

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA**  
**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN**  
**AMBIENTAL**



**TESIS**

**RESTAURACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS MEDIANTE INTERCAMBIO  
CATIONICO EN PIRÍN PUNO-PERÚ**

**PRESENTADA POR:**

**BRAULIO ANTONIO ZUÑIGA MORIEL**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2015**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

TESIS

RESTAURACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS MEDIANTE INTERCAMBIO  
CATIÓNICICO EN PIRÍN PUNO-PERÚ

PRESENTADA POR:

BRAULIO ANTONIO ZUÑIGA MORIEL

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

  
.....  
Dr. DANTE SALAS AVILA

PRIMER MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. DALMIRO CORNEJO OLARTE

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. FERNANDO BERNEDO COLCA

ASESOR DE TESIS

  
.....  
M.Sc. NEWTON MACHACA CUSILAYME

Puno, 08 de setiembre del 2015

**ÁREA:** Medio ambiente

**TEMA:** Restauración de suelos

**LÍNEA:** Ingeniería y tecnología

## DEDICATORIA

A mis queridos padres Demetrio y Estela.

A mis queridos hijos Giovany, Lizbeth y Nathaly.

Y a mi esposa por su apoyo desinteresado para la conclusión de este proyecto.

Braulio

## AGRADECIMIENTOS

- A los profesores de la EPG de la UNA-Puno, por las orientaciones seguras y constantes estímulos en la ejecución y conclusión de este trabajo de investigación, mi agradecimiento muy especial a mi asesor M.Sc. NEWTON MACHACA CUSILAYME por su apoyo para la realización de este trabajo.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1

**CAPITULO I****PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.1.1. Delimitación y definición del problema.....	4
1.1.2. Definición del problema .....	4
1.1.2.1. Problema general .....	4
1.1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.2. Objetivos de la investigación.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Matriz de consistencia.....	5
1.4. Justificación de la investigación .....	6
1.5. Hipótesis de la investigación .....	6
1.5.1. Hipótesis general .....	6
1.5.2. Hipótesis específicas .....	7
1.6. Identificación de variables.....	7

**CAPITULO II****MARCO TEÓRICO**

2.1. Marco referencial .....	8
2.2. Marco teórico .....	14
2.2.1. Ámbito de estudio .....	14
2.2.2. Geología .....	29

2.2.3. Estratigrafía .....	30
2.2.4. Geología Histórica .....	42
2.2.5. Geología Económica.....	46
2.2.6. Geomorfología .....	47
2.2.7. Fisiografía .....	50
2.2.8. Procesos morfodinámicos.....	55
2.2.9. Sismicidad .....	58
2.2.10. Estabilidad geomorfológica .....	59
2.2.11. Distribución de pozos exploratorios .....	61
2.3. Marco conceptual.....	64
2.3.1. Suelo.....	64
2.3.2. Capacidad de intercambio catiónico .....	65
2.3.3. Ciclo hidrológico.....	66
2.3.4. Comportamiento ambiental .....	67
2.3.5. Mecanismo de transporte .....	67
2.3.6. Dispersión hidrodinámica.....	67
2.3.7. Transferencia de masa o advección .....	68
2.3.8. Pasivos ambientales en el sector hidrocarburos.....	68
2.3.9. Facilidades e infraestructuras de superficie .....	69

**CAPITULO III  
METODOLOGÍA**

3.1. Etapas de trabajo .....	74
3.2. Caracterización dela zona de estudio .....	75
3.3. Características del suelo .....	76
3.4. Información climática .....	77
3.5. Características físicas del suelo.....	78
3.6. Caracterización química.....	80
3.6.1. Ph .....	80
3.6.2. Método.....	80
3.6.3. Fundamento.....	81
3.6.4. Interferencias .....	81
3.6.5. Material y equipo.....	82
3.6.6. Procedimiento .....	82

3.7. Conductividad eléctrica CE modelo WWT .....	83
3.7.1. Método .....	83
3.7.2. Fundamento .....	83
3.7.3. Interferencias .....	83
3.7.4. Material y equipo .....	83
3.7.5. Soluciones .....	84
3.7.6. Procedimiento .....	84
3.7.7. Cálculos .....	87
3.8. La capacidad de intercambio catiónico CIC .....	88
3.8.1. Método .....	88
3.8.2. Principio y aplicación .....	88
3.8.3. Material y equipo .....	89
3.8.4. Soluciones .....	89
3.9. Análisis físicos y químicos en suelo .....	91
3.9.1. Procedimiento .....	91
3.9.2. Cálculos .....	92

#### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ph.....	94
4.2. Conductividad .....	94
4.3. Concentración de cationes y aniones en extracto .....	94
4.4. Capacidad de intercambio catiónico .....	95
4.5. Porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico .....	95
4.6. Desarrollo experimental .....	96
4.6.1. Velocidad de infiltración del agua en un perfil de suelo de 15 cm de espesor .....	96
4.6.2. Volumen de agua lixiviada .....	97
4.6.3. Capacidad de retención hídrica .....	97
4.7. Primer ensayo .....	97
4.7.1. Velocidad de infiltración .....	98
4.7.2. Variación de la conductividad del suelo y del lixiviado como consecuencia del lavado.....	99
4.8. Segundo ensayo .....	99

CONCLUSIONES .....	102
RECOMENDACIONES .....	104
BIBLIOGRAFÍA .....	105
ANEXOS .....	112

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1 Matriz de consistencia .....	5
2 Identificación de variables .....	7
3 Relación de pozos perforados .....	12
4 Relación de estaciones meteorológicas .....	16
5 Precipitación media mensual y anual .....	16
6 Precipitación total y anual estación Puno .....	17
7 Precipitación total mensual y anual estación Juliaca .....	18
8 Precipitación total mensual y anual estación Azángaro.....	19
9 Precipitación total mensual y anual estación Lampa .....	20
10 Precipitaciones máximas diarias estación Puno .....	22
11 Precipitaciones máximas diarias estación Juliaca .....	22
12 Precipitaciones máximas diarias estación Azángaro .....	23
13 Precipitaciones máximas diarias estación Lampa .....	23
14 Precipitación total promedio 10 años estación Puno .....	24
15 Temperatura media mensual estación Juliaca .....	25
16 Ubicación de los puntos de muestreo de aire .....	27
17 Resultados de muestras .....	27
18 Características físicas del suelo .....	79
19 Ajuste de conductividad en función de la solución de KCl.....	86
20 Factores de corrección de la conductividad eléctrica en función de la temperatura del extracto de saturación .....	87
21 Concentración en extracto .....	94
22 Porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico .....	95
23 Información del suelo.....	96
24 Estructura del suelo .....	97
25 Primer ensayo .....	98
26 Velocidad de infiltración.....	98
27 Resultados previos a la enmienda.....	100
28 Segundo ensayo.....	100
29 Lixiviados analizados.....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1 Precipitación mensual estación Puno .....	18
2 Precipitación mensual estación Juliaca .....	19
3 Precipitación mensual estación Azángaro .....	20
4 Precipitación mensual estación Lampa .....	21
5 Precipitación media mensual.....	21
6 Comportamiento de temperatura de la estación Juliaca.....	25
7 Precipitación mensual estación puno .....	77

