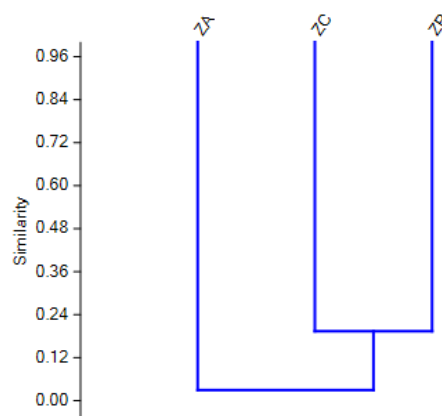
En la zona ZP la dominancia de especies es baja ( $D = 0.298$ ), siendo la diversidad baja ( $H' = 1.0153$ ) algunas especies son más dominantes que otras ( $J' = 0.7493$ ), esta zona posee mayor número de riqueza de especies ( $DM_g = 1.2713$ ) en comparación a las demás zonas, no se registro especies en un cuadrante (PPC6). En la zona ZC la dominancia de especies es baja ( $D = 0.2199$ ), la diversidad es baja ( $H' = 0.9005$ ), la mayoría de las especies no son abundantes ( $J' = 0.572$ ), posee baja riqueza específica ( $DM_g = 0.572$ ) en comparación a las demás zonas. No se obtuvo registro de flora en dos cuadrantes (CDC5 y CDC6). En la zona ZA se determinó una dominancia baja de las especies ( $D = 0.1678$ ), siendo la diversidad baja ( $H' = 0.2503$ ), no existe dominancia representativa de especies ( $J' = 0.2892$ ), es la zona con mayor extensión de degradación, sin embargo, el índice de Margalef muestra una riqueza baja  $DM_g = 0.1335$ . Cabe añadir que tan solo existen 3 especies dentro de esta área de estudio, no se registró especies en 4 cuadrantes (ADC1, ADC2, ADC3 y ADC4) lo que responde a los índices bajos. La prueba de Kruskal-Wallis nos indica que no existe diferencias significativas entre las medianas de las muestras ( $p = 0.1452$ ) (Cuadro 6).

**CUADRO 5.** Flora, en Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulacion (ZA), índices de dominancia de Simpson (D), de diversidad de Shannon-Weaner (H'), riqueza de Margalef ( $DM_g$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ), Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Zona	D	H'	$DM_g$	$J'$
ZP	0.298	$1.0153 \pm 0.277$	1.2713	0.7493
ZC	0.2199	$0.9005 \pm 0.333$	0.9029	0.572
ZA	0.1678	$0.2503 \pm 0.159$	0.1335	0.2892

A través de un análisis de clúster mediante el índice de similitud de Jaccard ( $I_j$ ) (Figura 5), indica que entre las zonas ZC y ZP son similares en un 19.35 % ( $I_j = 0.1935$ ), así mismo, entre las zonas ZA y ZP no son similares 0.0 % ( $I_j = 0.00$ ), finalmente, entre las zonas ZC y ZA son similares en un 5.88 % ( $I_j = 0.588$ ). Las tres zonas son distintas

presentan un bajo número de especies compartidas, pero un número alto de especies exclusivas, respecto al total del registro de especies.



**FIGURA 5.** Flora, análisis Clúster mediante índice de similitud de Jaccard (Ij) entre: Zona de Perforación (ZP), Zona del Canal (ZC), y Zona de Acumulación (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Las plantas debido a sus adaptaciones pueden ser insensibles frente a factores ecológicos del suelo, algunas crecen en cualquier lugar, otras prefieren condiciones muy determinadas, estas últimas son denominadas plantas indicadoras o guía, con su presencia nos indican la naturaleza del suelo (Wagner, 1999), la presencia de *Sarcocornia* sp. especie halófila indica la degradación por aguas salobres, se registró en la Zona de Ecotono (ze) y es exclusiva para la ZA representando un ejemplo de resiliencia del área degradada, se asevera, que en la naturaleza la biorremediación ocurre pero de manera paulatina (Toledo, 2009), siendo el tiempo un factor importante para la restauración ecológica.

La salinización es un proceso natural en zonas en las que la evaporación superficial y la absorción de agua por plantas exceden el nivel de precipitaciones, originándose un movimiento ascendente de sales disueltas de las aguas subterráneas a la superficie del suelo, frecuentemente se degradan las condiciones del suelo para el desarrollo de plantas (Smith & Smith, 2007), en las aguas del lago Titicaca la salinidad es por lo general inferior a 1 g/l (Martínez *et al.* 2007), se observaron cristales de sal en la superficie de algunas zonas en el área degradada, dentro del área degradada ubicada en la zona continental de la RNT en la zona de Ahuallane, proceso acelerado ocasionado por el brote de las aguas salobres, debido a ello CIRNMA-CEDAFOR (2001) asevera que en Ahuallane la salinización del suelo repercute en la disminución de áreas para actividad agrícola, deterioro de recursos hidrobiológicos, flora y fauna silvestre.

Los indicadores biológicos determinan la salud del suelo, son un gran potencial para evaluar la eficacia de un proceso fitoextractor de metales (Garbisu, *et al.*, 2007), una especie de rápido desarrollo fenológico *Pauwlonia fortunei*, recupero y rehabilito elementos traza de suelos contaminados, principalmente por la interacción y el efecto de exudados producidos por la planta que aumento positivamente la actividad microbiana en la zona radical, esto mejoro las propiedades químicas y bioquímicas de los suelos (Xiong, 2015), considerando a *Sarcocornia* sp. un indicador biológico de suelo salino, representa un potencial para estudios de remediación en Ahuallane; se asevera, que los suelos contaminados con hidrocarburos contienen más microorganismos que los suelos no contaminados, pero su diversidad microbiana es más reducida (Trujillo & Ramírez, 2012), por otro lado, en la XII Región de Chile en suelos contaminados por petróleo, obtuvieron 3 cepas fúngicas, de las cuales 2 son de *Mortirella* y 1 de *Penicillum*, estas se adaptaron al agar inorgánico mineral con adicionado de petróleo crudo (Valenzuela *et al.* 2006), avances en Chile, pretenden utilizar la diversidad microbiana como parámetro de “salud” del suelo, usando técnicas de T-RFLP en bacterias en suelos contaminados por Hidrocarburos (Contreras, 2005), por lo tanto, elegir bien los indicadores que cumplan estas condiciones aseguran el éxito de las prácticas del manejo agrícola del suelos y recuperación de suelos degradados y/o contaminados (Vargas-Machuca, 2010), en síntesis, una realidad es que la biología en temas de remediación prefiera trabajar con microorganismos, sin embargo, estas podrían ser adecuadas al contexto de Ahuallane, su estudio es costoso, pero es más rentable por obtenerse cuantiosos beneficios al estar sujeto a derechos de patentes.

#### **b) Aves**

Se registró una cantidad de 29 especies de aves agrupadas en 10 órdenes, 19 familias y 25 géneros (Cuadro 7), en la Zona de Perforación (ZP) se registró 15 especies representa el 44.1 %, Zona de Canal (ZC) se registró 4 especies representa el 11.8 % y en la Zona Acumulación (ZA) se registró 15 especies representa el 4.1 %. Algunas especies fueron registradas en dos zonas.