## RESUMEN

La presente investigación trata sobre la caracterización y evaluación de los suelos salinizados como consecuencia de la explotación de hidrocarburos en la cuenca del Titicaca, sin tomar en consideración los factores ambientales, lo que terminó produciendo la contaminación de grandes áreas de cultivo con la generación consecuentemente de impactos negativos. El ámbito donde se desarrolló el presente trabajo comprende la Región Puno, Provincia de Huancané, y Distrito de Pusi. Geográficamente se encuentra dentro de la Cuenca del Lago Titicaca en su porción NW. El agua congénita es agua salada que se encuentra dentro de la roca, asociada a la presencia de hidrocarburos, y la alta concentración de sus componentes puede ocasionar impactos negativos al ambiente cuando su manejo y disposición no son adecuados. El objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad de utilizar yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) como compuesto de intercambio para el tratamiento de un suelo impactado por aguas congénitas, y establecer la cinética de reacción con los principales factores afectados. Se simuló un lavado del suelo contaminando con agua de buena calidad y el material contaminado fue tratado con una enmienda en dos ensayos con tiempos y dosis diferentes. La cinética de la reacción indicó un periodo de aproximadamente 24 horas como el tiempo necesario para reducir el PSI de 49 a  $< 15\%$ , a la vez que se requirió un tiempo de casi 10 días para que la lámina de agua atravesase el perfil del suelo. Los resultados indican que es posible emplear enmiendas de sulfato de calcio, para el tratamiento de suelos contaminados con aguas congénitas y obtener reducciones satisfactorias en la salinidad y sodicidad permitiendo a la vez una buena recuperación de los suelos y por ende contribuir en la ampliación de la frontera agrícola.

**Palabras clave:** Desechos petroleros, remediación, salinidad, sodicidad.

## ABSTRACT

This research is the characterization and evaluation of salinized as a result of the exploitation of hydrocarbons in the basin of Titicaca, irrespective of soil environmental factors, which ultimately led to the contamination of large areas of cultivation with the generation result of negative impacts. The area where this study was developed comprising the Puno region Huancané Province and District Pusi. Geographically it is located in the basin of Lake Titicaca in the NW portion. The congenital water is salt water found inside the rock, associated with the presence of hydrocarbons, and the high concentration of its components may result in negative environmental impacts when handling and disposal are inadequate. The aim of this study was to evaluate the feasibility of using gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) and exchange compound for the treatment of a congenital waters impacted soil, and establish the reaction kinetics with the main affected factors. Washing contaminated soil with good water and contaminated material was treated with an amendment in two trials with different doses and times were simulated. The kinetics of the reaction indicated a period of about 24 hours as the time required to reduce the PSI from 49 to  $<15\%$ , while time is required about 10 days for the sheet of water passes through the soil profile . The results indicate that it is possible to use amendments calcium sulphate for the treatment of soil contaminated with congenital waters and get successful reductions in salinity and sodium while allowing a good recovery of the soil and thus contribute to the expansion of the agricultural frontier.

**Keywords:** Oil waste, remediation, salinity, sodicity.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo titulado “RESTAURACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS MEDIANTE INTERCAMBIO CATIÓNICO EN PIRÍN PUNO-PERÚ”, surge como consecuencia de haber ubicado el problema de la contaminación de los suelos agrícolas de la zona de Pirín, y contribuir con la descontaminación causada por la exploración y explotación de más de una docena de pozos en las décadas pasadas.

La presente investigación es un estudio para la restauración de suelos salinizados como efecto del vertido de aguas formacionales directamente al Lago Titicaca producto de la explotación del lote 105, aplicando la tecnología de intercambio catiónico.

Se presentan datos de la etapa inicial que corresponde a estudios de laboratorio. Se emplean columnas de suelo para hacer la caracterización físicoquímica del suelo y se hace la evaluación de las posibilidades de restaurarlo aplicando mejoradores químicos y lavados sucesivos.

El suelo en estudio tiene características salino-sódicas, con un PSI de 50%, cuya fase sólida es arcillosa y se encuentra totalmente dispersa formando una capa superficial dura y compacta que impide el crecimiento de la vegetación.

En los ensayos de laboratorio se pudo comprobar que el agregado de una enmienda química, siguiendo los lineamientos del Manual de suelos salinos y sódicos propuestos por USDA (United States Department of Agriculture), y el posterior lavado de suelo permiten disminuir el PSI a valores inferiores al 15%,

valor límite que no debe ser superado para evitar el deterioro de la estructura y la calidad del suelo.

Los resultados de este estudio preliminar justifica la realización de un estudio piloto sobre diez hectáreas de terreno salinizado.

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente trabajo es un estudio para la restauración de suelos salinizados por el afloramiento de aguas formacionales profundas, utilizando la técnica de intercambio catiónico.

Se presentan datos de la etapa inicial que corresponde a estudios de laboratorio. Se trabaja en columnas de suelo para definir las propiedades físicas químicas del suelo y evaluar las posibilidades de rehabilitarlo mediante la aplicación de mejoradores químicos y lavados sucesivos.

El suelo en estudio tiene características salino-sódicas, con un PSI de 50%, sus partículas son arcillosas y se encuentran totalmente dispersas formando una capa dura y compacta que impide el crecimiento de la vegetación. En los ensayos de laboratorio se pudo comprobar que el agregado de una enmienda química, siguiendo los lineamientos del Manual de Suelos Salinos y Sódicos propuesto por USDA, United Status Department of Agricultura, y el posterior lavado del suelo permite disminuir el PSI a valores inferiores al 15%, valor

límite que no debe ser superado para evitar el deterioro de la estructura y calidad del suelo. Los resultados de este estudio preliminar permitieron justificar la realización de un estudio piloto sobre diez hectáreas de terreno salinizado.

El estudio se aborda desde la ciencia geológica y se relaciona con el medio ambiente. El nivel de estudio es descriptivo y la línea de investigación trata del desarrollo rural

### **1.1.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El área de estudio comprende la parte meridional del lote 105, distrito de Pusi, provincia de Huancané, Departamento de Puno, en una extensión aproximada de 10 hectáreas (R., 1921).

### **1.1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuáles son las condiciones ambientales que afectan al suelo de Pirín, del Distrito de Pusi, Provincia de Huancané del departamento de Puno, en el marco de la salinización de suelos?

#### **1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Cuál es la concentración de aniones y cationes en el extracto?

¿Cuál es el Porcentaje de Sodio Intercambiable?

¿Cuál es la Capacidad de Intercambio Catiónico?

## 1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las condiciones ambientales que afectan al suelo del paraje Pirín, del Distrito de Pusi, Provincia de Huancané del departamento de Puno, en el marco de la salinización de suelos.

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la concentración de aniones y cationes en el extracto.

Determinar el Porcentaje de Sodio Intercambiable.

Determinar el Capacidad de Intercambio Catiónico.

## 1.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

CUADRO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General
¿Cuáles son las condiciones ambientales que afectan al suelo de Pirín, del Distrito de Pusi, Provincia de Huancané del departamento de Puno, en el marco de la salinización de suelos?	Caracterizar las condiciones ambientales que afectan al suelo del paraje Pirín, del Distrito de Pusi, Provincia de Huancané del departamento de Puno, en el marco de la salinización de suelos	La salinización de suelos agrícolas presentes en la zona de Pirín, son factibles de evaluación y restauración mediante el intercambio catiónico.



Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas
¿Cuál es la concentración de aniones y cationes en el extracto?	Determinar la concentración de aniones y cationes en el extracto	El afloramiento de las aguas formacionales en la zona de Pirín, producen la salinización de los suelos en la zona de estudio.
¿Cuál es el Porcentaje de Sodio Intercambiable?	Determinar el PSI	La exposición al drenaje de aguas formacionales genera la salinización de los suelos
¿Cuál es la Capacidad de Intercambio Catiónico?	Determinar la CIC	El ambiente geológico es propicio para la restauración de los suelos salinizados del área de estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se justifica por tener como propósito generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento de metodologías en la caracterización ambiental, física y química en muestras de suelos posibles de desencadenar en contaminación ambiental.

#### 1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

##### 1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

La salinización de suelos agrícolas presentes en la zona de Pirín, son factibles de evaluación y restauración mediante el intercambio catiónico.

### 1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

El afloramiento de las aguas formacionales en la zona de Pirín, producen la salinización de los suelos en la zona de estudio.

La exposición al drenaje de aguas formacionales genera la salinización de los suelos.

El ambiente geológico es propicio para la restauración de los suelos salinizados del área de estudio.

### 1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

CUADRO 2  
IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable Dependiente (VD)	Variable Independiente (VI)
<p><b>VD</b>, caracterizar las condiciones ambientales que afectan al suelo del paraje Pirín, del Distrito de Pusi, Provincia de Huancané del departamento de Puno, en el marco de la salinización de suelos</p>	<p><b>VI<sub>1</sub></b>, determinar la concentración de cationes y aniones en extracto</p> <p><b>VI<sub>2</sub></b>, determinar el PSI</p> <p><b>VI<sub>3</sub></b>, determinar el CIC,</p>

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. MARCO REFERENCIAL

Para realizar la presente investigación será necesario revisar estudios anteriores relacionados o vinculados con el tema, con la finalidad de buscar sustanciales aportes al mismo, a continuación se mencionan los más relevantes.

La región donde se ubica el Lote 105, presenta exploraciones de hidrocarburos que se inician en la zona de Pirín hace 130 años (aproximadamente con el inicio de las actividades petroleras en el noroeste del Perú), las que han manifestado cierto potencial que aún no ha sido explotado adecuadamente debido a diversos factores como falta de presupuesto, tecnología incipiente, saturación de agua de formación, etc. Salvo el caso relevante de la compañía americana Titicaca Oil que logró una producción récord de más de 280 mil barriles de petróleo. La referencia histórica así lo señala:

En el año 1875 la compañía Corocoro fue la primera empresa en efectuar un perfilaje, alcanzando la profundidad de 599,7 pies. En esa ocasión, se atravesó

un horizonte productivo, que produjo 52,6 barriles diarios. Este pozo fue entubado 98,4 pies con forros de 5" y los 501,3 pies restantes se derrumbaron por lo que se abandonó el pozo.

Luego, en 1876, un explorador llamado Fazzino efectuó un trabajo minero, abriendo galerías para la explotación del petróleo en Pirín. Este procedió a excavar un pique de 18 metros de profundidad y de 1,5 metros de diámetro, a una distancia de 150 metros al SE del pozo anteriormente perforado por la compañía Corocoro. A los 9 metros debajo de la superficie, se corrió una galería de 20 metros de largo y en el fondo del pique a 18 metros, otra galería de 40 metros; ambas en dirección al pozo anteriormente mencionado. No obstante, al derrumbarse la galería inferior, sólo se explotó el nivel superior donde el petróleo se producía con agua de formación, arrojando 02 galones diarios; producción insuficiente que motivó su abandono.

Después de 29 años en 1905, la compañía americana Titicaca Oil Co. realizó nuevas perforaciones en la zona. En 10 años, esta compañía perforó 10 pozos, de los cuales 7 mostraban una producción variable de 4 a 20 barriles por día. El horizonte productivo estuvo entre 131 y 394 pies de profundidad. Más adelante se realizaron nuevos perfilajes en cinco de estos pozos, de los cuales, en el primero se encontró un nuevo horizonte productivo a los 574 pies; este fue el pozo más profundo de esta compañía llegando a una profundidad de 755 pies.

Sin embargo, pese a que esta compañía logró producir 281 111 barriles de petróleo (siendo hasta la fecha la única empresa que ha logrado producir cantidad apreciable de petróleo en la zona); la producción de agua de formación a fuerte presión ocasionó el abandono de estos pozos.

En 1917 la Sociedad de Petróleos España, de capitales chilenos, adquirió los derechos e instalaciones de la anterior compañía americana. Esta empresa perforó 5 pozos a profundidades comprendidas entre 170,6 y 410 pies. En tres de estos pozos se logró producir 497 barriles de petróleo.

Sin embargo, en 1919 la compañía chilena suspendió todos los trabajos debido al temor ocasionado por la tensa relación entre Perú y Chile e incluso, esta compañía retiró los forros de producción de algunos pozos, lo que produjo la inundación del pozo petrolero con agua de formación. Así, en Septiembre de 1920, los pozos empezaron a producir agua de formación a fuerte presión, con emanaciones de gas carbónico y sulfhídrico, hasta llegar a un WOR (relación agua petróleo) de 100.

De otro lado, las exploraciones en la zona de Corapata se remontan al año 1907, cuando el “Sindicato Petrolero del Titicaca” se formó con la finalidad de explorar la Pampa Corapata. Aparentemente, hicieron dos perforaciones pero ante el fracaso de éstas por falta de capital, se suspendieron las labores sin obtener resultados positivos (Anónimo, 1924).