**CUADRO 6.** Riqueza de aves, en: Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), porcentaje y cantidad de especies del área degradada. Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Orden	Familia	Especie	ZP	ZC	ZA	
Anseriformes	Anatidae	<i>Anas flavirostris</i>			x	
		<i>Anas Puna</i>			x	
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>			x	
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Charadrius alticola</i>			x	
		<i>Vanellus resplendens</i>			x	
	Recurvirostridae	<i>Himantopus mexicanus</i>			x	
	Laridae	<i>Chroicocephalus serranus</i>		x	x	
	Scolopacidae	<i>Phalaropus tricolor</i>				x
		<i>Tringa Flavipes</i>				x
Columbiformes	Columbidae	<i>Columbia livia</i>	x	x		
		<i>Metriopelia ceciliae</i>	x			
		<i>Zenaida auriculata</i>	x			
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco femoralis</i>	x			
		<i>Falco sparverius</i>			x	
		<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	x			
Passeriformes	Emberizidae	<i>Phrygilus fruticeti</i>	x			
		<i>Phrygilus plebejus</i>	x			
		<i>Phrygilus punensis</i>	x			
		<i>Zonotrichia capensis</i>	x	x		
	Fringillidae	<i>Carduelis atrata</i>	x			
	Hirundinidae	<i>Haplochelidon andecola</i>	x		x	
	Motacillidae	<i>Anthus furcatus</i>	x			
	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	x			
	Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	x			
Tyrannidae	<i>Lessonia oreas</i>			x		
Pelecaniformes	Threskiornithidae	<i>Plegadis ridgwayi</i>			x	
Phoenicopteriformes	Phoenicopteridae	<i>Phoenicopus chilensis</i>			x	
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes rupicola</i>	x	x		
Strigiformes	Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>			x	
<b>Total de Especies</b>		<b>29</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	

Se estima aproximadamente en el ámbito del lago Titicaca 60 especies de aves (INRENA, 1996), en Ahuallane se registró una cantidad de 29 especies de aves de aves agrupadas en 10 órdenes, 19 familias y 25 géneros, entre aves acuáticas y terrestres, en contraste, para el lago, sus orillas e islas la avifauna es diversa, se aprecia más de 13 grupos 25 familias y 50 especies distintas (Dejoux 1991, PNUMA 1996), esta diferencia es atribuida a la magnitud de la degradación ocasionada por la actividad petrolera en Ahuallane, sin embargo, las especies no son exclusivas ni están aisladas en este ecosistema, la avifauna que se encuentra tienen generalmente una extensa distribución,

tanto en el Altiplano como en las cordilleras (Dejoux, 1991), como el registro de *C. aura*, e *H. mexicanus*, la primera considerada vagabunda en los andes, y la segunda migratoria.

En la Zona ZP las especies con mayor abundancia relativa son *Z. capensis* (23.81 %) seguido de *P. plebejus* (20.24 %) y *Z. auriculata* (14.29 %), siendo las especies con menor abundancia relativa *H. andecola* (0.55 %), *C. livia* (0.55 %) y *T. aedon* (0.55 %) entre otras (Figura 6). En la Zona ZC las especies con mayor abundancia relativa son *Z. capensis* (65.22 %) seguido de *C. rupicola* (21.74 %), siendo las especies con menor abundancia relativa *C. serranus* (4.35 %) y *C. livia* (8.70 %). En la Zona ZA la especies con mayor abundancia relativa son *P. chilensis* (33.71 %) seguido de *C. serranus* (14.04 %) y *L. oreas* (9.55 %) y siendo las especies con menor abundancia relativa *H. mexicanus* (1.12 %), *A. flavirostris* (1.12 %) y *H. andecola* (1.12 %).



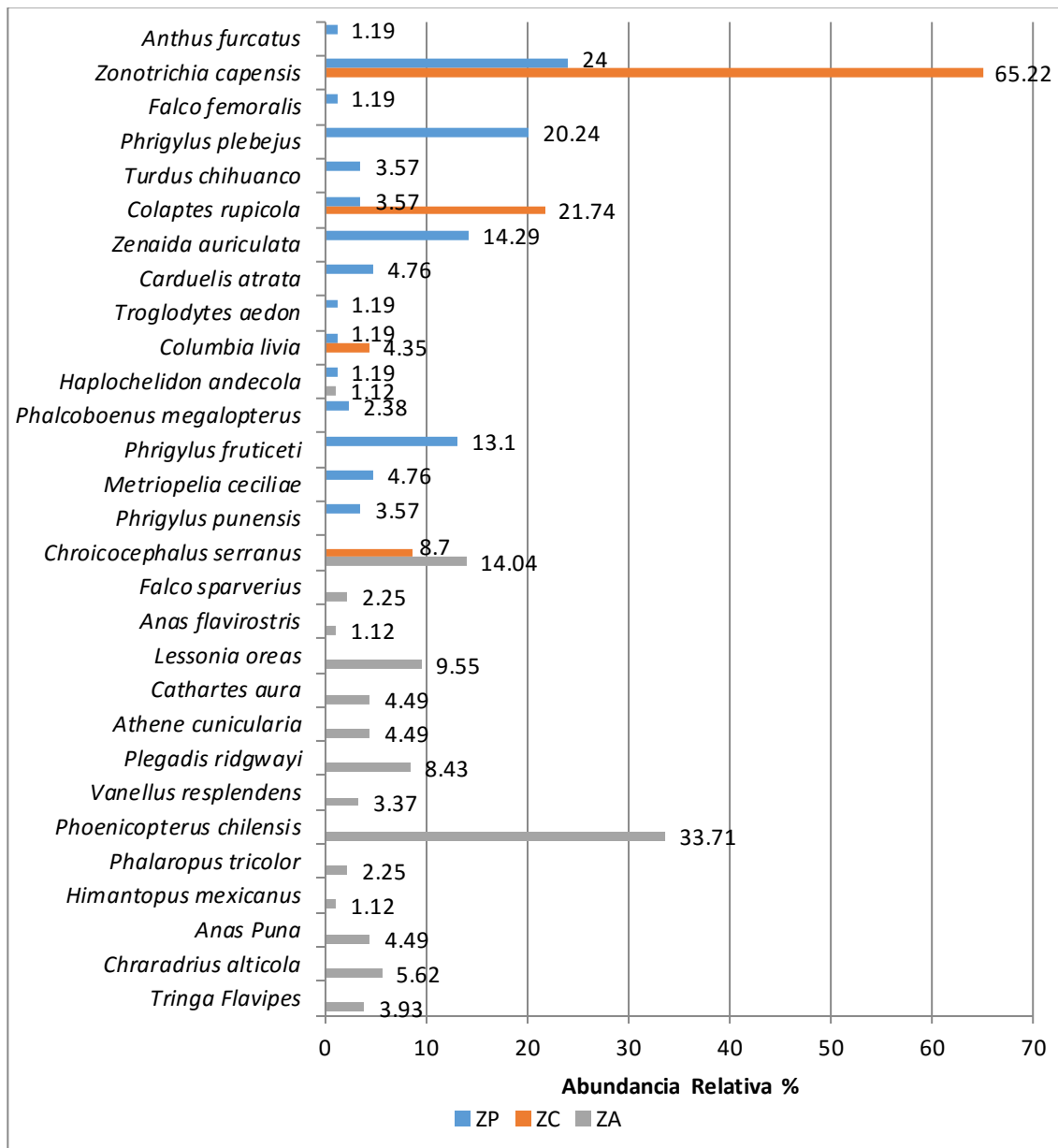


FIGURA 6. Aves, abundancia relativa, en la Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulacion (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Las especies de avifauna registradas en el Sitio Prioritario para la Conservación N° 15 en totorales fueron: *Anas georgica*, *Anas flavirostris*, *Plegadis ridgwayi*, *Chroicocephalus serranus*, *Gallinula chloropus*, *Tringa flavipes*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Rollandia microptera* y *Rollandia rolland* (GORE-Puno, 2016), añadimos a las siguientes especies de hábitat de humedales, *P. chilensis*, *H. mexicanus*. *Charadrius alticola*, *Phalaropus tricolor*, y *Tringa flavipes*. En la ANP de Pacaya Samiria en Iquitos, la biodiversidad interactúa en la zona contaminada por hidrocarburos, bandadas de pericos se alimentan en las cochas contaminadas, se observó un falcónido capturando

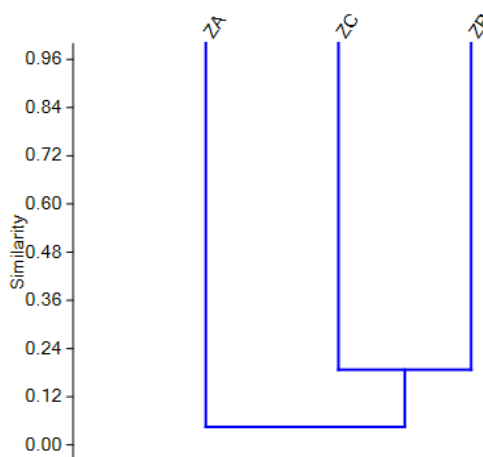
pericos, garzas blancas manchadas de petróleo, tarántulas y serpientes viviendo en la hierba alta donde los hidrocarburos se pueden ver y oler (E-Tech, 2014), se registró a *C. aura* consumiendo un cadáver de perro doméstico, también la persecución de una pareja de *F. sparverius* sobre una ave paseriforme, finalmente una *A. cunicularia* ataco a la pareja de cernícalos arrebatando la presa conseguida por la pareja, la diversidad biológica se adapta al área degradada en Ahuallane.

La zona ZP se determinó la dominancia de algunas especies ( $D = 0.2094$ ), siendo la diversidad baja ( $H' = 1.7803$ ), algunas de las especies son abundantes ( $J' = 0.8630$ ) en comparación a la zona ZA posee igual número de especies pero menor cantidad de individuos ( $DM_g = 2.1807$ ) (Cuadro 8). En la zona ZC se determinó una dominancia de especies media ( $D = 0.4800$ ), siendo la diversidad muy baja ( $H' = 0.8439$ ), algunas de las especies son muy abundantes ( $J' = 0.8810$ ), esta zona no posee mucha riqueza de especies ( $DM_g = 1.0453$ ) en comparación con la zona ZP. En la zona ZA se determinó una dominancia media de algunas especies ( $D = 0.4897$ ), siendo diversidad baja ( $H' = 1.14$ ), alguna de las especies son medianamente dominantes ( $J' = 0.5650$ ), esta zona a pesar de ser el área degradada más extensa posee baja riqueza de especies ( $DM_g = 1.1497$ ) en comparación con la zona ZP. La prueba de Kruskal-Wallis indica que no existe diferencias significativas entre las medianas de las muestras ( $p = 0.2019$ ).

**CUADRO 7.** Aves, Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), índices de dominancia de Simpson (D), de diversidad de Shannon-Weaner (H'), riqueza de Margalef ( $DM_g$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ), Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Zona	D	H'	$DM_g$	$J'$
ZP	0.2094	$1.7803 \pm 0.112$	2.1807	0.8630
ZC	0.4800	$0.8439 \pm 0.136$	1.0453	0.8810
ZA	0.4897	$1.14 \pm 0.589$	1.1497	0.5650

A través de un análisis clúster mediante el índice de similitud de Jaccard ( $I_j$ ), indica que (Figura 7), entre las zonas ZP y ZC son similares en un 18.75% ( $I_j = 0.1875$ ), así mismo, entre las zonas ZP y ZA son similares en un 3.44 % ( $I_j = 0.0344$ ), finalmente, entre las zonas ZC y ZA son similares en 5.55% ( $I_j = 0.0555$ ).



**FIGURA 7.** Aves, análisis Clúster mediante índice de similitud de Jaccard (Ij), entre: Zona de Perforación (ZP), Zona del Canal (ZC), y Zona de Acumulación (ZA), Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Las tres zonas son distintas presentan un bajo número de especies compartidas, pero un número alto de especies exclusivas, respecto al total de especies registradas.

**c) Insectos**

Se registró una cantidad de 24 especies de insectos (Cuadro 9), agrupadas en 7 ordenes, 18 familias; en la zona ZP se registró 15 especies representando el 53.85 %, así mismo, en la zona ZC se registró 8 especies representando el 38.46 %, finalmente, en la zona ZA se registró 3 especies representando el 7.69 %.

**CUADRO 8.** Riqueza de Insectos: Zona de Perforación (ZP), Zona de Canal (ZC) y Zona de Acumulación (ZA), porcentaje y cantidad de especies . Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Orden	Familia	ZP	ZC	AZ
Coleoptera	Coccinellidae	x		
	Curculionidae	x		
	Scarabaeidae	x	x	
	Tenebrionidae	x	x	
Diptera	Muscidae	x	x	
	Syrphidae	x	x	
	Tipulidae		x	
Hymenoptera	Apidae	x		
	Braconidae	x		
	Crysididae	x		
	Chalcididae	x		
	Formicidae	x		
Lepidoptera	Noctuidae	x		
	Nymphalidae		x	
	Pieridae	x	x	x
Hemiptera	Myridae			x
Odonata	Libellulidae	x	x	x
Orthoptera	Locustidae	x		
<b>Total</b>		<b>15</b>	<b>8</b>	<b>3</b>
<b>Porcentaje %</b>		<b>53.85</b>	<b>38.46</b>	<b>7.69</b>

La contaminación modifica el entorno físico de un ecosistema, de un fluido de agua y cambia el componente biótico aguas abajo del origen de contaminación (Solomon *et al.* 2011), los recursos presentes en la zona de Ahuallane presentan un alto grado de degradación de la biota, recursos de suelo, agua, aire, tierras agrícolas y aguas del lago (INRENA, 1995), desde un punto de vista económico, ambiental, y social prevenir los pasivos ambientales, es mucho más económico, rentable y seguro (Arellano, 2008), para ello es necesario un soporte básico de información científica, útil y aplicable al contexto, dirigida al colectivo y sobre todo a los tomadores de decisiones, el futuro de la diversidad biológica reposa en sus manos.

La población residente aledaña a un área de contaminación debería organizarse formando comités de monitoreo, participando y exigiendo acciones de remediación y Post monitoreo para la culminación de la remediación (GRUFIDES, 2015), siendo la interacción con la comunidad fundamental para el desarrollo de un estudio, los primeros en enterarse sobre los trabajos a realizarse en un área son los miembros de la comunidad afectada, es oportuno buscar las mejores estrategias de comunicación de riesgo, donde se incluya el uso de un lenguaje claro, franco y la honestidad (Cuzcano, 2001), en Ahuallane entablar una comunicación previa y durante el estudio fue gratificante, la información de entrevistas informales y datos de percepción complementan el estudio, siendo el idioma importante, se realizaron entrevistas en Quechua, sea cual fuera el área de estudio, la comunicación armoniosa y con la verdad es importante.

## V. CONCLUSIONES

Se concluye, que el área total degradada abarca una extensión de 96.54 ha, un perímetro de 14.53 km. El 99.48 % ubicada dentro de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca con 96.04 ha. La Zona Ecotono representa un 67.43 % abarca 65.1ha y 9.12 km de perímetro y es la zona de mayor posibilidad para realizar ensayos de remediación por la presencia de flora vascular halófila.

El registro biológico es bajo considerando que la temporada de muestreo comprende la época de lluvias, reproducción y floración de la biota (39 especies de flora, 29 especies de aves y 24 especies de insectos) atribuible sin dudas a la influencia del área degradada ocasionada por el brote de agua de salmuera del pozo RH-10. Las tres zonas de evaluación (ZP, ZC y ZA) presentan un bajo número de especies compartidas, pero un número alto de especies exclusivas. En la Zona de Ecotono prospera *Sarcocornia* sp. especie de flora halófila nos indica la salinidad del área degradada. La ausencia de biota en el área degradada no brinda servicios ecosistémicos promoviendo la desertificación del suelo, las actividades agrícolas y ganaderas se desarrollan con normalidad siendo 74 años de interacción entre la población y el área degradada, se advierten un proceso de biomagnificación de contaminantes.

Finalmente concluimos, que el área degradada es un pasivo ambiental, una de las más longevas dentro del territorio nacional, con 74 años al 2017, ejerciendo un efecto constante, si no se toman las medidas correctivas necesarias, estando la Reserva Nacional del Titicaca y el sitio Prioritario para la Conservación N° 15 amenazados, aunque el segundo no esté constituido legalmente, sin embargo, se desconoce el efecto sobre la población humana, ya que actividades de ganadería y agricultura, se desarrollan con normalidad en la zona, simplemente se evita el área degradada cultivándose al margen con normalidad. Su fiscalización e intervención por las instituciones acorde a tales fines es necesaria y variada, siendo la temática de fiscalización ambiental e investigación las más interesantes a desarrollarse en la zona de Ahuallane.

## VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere fiscalizar el área para realizar estudios de análisis de riesgo para la población y la biota presente en la Zona de Ahuallane.