Finalmente, en la zona de Sorajacha entre los años 1922 y 1925 la Peruvian Corporation realizó otro intento de perforación en la cuenca del Titicaca, habiendo adquirido la concesión Bolognesi a una distancia de 2,5 Km. al sur del pueblo de Samán. Perforaron tres pozos, con resultados negativos.

Trabajos Posteriores

Entre los años 1939 y 1946, el Departamento de Petróleo, que dependía del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Ministerio de Fomento perforó trece pozos, previo informe de la Comisión Geológica de Puno realizado 2 años antes.

En tres perfilajes se encontraron indicios de petróleo y gas, pero solamente el pozo RH-2 resultó productivo. Tres de los trece pozos fueron ubicados en la antigua zona de Pirín, en la parte alta del monoclinial y los otros fueron perforados aproximadamente a dos kilómetros al sur, excepto el RH-13 que se encuentra ubicado en la Pampa Corapata (Cabrera la Rosa A., 1936).

En los años 1995 y 1996, la compañía rusa YUGANSK perforó 2 pozos en el yacimiento COATA de la cuenca Titicaca sin resultados positivos motivando el abandono del área.

El resultado de producción de estos pozos fue desfavorable, el error probable es la ubicación de los pozos porque se trabajó sin planeamiento adecuado. El resumen de las referidas prospecciones se indica en el Cuadro 1.

## CUADRO 3

## RELACIÓN DE POZOS PERFORADOS

Año	Pozo	Sector	Cuenca	Profundidad (pies)	Compañía
1875	-	Pirín	Titicaca	599,7	Corocoro
1876	trabajo minero	cerca al pozo anterior	Titicaca	abrió galerías	Sr. Fazzino
1905	RH-A	Pirín	Titicaca	755	Titicaca Oil Co.
1906	RH-B	Pirín	Titicaca	165	Titicaca Oil Co.
1907	RH-C	Corapata	Titicaca	160	Titicaca Oil Co.
1908	RH-D	Corapata	Titicaca	196	Titicaca Oil Co.
1908	RH-E	Pirín	Titicaca	200	Titicaca Oil Co.
1909	RH-F	Pirín	Titicaca	225	Titicaca Oil Co.
1909	RH-G	Pirín	Titicaca	230	Titicaca Oil Co.
1910	RH-H	Pirín	Titicaca	240	Titicaca Oil Co.
1910	RH-I	Pirín	Titicaca	250	Titicaca Oil Co.
1911	RH-J	Pirín	Titicaca	230	Titicaca Oil Co.
1915	RH-N	Pirín	Titicaca	400	Cora
1917	RH-P	Pirín	Titicaca	194	Sociedad de Petróleos España (capitales chilenos)
1918	RH-Q	Pirín	Titicaca	205	Sociedad de Petróleos España (capitales chilenos)
1918	RH-R	Pirín	Titicaca	200	Sociedad de Petróleos España (capitales chilenos)
1919	RH-S	Pirín	Titicaca	220	Sociedad de Petróleos España (capitales chilenos)
1919	RH-T	Pirín	Titicaca	249	Sociedad de Petróleos España (capitales chilenos)
1939	RH-1	Pirín	Titicaca	593,15	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1939	RH-2	Puca	Titicaca	1946	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1939	RH-3	Ahuallane	Titicaca	1492,3	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1940	RH-4	Pirín	Titicaca	851,5	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1943	RH-5	Pirín	Titicaca	1659,6	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)

Año	Pozo	Sector	Cuenca	Profundidad (pies)	Compañía
1943	RH-6	Jatum Cruz	Titicaca	1459,3	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1943	RH-7	Ahuallane	Titicaca	684,4	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1944	RH-8	Ahuallane	Titicaca	1082,7	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1944	RH-9	Pirín	Titicaca	2054	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1946	RH-10	Pirín	Titicaca	984,3	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1946	RH-11	Pirín	Titicaca	-	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1946	RH-12	Pirín	Titicaca	1435,7	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1946	RH-13	Corapata	Titicaca	-	Departamento de Petróleo (Cuerpo de Ingenieros de Minas)
1995	-	Pirín	Titicaca	-	YUGANSK
1996	-	Pirín	Titicaca	-	YUGANSK

Fuente: Consideraciones sobre la Geología y las posibilidades petrolíferas de Pirín y de la Cuenca Titicaca, Lado NW. José A. Torres Fernández. Universidad Nacional de Ingeniería. 1958.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 AMBITO DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la parte meridional del lote 105, distrito de Pusi, provincia de Huancané, Departamento de Puno, en una extensión aproximada de 10 hectáreas (R., 1921).

#### A) CLIMA

El clima es el conjunto de variables meteorológicas que ocurren en el tiempo. Estas presentan comportamientos distintos en el espacio en función del tiempo, que son controlados por el sol y que define las particularidades del clima de una determinada zona.

Las principales variables que determinan el comportamiento térmico son: la latitud, que define un clima más frío hacia el sur con respecto al norte (por la proximidad al Ecuador); la longitud, que define un clima más frío al oeste con respecto al este, por la influencia de las corrientes de aire de origen amazónico y la región fría, por la conocida propiedad de la tropósfera (y en el caso particular de la ciudad de Puno), por el efecto termorregulador del Lago Titicaca.

La ciudad de Puno se encuentra sobre los 3 810 m.s.n.m. Sin embargo, no presenta un clima extremadamente frío (debido al efecto termorregulador del lago Titicaca), ni tampoco una amplitud de variación de la temperatura; esto se debe a la ubicación del territorio con respecto a su posición geográfica, así como, a la pequeña magnitud del territorio en

estudio. Se han identificado tres (03) tipos de clima en el área del proyecto:

Clima Frío Húmedo (Circunlacustre): Conocido como el clima característico en los alrededores del Lago Titicaca, en los 3 800 m.s.n.m. aproximadamente. Se caracteriza por presentar rangos de temperatura no muy variables debido al efecto termorregulador del lago (12°C). La precipitación promedio anual es de 790 mm.

Clima Frío o Boreal Húmedo (Climásico, invierno austral seco): Conocido como clima de montaña mesoandina o de sierra media, es el clima característico del área del proyecto, domina el piso altitudinal entre 3100 a 4000 m.s.n.m. Se caracteriza por temperaturas medias anuales que varían de 8° C a 12° C y por precipitaciones entre 600 y 800 mm, con el rango alto hacia los sectores orientales.

Clima Frígido Húmedo (Páramo): Domina el piso ecológico de páramo, entre 4000 y menos de 5000 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales menores de 8° C y precipitaciones entre 700 y un poco más de 1000 mm.

### ***Descripción de Parámetros Climatológicos***

#### **B) PRECIPITACIÓN**

El régimen de precipitaciones en Puno está influenciado por las condiciones ambientales, entre ellos la latitud, altitud, las condiciones orográficas y las distancias de la zona con respecto al lago Titicaca.

La precipitación analizada proviene de la información histórica de estaciones a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se recopiló información de 4 estaciones, ubicadas dentro y cerca de la zona de estudio, las cuales se detallan en CUADRO 2

CUADRO 4

RELACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

ESTACIONES METEOROLÓGICAS							
	Estación	Ubicación					
		Geográfica			Política		
		Longitud	Latitud	Altitud msnm	Departamento	Provincia	Distrito
1	Puno	70° 00´	15° 49´	3860	Puno	Puno	Capachica
2	Juliaca	70° 10´	15° 28´	4350	Puno	San Román	Juliaca
3	Azángaro	70° 11´	14° 54´	3863	Puno	Azángaro	Azángaro
4	Lampa	70° 22´	15° 21´	3910	Puno	Lampa	Lampa

Fuente: SENAMHI.

Las precipitaciones anuales de las estaciones tomadas en cuenta para el presente estudio ascienden a: 793.3 mm (Puno), 660.3 mm (Juliaca), 626.7 mm (Azángaro) y 719.2 mm (Lampa). La desviación estándar para cada estación es: 166.8 mm (Puno), 208.9 mm (Juliaca), 170.6 mm (Azángaro) y 123.2 mm (Lampa).

CUADRO 5

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Puno	193.5	165.1	135.0	56.6	8.4	7.9	4.0	15.8	28.2	49.4	44.6	84.8	793.3
Juliaca	153.8	92.4	93.2	53.9	12.1	21.8	8.3	11.1	18.1	45.3	65.3	85.0	660.3
Azángaro	141.3	95.1	110.2	28.2	8.0	2.7	2.1	9.5	17	58.8	65.2	88.6	626.7
Lampa	172.7	136.1	122.2	47.2	7.4	2.2	2.5	7.3	21.0	45.1	51.9	103.6	719.2

Fuente: SENAMHI

En los siguientes cuadros, se muestran los datos y la distribución temporal de las precipitaciones mensuales de las estaciones Puno, Juliaca, Azángaro y Lampa. Como podrá observarse en el Gráfico correspondiente que reúne la información de las cuatro estaciones, existe homogeneidad en la variación temporal de las estaciones. A lo largo del año se presenta principalmente dos períodos claramente marcados: uno de “abundante” precipitación, que ocurre entre los meses de enero a marzo y; otro período de “escasa” precipitación, que ocurre en los meses de junio a agosto; en los meses restantes se observa una transición, es decir, de máximas a mínimas (abril a mayo) y de mínimas a máximas (setiembre a diciembre).

CUADRO 6

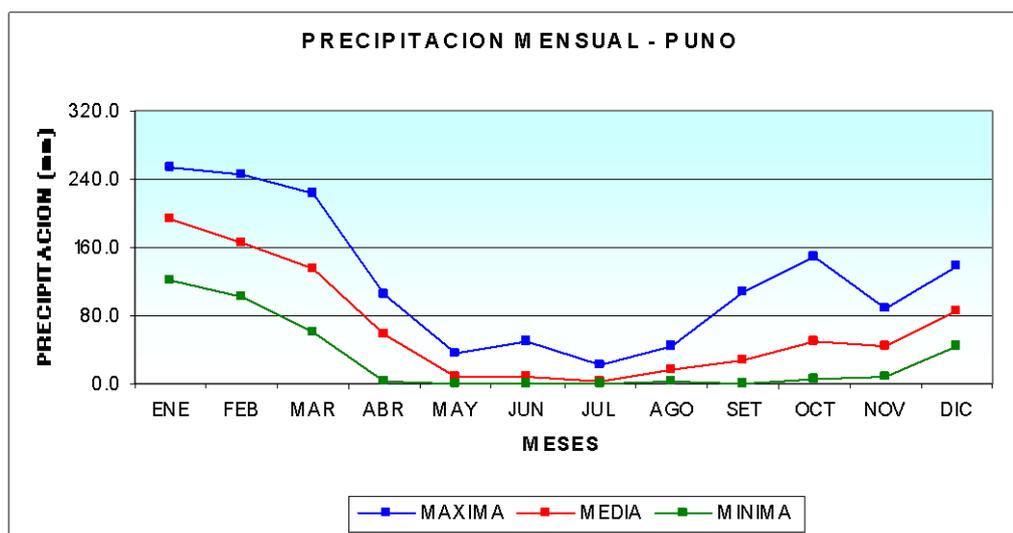
## PRECIPITACIÓN TOTAL Y ANUAL ESTACIÓN PUNO.

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1995	122.7	102.8	124.0	2.1	4.1	0.0	0.0	3.0	21.9	15.3	51.4	80.2	527.5
1996	252.7	130.5	60.8	76.3	0.0	0.0	2.9	12.8	0.8	10.4	88.3	118.0	753.5
1997	239.6	213.2	98.6	88.6	1.0	0.0	0.0	21.9	108.3	30.1	62.9	44.9	909.1
1998	196.4	115.5	135.3	25.4	0.0	49.0	0.0	4.3	4.5	26.9	43.9	56.0	657.2
1999	193.1	244.8	202.0	86.0	7.5	0.0	0.0	1.9	16.1	150.3	32.0	68.4	1002.1
2000	167.1	210.0	105.1	40.3	0.4	2.3	4.2	17.9	14.6	95.8	13.9	69.0	740.6
2001	250.8	214.6	224.1	69.8	12.2	2.2	0.0	12.5	27.1	68.4	56.2	81.0	1018.9
2002	129.6	180.0	170.6	105.3	15.4	21.1	22.7	30.6	11.6	65.9	43.8	139.2	935.8
2003	174.5	114.4	114.4	43.1	36.7	4.8	0.2	9.6	42.9	25.4	8.6	131.8	706.4
2004	208.9	125.2	115.5	29.2	6.2	0.0	10.2	43.0	34.3	5.6	44.6	59.1	681.8
MÁXIMA	252.7	244.8	224.1	105.3	36.7	49.0	22.7	43.0	108.3	150.3	88.3	139.2	1018.9
MEDIA	193.5	165.1	135.0	56.6	8.4	7.9	4.0	15.8	28.2	49.4	44.6	84.8	793.3
MÍNIMA	122.7	102.8	60.8	2.1	0.0	0.0	0.0	1.9	0.8	5.6	8.6	44.9	527.5
D. STD.	46.3	52.8	49.8	33.3	11.3	15.8	7.3	13.1	31.0	46.0	23.2	33.2	163.9