Obtener resultados de estudios de análisis de suelos, para determinar la composición de los suelos y obtener datos correlacionales entre factores edáficos y biológicos.

Desarrollar un estudio comparativo con áreas prístinas alrededor del Lago Titicaca, de esta manera obtener un contraste de resultados.

Diseñar metodologías, estudios u ensayos de recuperación de suelos con metodologías de bioremediación (plantas, bacterias, etc.).

Elaborar una revisión taxonómica que permita identificar la especie halófila *Sarcocornia* sp.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abdou, M., Carnegie, A., Mathews, G., McCarthy, K., O'Keefe, M., Raghuraman, B., ... Gang Xian, C. (2011). Valor del agua de formación. *Oilfield Review*, 23(1), 26–39.
- Acevedo, D. (2012). Uso de métodos directo e indirecto en la caracterización de un sitio contaminado por hidrocarburos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Division en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico. 114 p.
- Amador, L. 2010. Técnicas para el Monitoreo de Vertebrados. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 11 p.
- Arellano, T. (2008). Manejo integral de fosas de hidrocarburos generadas por la actividad petrolera venezolana. Tesis de Magister Scientiarum. Maestría de Gerencia Ambiental, Decanato de Investigacion y Postgrado, Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada Nacional. Caracas, Venezuela. 91 p.
- Arteta, M., Corrales, M., Dávalos, C., Delgado, A., Sinca, F., Hernani, L., & Bojórquez, J. (2006). Plantas vasculares de la Bahía de Juli, Lago Titicaca, Puno-Peru. *Ecología Aplicada*, 5(1–2), 29–36.
- BANCO MUNDIAL (BM). 2007. Análisis ambiental del Perú: Retos para un desarrollo sostenible. Lima, Perú. 36 p.
- Balderrama T., J. A., & Ramírez P., M. C. (2001). Diversidad y endemismo de aves en dos fragmentos de bosque de *Polylepis besseri* en el Parque Nacional de Tunari (Cochabamba, Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología Y Conservación Ambiental*, 9, 45–60.
- Barbosa, F. A. (2011). Remediación de suelos, Clave: IAF-0429. México, D.F. 195 p.

- Begon, M., Tonwsend, C. & Harper, J. (2006). *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4th ed. Black Well Publishing. United Kingdom. 738 p.
- Carabias, J; Meave, J. A.; Valverde, T; Cano-Santana, Z.; (2009), *Ecología y Medio Ambiente en el Siglo XXI*. PEARSON EDUCACIÓN, México. 264 p.
- Casas, P. (2010). *El petróleo, Historia y Refino* [en línea]. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza. Revisado en: 25 de junio, 2017. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/5134/files/TAZ-PFC-2010-205.pdf>
- Casazola E. (2014). *Puno es la segunda Región del país con más pasivos ambientales*, publicado en: 7 de mayo, 7:13 am. Revisado el: 30 de julio, 2015. Disponible en: [www.pachamamaradio.com](http://www.pachamamaradio.com)
- Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, J. M. (2015). *Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia*. *Rev. Colomb. Quim*, 44(3), 11–17.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE (CIRNMA). 2007. *El sistema de invención e innovación tecnológica, necesidades y demandas tecnológicas: Un estudio Regional*. Reporte Técnico. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregion Andina (CONDESAN), Grupo de Apoyo al Sector Rural de Universidad Católica del Perú GRUPO – PUCP, Grupo para la Autosustentacion de las Organizaciones de la Sociedad Civil (NESsT). Puno, Perú. 134 p.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE – CENTRO DE DESARROLLO AGRARIO Y FORESTAL (CIRNMA-CEDAFOR). 2001. *Plan Maestro Reserva Nacional del Titicaca*. Reporte Técnico, Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Puno, Perú. 77 p.
- Chan-Quijano, J. G., Ochoa-Gaona, S., Martínez-Zurimendi, P., López-Jiménez, L. N., & Lázaro-Vázquez, A. (2015). *Directrices para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. *Teoria Y Praxis*, 17, 123–144.



- Chown, S.L. & Mc Geoch, M. A. 2011. Chapter 18: Measuring biodiversity in managed landscapes, In: Biological Diversity, Ed.: Magurran, A. E. & Mc Gill, B. J., Oxford University Press. New York. pp 252-264.
- Comstock, J. H. (1962) An introduction to entomology. Nueva York, 1029 p.
- Congreso de la Republica de Perú (2007). Decreto Supremo N° 004-2011-EM Ley que regula los pasivos ambientales del Subsector hidrocarburos. Diario de los debates – Primera Legislatura Ordinaria del 2007. 16 de noviembre. 5 p.
- Contreras, P. A. (2005). Suelos contaminados con hidrocarburos: RNA 16s como indicador de impacto. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. Universidad de Chile. 75 p.
- Cuzcano, R. (2001). Gestión Ambiental de Sitios Contaminados (GASC): evaluación inicial, evaluación de la exposición y remediación utilizando tecnología innovadoras. Ilo, Moquegua, Peru. 80 p.
- Day, T. (2006). Biomes of the Earth: Lakes and Rivers. New York - USA: CHELSEA HOUSE Publisher. 258 p.
- Dejoux, C.(1991). La avifauna. En: C. Dejoux & A. Iltis (Eds.). El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual. ORSTOM. La Paz, Bolivia. pp. 465-476.
- Deléy, Á. R. (2010). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo del campamento Sacha 161 utilizando el hongo *Pleurotus ostreatus*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 111 p.
- Desonie, D. (2008). Biosphere: Ecosystems and biodiversity loss. CHELSEA HOUSE Publisher. New York – USA. 206 p.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). 2012. La remediación de sitios contaminados en pequeñas y medianas

- empresas. Guía. GIZ. Red Latinoamericana de Prevención y Gestión de Sitios Contaminados. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 20 p.
- Dias, R. L. (2011). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en clima frío y templado. Ensayo y evaluación de distintas estrategias. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias Exactas, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de La Plata. 228 p
- Downs, M., & Sala, O. E. (2009). Grasslands. In S. A. Levin, S. R. Carpenter, H. C. J. Godfray, A. P. Kinzig, M. Loreau, J. B. Losos, ... D. S. Wilcove (Eds.), *The Princeton Guide to Ecology*. USA: Princeton University Press. pp. 614–618. DOI: [http://doi.org/10.1007/82\\_2011\\_192](http://doi.org/10.1007/82_2011_192)
- Eekhaut, X. 2011. Muestreando la Biodiversidad. In Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT) (Eds.). *Biodiversidad el Mosaico de la Vida*. MadridColor I.D., S.L. España. pp. 69 – 81. Disponible en: <https://www.fecyt.es/en/system/files/publications/.../unidaddidacticabiodiversidad.pdf>
- El Peruano. (2012). Ley N° 29906: Ley que declara de necesidad y utilidad pública la prevención y recuperación ambiental integral del Lago Titicaca y sus afluentes. El Peruano. 20 de julio, 2012. 470888-470889p.
- El Peruano. (2013). Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo. El Peruano, 25 de marzo, 2013. 491497-491500 p.
- Evans, J., Bremauntz, A. F., García, A. G., Lema, I. I., Cordero, M. A. M., Romero, P. R., & Zuk, M. (2003). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Instituto Nacional de Ecología. Frega, S.A. México, D.F. 122 p.
- E-Tech SOLUTION CORPORATION (E-Tech). 2014. Contaminación Petrolera en La Reserva Natural Pacaya Samiria [en línea]. Informe Técnico. Loreto, Peru. 41 p. Revisado: en 17 de febrero, 2017. Disponible en: [www.etechinternational.org](http://www.etechinternational.org)

E-Tech SOLUTION CORPORATION (E-Tech). 2015. Las Mejores Prácticas para la Caracterización, Remediación, y Monitoreo Ambiental de la Contaminación Petrolera en Las Áreas Naturales Protegidas de Loreto [en línea]. Revisado en: 21 de febrero, 2017. Disponible en: [www.etechinternational.org](http://www.etechinternational.org)

FEDERACIÓN DE COMUNIDADES NATIVAS DEL RIO CORRIENTES – ONG SHINAI (FECONACO-SHINAI). 2011. Impactos petroleros en territorios indígenas: experiencias del programa de vigilancia territorial del Rio Corrientes. 1ra ed. FECONACO. Iquitos, Perú. 86 p.