Fuente: SENAMHI

FIGURA 1

PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTACIÓN PUNO



Elaboración: GEMA

CUADRO 7

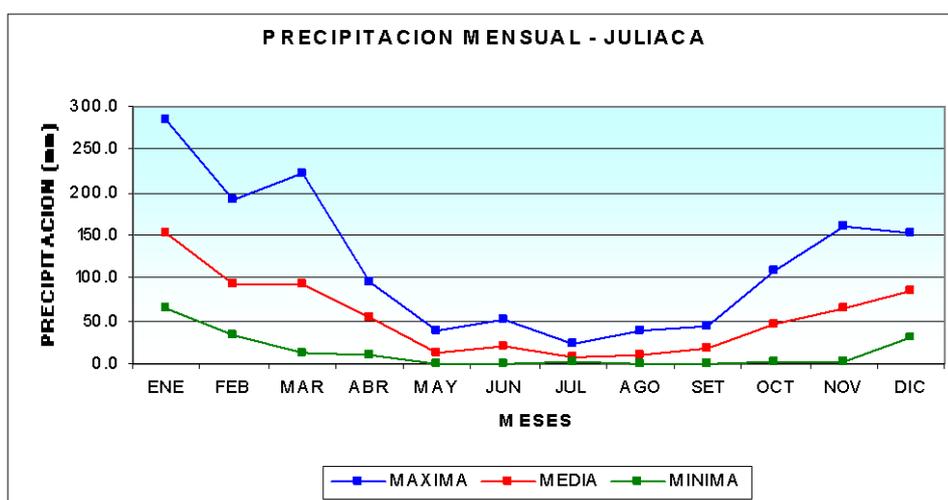
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL Y ANUAL ESTACIÓN JULIACA.

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	TOTAL ANUAL
1984	284.8	189.6	106.1	77.1	19.8	20.8	4.0	15.5	1.0	109.7	117.2	90.4	1036.0
1985	70.4	190.7	49.9	79.4	12.6	33.4	8.3	2.3	43.5	59.4	159.5	152.3	861.7
1986	127.6	144.7	112.7	96.8	3.0	0.0	3.3	7.5	44.8	2.9	17.4	132.4	693.1
1987	208.4	33.4	64.2	11.2	0.0	6.3	23.6	6.4	4.7	37.8	86.2	30.8	513.0
1988	195.0	48.9	174.5	86.8	40.0	21.8	8.3	0.0	18.1	33.0	1.5	80.0	707.9
1989	183.4	99.3	83.3	30.8	12.1	4.4	8.3	4.0	2.5	13.0	14.0	58.8	513.9
1990	110.8	35.0	20.5	25.4	7.0	36.5	8.3	7.0	12.0	41.4	60.6	88.1	452.6
1991	107.2	47.8	86.6	46.5	13.0	51.0	4.0	1.0	20.5	26.5	36.5	55.7	496.3
1992	64.1	80.8	12.0	30.5	12.1	21.8	6.5	39.6	18.1	58.0	47.2	72.0	462.7
1993	185.8	53.8	222.2	54.5	1.5	21.8	8.3	28.0	16.0	71.0	113.0	89.5	865.4
MÁXIMA	284.8	190.7	222.2	96.8	40.0	51.0	23.6	39.6	44.8	109.7	159.5	152.3	1036.0
MEDIA	153.8	92.4	93.2	53.9	12.1	21.8	8.3	11.1	18.1	45.3	65.3	85.0	660.3
MÍNIMA	64.1	33.4	12.0	11.2	0.0	0.0	3.3	0.0	1.0	2.9	1.5	30.8	452.6
D. STD.	69.5	61.6	65.4	29.6	11.6	15.7	5.8	13.0	15.4	30.9	52.1	35.8	205.3

Fuente: SENAMHI.

FIGURA 2

PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTACIÓN JULIACA



Elaboración: GEMA.

CUADRO 8

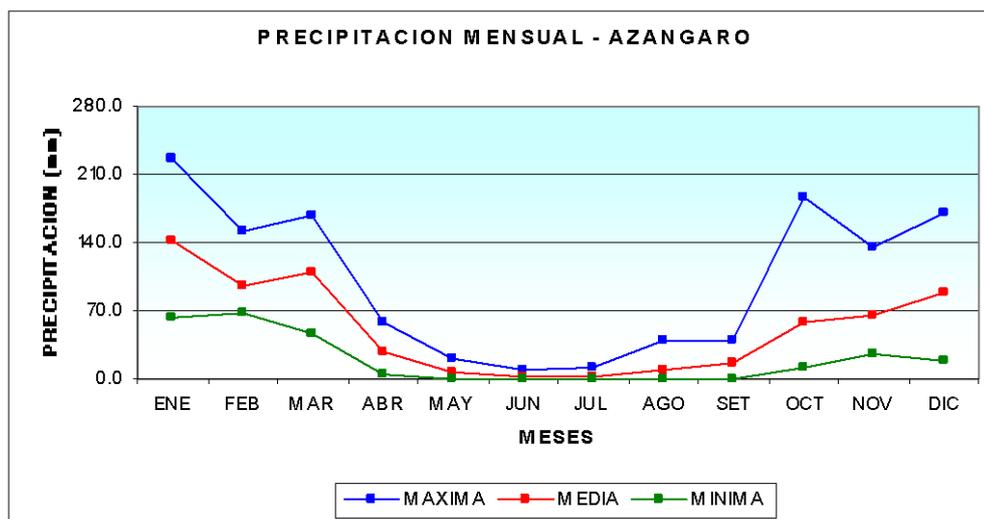
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL Y ANUAL ESTACIÓN AZÁNGARO

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	TOTAL ANUAL
1995	62.3	78.0	97.8	4.6	0.2	0.0	0.0	0.6	5.1	33.1	90.0	88.4	460.1
1996	142.5	67.9	121.9	15.7	15.0	0.3	2.0	3.1	11.2	35.2	59.5	64.0	538.3
1997	150.4	151.3	139.1	30.1	7.8	0.0	0.0	13.1	32.1	36.9	134.6	100.5	795.9
1998	95.0	71.4	77.2	24.6	0.0	10.5	0.0	0.0	11.0	58.0	76.3	17.6	441.6
1999	99.8	68.0	134.6	52.0	3.5	1.0	0.0	0.5	30.6	69.3	31.8	23.2	514.3
2000	132.4	114.0	51.3	8.4	2.9	7.9	0.5	38.8	0.7	79.8	25.6	65.3	527.6
2001	195.4	94.8	168.0	15.9	19.9	0.0	4.4	8.0	16.6	44.9	42.5	166.6	777.0
2002	157.4	116.4	155.4	49.1	10.3	1.9	10.8	9.0	15.0	187.3	87.1	170.6	970.3
2003	149.9	95.3	109.1	58.9	4.7	5.7	0.6	5.0	7.8	32.9	42.4	118.2	630.5
2004	227.4	93.9	47.7	22.8	15.9	0.0	2.8	16.5	39.6	11.0	62.6	71.5	611.7
MÁXIMA	227.4	151.3	168.0	58.9	19.9	10.5	10.8	38.8	39.6	187.3	134.6	170.6	970.3
MEDIA	141.3	95.1	110.2	28.2	8.0	2.7	2.1	9.5	17.0	58.8	65.2	88.6	626.7
MÍNIMA	62.3	67.9	47.7	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	11.0	25.6	17.6	441.6
D. STD.	48.2	26.5	41.6	19.0	7.0	3.9	3.4	11.7	12.9	49.3	33.0	52.3	170.6

Fuente: SENAMHI.

FIGURA 3

PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTACIÓN AZÁNGARO



Elaboración: GEMA.

CUADRO 9

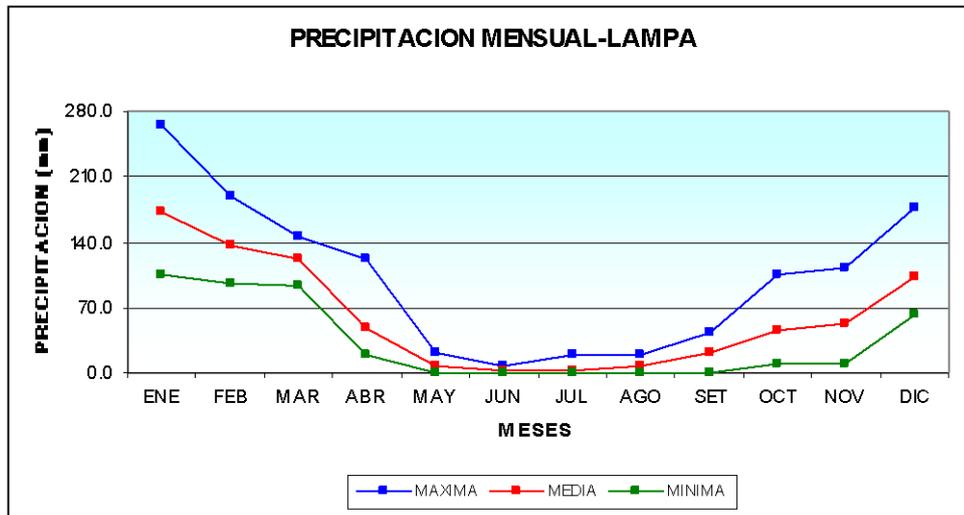
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL Y ANUAL ESTACIÓN LAMPA

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	TOTAL ANUAL
1995	107.8	94.9	94.2	23.7	0.8	0.0	0.0	5.8	19.7	18.7	55.3	61.8	482.7
1996	196.0	100.6	108.4	23.6	16.5	0.0	1.8	2.5	22.1	13.5	74.1	149.3	708.4
1997	149.4	177.8	147.1	68.9	3.9	0.0	0.0	19.0	42.9	39.9	113.2	95.6	857.7
1998	105.0	154.4	104.0	25.8	0.0	2.0	0.0	0.0	0.2	44.9	69.9	68.4	574.6
1999	152.7	97.8	143.4	123.0	5.3	1.8	0.0	0.8	32.7	105.5	17.6	63.5	744.1
2000	173.7	116.5	130.3	52.7	7.1	6.2	0.	7.4	14.5	57.1	9.9	114.2	689.6
2001	249.7	188.3	114.6	29.5	10.6	2.9	2.2	8.1	4.0	57.5	46.1	73.7	787.2
2002	121.3	150.7	139.4	67.6	21.7	4.0	18.7	9.1	16.4	83.3	92.6	177.4	902.2
2003	204.3	136.2	139.1	18.3	5.2	3.2	0.0	1.5	30.9	9.1	23.7	132.1	703.6
2004	266.6	144.1	101.0	38.9	3.3	2.0	2.3	19.2	26.5	21.6	16.8	100.0	742.3
MÁXIMA	266.6	188.3	147.1	123.0	21.7	6.2	18.7	19.2	42.9	105.5	113.2	177.4	902.2
MEDIA	172.7	136.1	122.2	47.2	7.4	2.2	2.5	7.3	21.0	45.1	51.9	103.6	719.2
MÍNIMA	105.0	94.9	94.2	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	9.1	9.9	61.8	482.7
D. STD.	56.4	33.1	19.8	32.4	6.9	2.0	5.8	7.0	13.0	31.6	35.3	39.5	123.2

Fuente: SENAMHI.

FIGURA 4

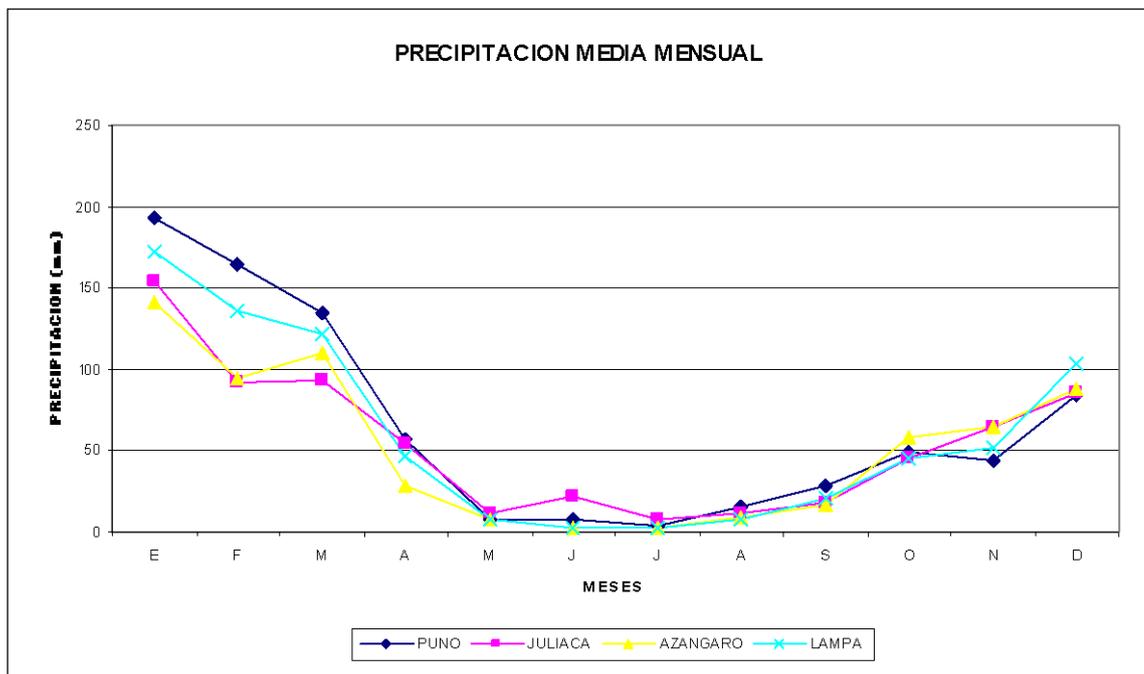
PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTACIÓN LAMPA



Elaboración: GEMA.