FONDO NACIONAL PARA LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS POR EL ESTADO (PROFONANPE). 2016. Plan de manejo de totora y llacho de la Reserva Nacional del Titicaca. 86 p. Disponible en: [http://www.profonanpe.org.pe/tfcaperu/40-PLAN\\_DE\\_MANEJO\\_DE\\_TOTORA.pdf](http://www.profonanpe.org.pe/tfcaperu/40-PLAN_DE_MANEJO_DE_TOTORA.pdf)

Garbisu, C., Becerril, J. M., Epelde, L., & Alkorta, I. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*, 16(2), 44–49. DOI: <https://doi.org/10.7818/RE.2014.16-2.00>

García, A., & Fernández-Villagómez, G. (2014). Determinación del perfil de benceno y de hidrocarburos de fracción ligera en el suelo del pasivo ambiental de la Ex-Refinería “18 de marzo”, Ciudad de Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 30(2), 201–211.

Garibello, J. P. C. 2003. Restauración ecológica, a partir del manejo de la vegetación: Guía metodológica. Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, Banco Mundial, CONIF. Bogotá – Colombia. 98 p.

Garrido, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. *Hojas Divulgadoras*, 5(93), 1–40.

- GOBIERNO REGIONAL PUNO (GORE-Puno). 2016. Sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica en la Región Puno. Negrapata S.A.C. Puno, Peru. 88 p.
- Goyzueta, G. (2005). Majestuoso Lago Titicaca Fuente de Vida. San Gabán S.A. FIMART S.A.C. Puno – Perú. 36 p.
- Goklany, I. M. (2009). Technological substitution and augmentation of Ecosystem services. En S. A. Levin, S. R. Carpenter, H. C. J. Godfray, A. P. Kinzig, M. Loreau, J. B. Losos, ... D. S. Wilcove (Eds.), *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press. United States of America. pp. 659–669. DOI: [http://doi.org/10.1007/82\\_2011\\_192](http://doi.org/10.1007/82_2011_192)
- G.P.A. ESTUDIOS Y SERVICIOS PETROLEROS S.R.L. (GPA). 2000. El origen de las aguas de formación. Buenos Aires: Estudios y Servicios Petroleros S.R.L. 8 p.
- GRUPO DE FORMACION E INTERVENCIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE (GRUFIDES). 2015. Pasivos ambientales mineros en la Región Cajamarca. Cajamarca, Perú. 54 p.
- Hammer, Ř., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. Disponible en: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA). 1995. Evaluación de la contaminación del lago Titicaca. Reporte Técnico. MINAG. Lima, Perú. 27 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA). 1996. Lago Titicaca (Sector Peruano), propuesta para su designación como Sitio Ramsar. Reporte Técnico. Perú. 23 p.
- Iñesta, J., & Garcia, P. A. (2002). El petróleo: El recorrido de la energía. (C. Lopez, Ed.) Madridinnova. Madrid: Tallers Gráficos Soler, S.A. 18 p. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/aula/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>

- Krebs, C.J. (1999), *Ecological Methodology*. 2 ed. Addison – Welsey Educational Publishers, Inc., Menlo Park, CA. 620 p.
- Kumar, A., & Kumar, A. (2009). *Environment and Ecology*. NewAge International Publishers. New Delhi. 180 p.
- Lagrega, M., Buckingham, P. & Evans, J. (1996), *Gestión de Residuos Tóxicos: Tratamiento, eliminación, y recuperación de suelos*. Volumen 1, MacGraw Hill. 208 p.
- Leal, M. C. (2011). *Planteamiento de alternativas físico-químicas para remediación de agua subterránea y suelos contaminados con hidrocarburos apoyados en la aplicación de software Visual Modflow para un área de interés de Ecopetrol S.A.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga. 159 p.
- López, C. E. (2014). *Alternativas de disposición para la fitoremediación de suelos contaminados por actividades mineras*. Tesis de Especialidad. Facultad de Ingenierías, Corporación Universitaria Lasallista. Caldas, Antioquia. 46 p.
- Los Andes. (2013). *Concesión de pozos petroleros en suspenso* [en línea]. Puno, Perú. Revisado en: 11 marzo, 2017. Disponible en: <http://www.losandes.com.pe/Nacional/20130311/69569.html>
- Machaca, N. C. (2007). *Diagnóstico y gestión ambiental del pozo Aguallani en el lote S2 Puno - Perú*. Tesis en Magister Scientiae. Maestría en Tecnologías de Protección Ambiental. Escuela de Postgrado. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Magurran, A. E. 1988. *Diversidad ecológica y su medición*. Ediciones VEDRA. Barcelona. 200 p.
- Malacalza, L., & Coviella, C. (2002). *La Contaminación Ambiental y el Cambio Global*. En L. Malacalza (Ed.), *Ecología General*. 2da ed. pp. España. 103 – 130. Disponible en: [www.e-libro.net](http://www.e-libro.net)

- Malacalza, L., Feijóo, C., Giorgi, A., Coviella, C., & Momo, F. (2002). Los Recursos Naturales. En L. Malacalza (Ed.), *Ecología General*. 2da ed. España. pp. 131–160  
Disponibile en: [www.e-libro.net](http://www.e-libro.net)
- Martinez, I., Zuleta, R., Pacheco, A., & Sanjines, J. (2007). Cooperación sobre el Lago Titicaca. Documento Técnico. Division de Ciencias de Agua de UNESCO. 105 p.
- McPherson, G. R., & DeStefano, S. (2003). *Applied Ecology and Natural Resource Management*. Cambridge University Press. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.2277/0521009758>
- Méndez, B. A. (2007). Geoquímica e isotopía de aguas de formación (salmueras petroleras) de campos mesozoicos de la Cuenca del Sureste de México: Implicación en su origen, evolución e interacción agua-roca en yamientos petroleros. Tesis Doctoral. Centro de Geociencias. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico. 223 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2010. Guía de evaluación de riesgos ambientales. Ed.: Mendoza, V., Serv.Gen. Q&F Hnos. S.A.C. Lima, Perú. 119 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2013. Línea base ambiental de la cuenca del Lago Titicaca, Viceministerio de Gestión Ambiental, Lima, Perú. 79 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2014a. Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos. Dirección General de Calidad Ambiental. Vice Ministerio de Gestión Ambiental. Lima, Perú. 72 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2014b. Informe Nacional del Estado del Ambiente 2012 – 2013. Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental. Tarea Asociación Gráfica Educativa. Lima, Perú. 324 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2014c. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú.

- Universidad Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural. Departamento de Limnología e Ictiología. Zona Comunicaciones S.A.C. Lima, Perú. 75 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) 2016. Ley General del ambiente – N° 28611, 2005 [en línea]. Revisado el: 14 Nov. 2016. Disponible en: [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe)
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). 2000. Guía para el muestreo y análisis de suelo: XV Restauración de suelos en instalaciones de refinación y producción petrolera. Dirección General de Asuntos Ambientales. Republica del Perú. Lima, Perú. 21 p.
- Noriega, F. (1962). Historia de la industria del petróleo en el Perú desde sus comienzos hasta la fecha. 9p. Revisado en: 5 marzo, 2017. Disponible en: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFH/Historia del Petroleo Peru.pdf>
- Olguín, E. J., Hernández, E. M., & Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de Manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitoremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 23(3), 139–154.
- ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL (OEFA). 2013. Metodología para la estimación del nivel de riesgo de pasivos ambientales en el Subsector Hidrocarburos. Lima - Perú. 15 p.
- Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Arteaga, R., & Zermeño-González, A. (2009). Fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados. Coahuila - México. 112 p.
- Ortinez, O., Ize, I., & Gavilán, A. (2003). La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México. *Gaceta Ecológica*, (69), 83–92.
- Patrick, B., MacClellan, R., Martin, T., Tocher, M., Borkin, K., McKoy, J., & Smith, D. (2014). Guidelines for Undertaking Rapid Biodiversity Assessments in Terrestrial and Marine Environments in the Pacific. Guide. Secretarian of the Pacific Regional Environment Programme (SPREP). Wildlands. Apia, Samoa. 51 p. Disponible en:

- [http://www.sprep.org/attachments/Publications/BEM/Rapid\\_Biodiversity\\_Assessment\\_Guidelines.pdf](http://www.sprep.org/attachments/Publications/BEM/Rapid_Biodiversity_Assessment_Guidelines.pdf)
- PERUPETRO S.A (PERUPETRO). 2008. Titicaca Basin Technical Report: The Hydrocarbon Potential of Titicaca Basin. Reporte Tecnico. Geological – Geophysical Evaluation Group Exploration Management PERUPETRO S.A. Perú. 107 p. Revisado en: 02 de febrero, 2017. Disponible en: <http://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/cf0cb6dd-47e9-4015-bcb5-8a6b9ca91a15/Titicaca%2BFinal%2B%2B301208.pdf?MOD=AJPERES>
- Pineda-Arce, M. (2013). Problemática del turismo especializado en el Lago Titicaca: Estación de Ecoturismo en el Lago Titicaca EELT-01. Tesis de licenciatura, Facultad de Arquitectura. Universidad Peruana la Católica, 266 p.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). 1996. Diagnostico Ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS). UNEP – Division de Aguas Continentales Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente. Comité *Ad-Hoc* de Transición de la Autoridad Autónoma Binacional del Sistema TDPS. Bolivia - Perú. 223 p.
- Ralph, C. J., Geupel, G.R., Pyle, P., Martin, T.E., De Sante, D.F., Mila, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p.
- Reynel, C., Pennington, R. T., & Särkinen, T. (2013). Cómo se formó la diversidad ecológica del Perú. Lima, Perú: Depósito Legal de la Biblioteca Nacional del Perú. Lima, Peru. 412 p.
- Rodríguez, D., & Burucua, A. (2015). Pasivos ambientales e hidrocarburos en Argentina: Análisis de casos y marcos jurídicos para un debate urgente. 1a ed. Ediciones del Jinete Insomne, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 100 p.



- Sabroso, M. del C., & Pastor, A. (2004). Guía sobre suelos contaminados. Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa Aragonesa, Departamento de Economía, Hacienda y Empleo, Gobierno de Aragón. Guía. Zaragoza. 109 p.
- Sáez, M. J., De Ambrosio, L., & Fresno, M. del C. (1999). Estudio de las actividades y mejora de las condiciones de producción acuícola en el Lago Titicaca (Perú). Puno, Perú. 116 p.
- Sarmiento, F.O. (2000). Diccionario de Ecología: Paisajes conservación y desarrollo sustentable para latinoamérica. Ed. Anthens, Quito. 510 p.
- SCHLUMBERGER COMPANY (Schlumberger). 2008. Explorando las profundidades del Perú, Corporación SCHLUMBERGER. MINEM. Revisado el: 28 de julio, 2015 Disponible en: [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=5&idPublicacion=3](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=5&idPublicacion=3)
- Schulenberg T., Stotz D., Lane D., O'Neill J., Parker III T. (2007). Birds of Peru. Princeton University Press. New Jersey. 664 p.
- SERVICIO NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS POR EL ESTADO (SERNANP). 2015. Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca. MINAM. Súper Grafica E.I.R.L. 36 p.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI). 2015. Monitoreo de temperaturas y precipitación, Revisado el: 15 de agosto, 2015. Disponible en: <http://puno.senamhi.gob.pe/web/index.php?p=1022>
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). Ecología. 6a ed. Pearson Educación S.A., Madrid, España. 776 p.
- Sierra, S. V. (2006). Fitoremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias del Suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 51 p.

- Solorzano, L. A., & Páez-Acosta, G. I. (2009). Forests. En S. A. Levin, S. R. Carpenter, H. C. J. Godfray, A. P. Kinzig, M. Loreau, J. B. Losos, ... D. S. Wilcove (Eds.), *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press, USA. pp. 606–613. DOI: [http://doi.org/10.1007/82\\_2011\\_192](http://doi.org/10.1007/82_2011_192)
- Toledo, B. K. (2009). Aplicación de procesos biológicos como medida de remediación para recuperar suelos limo-arcillosos contaminados con gasolina. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 162 p.
- Towsend, C. R., Begon, M., & Harper, J. L. (2008). *Essential of Ecology*. 3ra ed. Blackwell Publishing. United Kingdom. 522 p.
- Trujillo, M. A., & Ramírez, J. F. (2012). Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Enzyme and Microbial Technology*, 9(3), 37-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2009.06.001>
- Valenzuela, E., Solís, L., Martínez, O., & Pinochet, D. (2006). Hongos aislados desde suelos contaminado con petróleo. *Boletín Micológico*, 21, 35–41.
- Valdivia, J. (2004). Los totorales en el lago Titicaca. En S. Mercure, W. Wilson, & T. Whillans (Eds.), *Gestión integral de cuencas y asentamientos humanos* Quito: Abya-Yala. pp. 465 - 471.
- Vargas-Machuca, R. (2010). Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos [en línea]. Memorias. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador. 17 al 19 de noviembre, 2010. [http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/15\\_15/06/2015](http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/15_15/06/2015)
- Vásquez, C. A., & Villar, J. (2005). La organización económica de la industria de hidrocarburos en el Perú: el segmento Upstream del sector petrolero. Lima - Perú. 188 p.
- Venero, J.L., Tupayachi A., Loaysa W. (2012). Guía de aves y flora laguna de Orurillo. Alpha Servicios Gráficos S.R.L. Cusco. Perú. 167 p.

- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Escobar, M. Ospina y A. M., Umaña. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia 236 p.
- Volke, T., Velasco, J., & De la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. México: SyG Editores, S.A. 141 p.
- Wagner, C. 1999. Entender la Ecología. Blume, Naturart S.A. Barcelona – España. 242 p.
- Xiong, J. (2015). Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rapido (*Paulownia fortunei*). Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 180 p.
- Zubillaga, M. S. (2012). Remediación de suelos forrajeros contaminados con metales pesados: impacto de la aplicación de residuos orgánicos y fitoextracción. Tesis Doctoral. Departamento de Química Física. Universidade Da Coruña. 159 p.

**ANEXOS**



**ANEXO 1.** Fichas de evaluación para flora, aves e insectos (elaboración propia).

**CUADRO 9.** Ficha de evaluación de flora; Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Ficha N.....			
Nombres.....		Código de Cuadrante:.....	
Fecha:.....		Lugar:.....	Referencia:.....
Coordenadas: X.....		Y.....	
N°	Especie	Cantidad	Código muestra (Prensa)

**CUADRO 10.** Ficha de evaluación de aves; Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Ficha N.....			
Nombres.....		Punto de Conteo:.....	
Fecha:.....		Lugar:.....	Referencia:.....
Coordenadas: X.....		Y.....	
N°	Especie	Cantidad	Código muestra (fotografía)

**CUADRO 11.** Ficha de evaluación de insectos, Ahuallane, Huancané 2015-2016

Ficha N.....			
Nombres.....		Transecto:.....	
Fecha:.....		Lugar:.....	Referencia:.....
Coordenadas: X.....		Y.....	
Nº	Especie	Cantidad	Código muestra (# de frasco)

**ANEXO 2.** Especies de flora vascular, aves e insectos, registradas en Ahuallane, 2015-2016.

**CUADRO 12.** Especies de flora registradas en la Zona de Perforación (ZP), PPC = cuadrante en el punto de perforación; Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Especie	PPC1	PPC2	PPC3	PPC4	PPC5	PPC6	Total Indv.
<i>Stipa ichu</i>	15	13	12	2	1		43
<i>Tagetes mandonii</i>	12						12
<i>Tagetes multiflora</i>	9	17					26
<i>Margyricarpus pinnatus</i>	5		2				7
<i>Chersedoma jodopappa</i>	2						2
<i>Colletia spinosissima</i>	1	3	2				6
<i>Bidens andicola</i>	1	2					3
<i>Ageratina cuzcoensis</i>	1		1				2
<i>Viguera procumbens</i>	4	2					6
<i>Trifolium repens</i>		3					3
<i>Echinopsis maximiliana</i>			1				1
<i>Baccharis tricuneata</i>		7					7
<i>Cumulopuntia boliviana</i>			23				23
<i>Poa annua</i>					1		1
<i>Verbena hayekii</i>	4						4
<i>Eucaliptus globulus</i>		1		1			2
<i>Festuca dolichophylla</i>			3				3
<i>Achyrocline alata</i>			2	1			3
<i>Caesalpinia spinosa</i>	5	13	1	1			20
<i>Astragalus arequipensis</i>	3						3
<i>Chondrosium simplex</i>	1						1
<i>Tessaria angustifolia</i>	4						4

**CUADRO 13.** Especies de flora registradas en la Zona de Canal (ZC); CCD = cuadrante de Canal. Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Especie	CDC1	CDC2	CDC3	CDC4	CDC5	CDC6	Total Indv.
<i>Stipa ichu</i>	6						6
<i>Colletia spinosissima</i>	1						1
<i>Viguera procumbens</i>	3						3
<i>Trifolium amabile</i>	5		4				9
<i>Echinopsis maximiliana</i>				20			20
<i>Grindelia boliviana</i>	1						1
<i>Plantago australis</i>		3					3
<i>Rumex cuneifolius</i>				21			21
<i>Festuca dolichophylla</i>	2	1					3
<i>Bothriochloa saccharoides</i>	4						4
<i>Aristida peruviana</i>	9		12				21
<i>Calamagrostis rigescens</i>	6	7					13
<i>Calamagrostis ovata</i>	1		3				4
<i>Chondrosium simplex</i>		1	2				3
<i>Hordeum muticum</i>	2			8			10

**CUADRO 14.** Especies de flora registradas en la Zona de Acumulación (ZA); ADC = cuadrante de área degradada. Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Especie	ADC1	ADC2	ADC3	ADC4	ADC5	ADC6	Total Indv.
<i>Aristida peruviana</i>					3		3
<i>Poa sp.</i>					16	15	31
<i>Sarcocornia sp.</i>					34	14	48

**CUADRO 15.** Especies de aves registradas en las tres zonas de evaluación ZP, ZC y ZA; PC = Punto de conteo. Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Especies	Nr° Indv.	ZP			ZC			ZA		
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
<i>Anthus furcatus</i>	1									
<i>Zonotrichia capensis</i>	15			5	1	4	10			
<i>Falco femoralis</i>	1									
<i>Phrygylus plebejus</i>	11		3	3						
<i>Turdus chihuanco</i>	1			2						
<i>Colaptes rupicola</i>	1			2	1	2	2			
<i>Zenaida auriculata</i>	2		1	9						
<i>Carduelis atrata</i>	2		2							
<i>Troglodytes aedon</i>	1									
<i>Columbia livia</i>			1		1					
<i>Haplochelidon andecola</i>			1						2	
<i>Phalcoboenus megalopterus</i>			2							
<i>Phrygylus fruticeti</i>			3	8						
<i>Metriopelia ceciliae</i>				4						

<i>Phrygylus punensis</i>			3						
<i>Falco sparverius</i>								2	2
<i>Chroicocephalus serranus</i>						2			25
<i>Anas flavirostris</i>							2		
<i>Lessonia oreas</i>								9	8
<i>Cathartes aura</i>									8
<i>Athene cunicularia</i>								5	3
<i>Plegadis ridgwayi</i>									15
<i>Vanellus resplendens</i>								6	
<i>Phoenicopterus chilensis</i>									60
<i>Phalaropus tricolor</i>									4
<i>Himantopus mexicanus</i>									2
<i>Anas Puna</i>									8
<i>Chrarradrius alticola</i>									10
<i>Tringa Flavipes</i>									7

**CUADRO 16.** Especies registradas de insectos en los puntos de recolección de muestras ZP, ZC, y ZA, Ahuallane, Huancané 2015-2016

N°	Orden	Familia	Especie	ZP	ZC	ZA
1	Diptera	Syrphidae	1	x		
2	Diptera	Muscidae	2	x	x	
3	Hymenoptera	Apidae	3	x		
4	Diptera	Syrphidae	4		x	
5	Hymenoptera	Formicidae	5	x		
6	Lepidoptera	Pieridae	6	x	x	x
7	Lepidoptera	Nymphalidae	7		x	
8	Lepidoptera	Pieridae	8	x	x	x
9	Odonata	Libellulidae	9	x	x	x
10	Coleoptera	Tenebrionidae	10	x	x	
11	Coleoptera	Tenebrionidae	11		x	
12	Coleoptera	Tenebrionidae	12		x	
13	Coleoptera	Scarabidae	13	x		
14	Coleoptera	Scarabidae	14	x	x	
15	Coleoptera	Scarabidae	15	x		
16	Coleoptera	Coccinellidae	16	x		
17	Hemiptera	Myridae	17			x
18	Hymenoptera	Crysididae	18	x		
19	Hymenoptera	Braconidae	19	x		
20	Hymenoptera	Chalcididae	20	x		
21	Diptera	Tipulidae	21		x	
22	Orthoptera	Locustidae	22	x		
23	Lepidoptera	Noctuidae	23	x		
24	Coleoptera	Curculionidae	24		x	



**ANEXO 3.** Cuadro de índices, de evaluaciones realizadas, Ahuallane 2015-2016.**CUADRO 17.** Flora, Índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Perforación; Ahuallane, Huancané 2015-2016

Cuadrante	D	H'	$D_{Mg}$	J
ZPC1	0.5006	0.6926	0.297	0.9991
ZPC2	0.1889	1.851	1.946	0.8425
ZPC3	0.3155	1.523	2.078	0.693
ZPC4	0.28	1.332	1.864	0.961
ZPC5	0.5	0.6931	1.443	1
ZPC6	0	0	0	0
Promedio	0.298	1.0153	1.2713	0.7493

**CUADRO 18.** Flora, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad Zona del Canal (ZC); Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Cuadrante	D	H'	$D_{Mg}$	J
ZCC1	0.1337	2.165	2.711	0.9031
ZCC2	0.4167	1.075	1.207	0.7755
ZCC3	0.3923	1.138	0.9854	0.8206
ZCC4	0.3769	1.025	0.5139	0.9328
ZCC5	0	0	0	0
ZCC6	0	0	0	0
Promedio	0.2199	0.9005	0.9029	0.572

**CUADRO 19.** Flora, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Acumulación (ZA); Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Cuadrante	D	H'	$D_{Mg}$	J
ADC1	0	0	0	0
ADC2	0	0	0	0
ADC3	0	0	0	0
ADC4	0	0	0	0
ADC5	0.5059	0.8089	0.5037	0.7363
ADC6	0.5006	0.6926	0.297	0.9991
Promedio	0.1678	0.2503	0.1335	0.2892

**CUADRO 20.** Aves, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Perforación (ZP); Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Punto de Conteo	D	H'	$D_{Mg}$	J
PC1	0.2931	1.562	2.25	0.7109
PC2	0.1716	1.845	2.339	0.9479
PC3	0.1636	1.934	1.953	0.9303
Promedio	0.2094	1.7803	2.1807	0.8630

**CUADRO 21.** Aves, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona del Canal (ZC); Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Punto de Conteo	D	H'	$D_{Mg}$	J
PC4	0.3333	1.099	1.82	1
PC5	0.5556	0.6365	0.5581	0.9183
PC6	0.551	0.7963	0.7578	0.7248
Promedio	0.4800	0.8439	1.0453	0.8810

**CUADRO 22.** Aves, índices de abundancia, diversidad, riqueza y equidad, Zona de Acumulación (ZA); Ahuallane, Huancané 2015-2016.

Punto de Conteo	D	H'	$D_{Mg}$	J
PC7	1	0	0	0
PC8	0.2604	1.455	1.259	0.9042
PC9	0.2088	1.965	2.19	0.7909
Promedio	0.4897	1.14	1.1497	0.5650

**ANEXO 4.** Anexo fotográfico.



**FIGURA 8.** Sello del pozo RH-10 (izquierda y centro); torre petrolífera en alusión a la actividad petrolífera (derecha). Ahuallane, 2015-2016.



**FIGURA 9.** Profundidad del Canal 1m, (izquierda); interior de la zona degradada, se observa vida vegetal en los alrededores (derecha), Ahuallane, 2015-2016.



**FIGURA 10.** Residuos sólidos en la Zona de Canal (izquierda); botella en medio del suelo solido como una roca tras el actuar de las aguas de formación, Ahuallane, 2015-2016.





**FIGURA 11.** Recorrido de transecto (izquierda); toma de puntos georeferenciales. Ahuallane, 2015-2016.



**FIGURA 12.** Punto de conteo de aves (izquierda); trampa caída para insectos (derecha). Ahuallane 2015-2016.



**FIGURA 13.** Método de cuadrantes (izquierda); colecta y prensado de muestras de flora (derecha). Ahuallane, 2015-2017.





**FIGURA 14.** Identificación de insectos (izquierda); insectos colectados de Ahuallane (derecha), en el Lab. Entomología, Fac. de Ciencias Agrarias UNAP, 2015-2016.



**FIGURA 15.** Sitio Prioritario para la Conservación N° 15 (Izquierda); ganado pastando alrededor del área degradada (derecha). Ahuallane, 2015-2016.

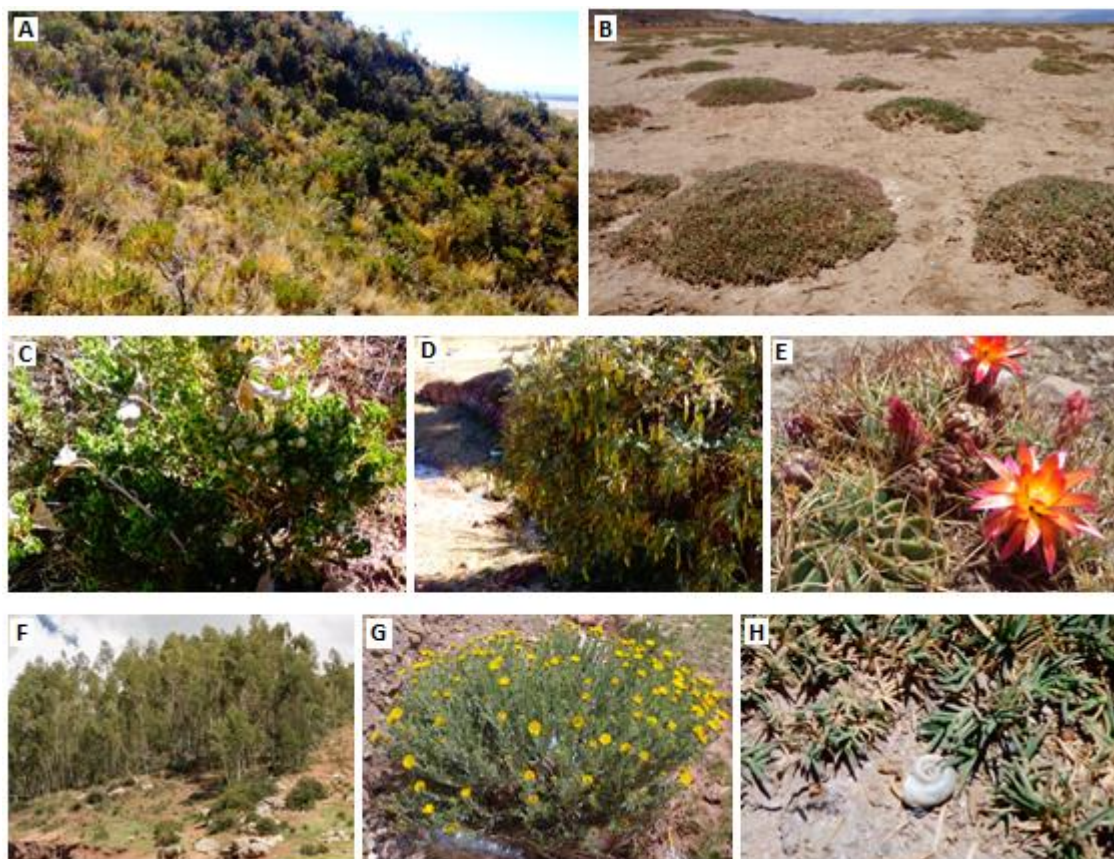


**FIGURA 16.** Agricultura alrededor del área contaminada en la Zona de Deposito (izquierda), en la Zona de Canal (derecha). Ahuallane, 2015-2016.



**FIGURA 17.** Animales domesticos en el area de estudio. Ahuallane, 2015-2016.





**FIGURA 18.** A: hábitat en la Zona de Perforación; B: *Sarcocornia* sp.; C: *Baccharis tricuneata*; D: *Caesalpinia spinosa*; E: *Echinopsis maximiliana*; F: *Eucaliptus globulus*; G: *Grindelia boliviana*; H: *Poa* sp. y *Taphius montanus* (Mollusca) Ahuallane, 2015-2016. (Fotografías: Dennis X. Huisa B.).

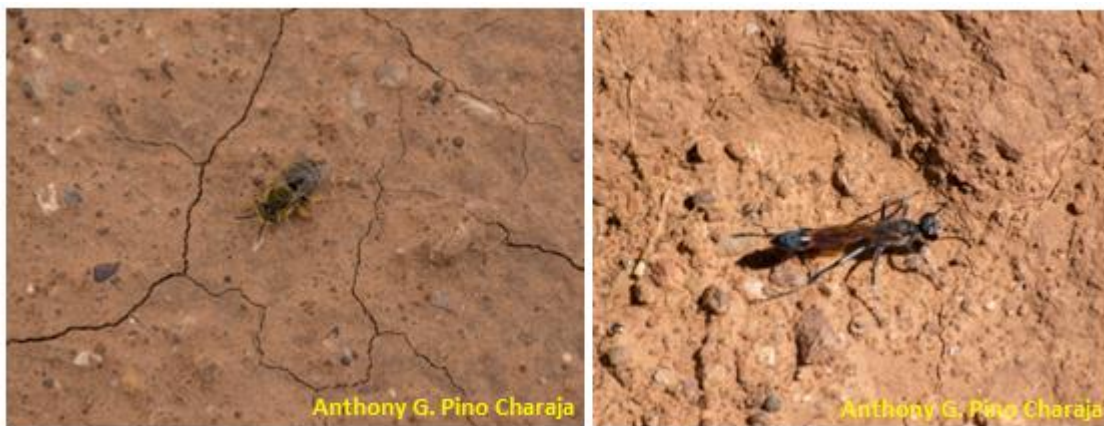


**FIGURA 19.** Aves, A: *Plegadis ridgwayi*; B: *Himantopus mexicanus*; C: *Anas flavirostris*; D: *Cathartes aura*; E: *Zonotrichia capensis*; F: *Phrygilus fruticeti*. Ahuallane, 2015-2016 (Fotografías: Anthony G. Pino Ch.).





**FIGURA 20.** Ave rapaz, *Athene cunicularia*, nidos terrestres, Ahuallane, 2015-2016



**FIGURA 21.** Insectos del Orden Hymenoptera. Ahuallane, 2015-2016.

## "AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

Puno, 26 de setiembre del 2017

El que suscribe, Gabriel Llerena Reátegui, director de la Asociación para la Conservación de Carnívoros y su Hábitat PRO CARNÍVOROS.

Hace constar que:

## DENNIS XAVIER HUISA BALCON

Ha realizado la investigación 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, teniendo como área de estudio la Comunidad Rural de Ahuallane, provincia de Huancané, departamento de Puno. Investigación que fue realizada entre setiembre 2015 a setiembre 2016, la que contó con el patrocinio de nuestra institución, apoyando con equipos para la toma de datos, y el análisis de resultados, dicha investigación adicionalmente tuvo financiamiento de NEOTROPICAL GRASSLAND CONSERVANCY. El presente documento es realizado a solicitud del interesado, dando fe que la investigación fue elaborada cumpliendo las estipulaciones del Código de Ética de nuestra institución.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Atentamente



Gabriel Llerena Reátegui  
DIRECTOR