FIGURA 5

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL



Elaboración: GEMA.

Para el análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas se ha tomado en cuenta a las estaciones Puno, Juliaca, Azángaro y Lampa. El resultado de este análisis se presenta en las Tablas 8, 9,10 y 11, que corresponden a las estaciones mencionadas anteriormente.

En cada una de ellas se ha analizado estadísticamente la ocurrencia de las precipitaciones máximas en 24 horas, las mismas que fueron ajustadas a la Distribución Extrema Tipo I (Gumbel Tipo I), lo que ha permitido obtener las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno (5, 10, 50 y 100 años).

CUADRO 10

## PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS ESTACIÓN PUNO

Período de Retorno (Años)	Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)
5	40.01
10	43.38
50	50.80
100	53.94

Fuente: SENAMHI.

CUADRO 11

## PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS ESTACIÓN JULIACA

Período de Retorno (Años)	Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)
5	52.42
10	62.93
50	86.06
100	95.83

Fuente: SENAMHI.

CUADRO 12

## PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS ESTACIÓN AZÁNGARO

Período de Retorno (Años)	Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)
5	51.62
10	62.16
50	85.77
100	95.18

Fuente: SENAMHI.

CUADRO 13

## PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS ESTACIÓN LAMPA

Período de Retorno (Años)	Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)
5	39.36
10	42.64
50	49.87
100	52.93

Fuente: SENAMHI.

Asimismo, se sabe que la evaporación, de manera general en Puno es relativamente alta, la misma que se ve influenciada por varios factores concurrentes como el aire seco, los vientos, la temperatura máxima durante el día y la radiación alta que caracteriza al altiplano peruano.

Los valores máximos de la evaporación media, se producen en el periodo setiembre-diciembre, con un promedio mensual de 200,20 mm/mes. En el periodo enero-abril se producen los valores medios con 157,02 mm/mes; mientras los valores mínimos son registrados en el periodo mayo-agosto con 145,60 mm/mes.

Los siguientes Cuadros muestran los datos de la precipitación total promedio de 10 años para la estación Puno (1995-2004) perteneciente al distrito de Capachica, estación Juliaca (1984-1993) del distrito de Juliaca, estación Azángaro (1995-2004) ubicada en el distrito de Azángaro y la estación Lampa (1995-2004) del distrito de Lampa, según SENAMHI.

CUADRO 14

## PRECIPITACIÓN TOTAL PROMEDIO 10 AÑOS ESTACIÓN PUNO

Promedio de 10 años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
	193,5	165,1	135,0	56,6	8,4	7,9	4,0	15,8	28,2	49,4	44,6	84,76
Promedio en la época de secano (Abril – Diciembre)					33,3	Máximo		84,8	Mínimo		4,0	
Promedio en la época de lluvias (Enero – Marzo)					164,5	Máximo		193,5	Mínimo		135,0	

Fuente: SENAMHI.

**C) TEMPERATURA**

Se ha recopilado información de datos de temperatura de la estación Juliaca Sinóptica, que se encuentra ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Ramón, región Puno, con las coordenadas UTM 8 289 686 N y 374 813 E a una altitud de 3824 m.s.n.m.

En el CUADRO 13 se muestra la información de temperatura correspondiente.

CUADRO 15

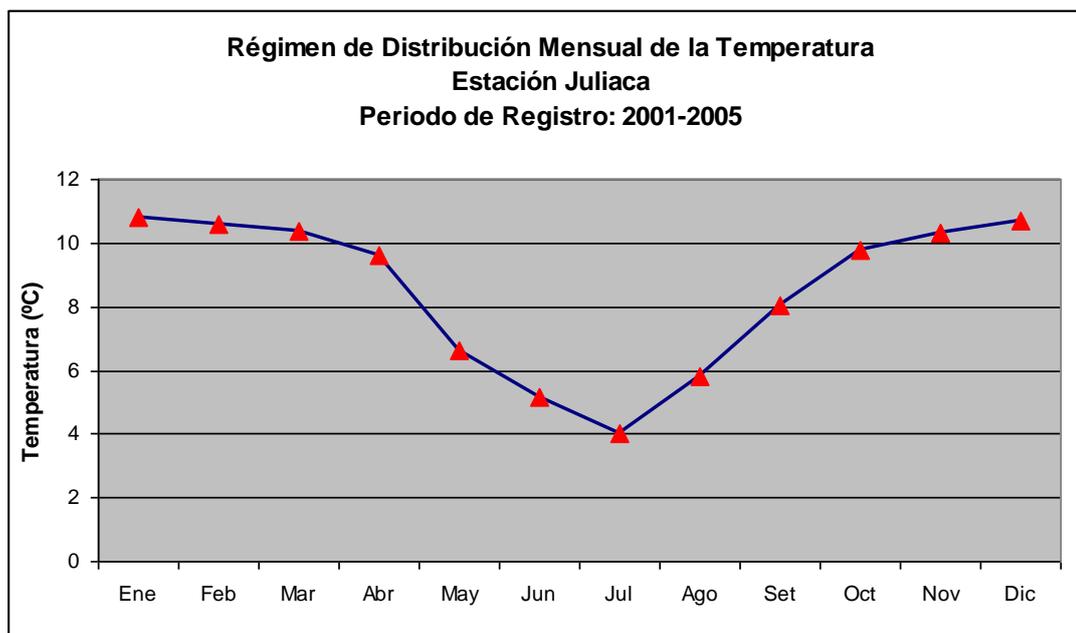
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTACIÓN JULIACA

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2001	10.45	10.95	10.55	10.25	7.6	6.6	5.95	6.55	9.1	10.8	11.35	11.2
2002	11.8	11	10.85	10.95	7.4	7.6	3.05	6.9	9.35	10.75	9.95	10.35
2003	10.45	10.75	10.15	8.2	7	5.3	3.9	4	5.1	7.15	10.05	10.2
2004	10.65	10.25	10.4	9.15	5.2	3.25	3.05	5.6	9.1	9.4	10.1	11
2005	10.6	10	10	9.45	5.8	3.15	4.25	5.9	7.65	10.65	10	10.65

Fuente: Anuario Estadístico Perú en Números, 2006.

FIGURA 6

COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DE LA ESTACIÓN JULIACA



Fuente: Anuario Estadístico Perú en Número 2006.

**D) NUBOSIDAD**

La nubosidad presenta marcada fluctuación en el tiempo; la misma que puede diferenciarse en los periodos diciembre-marzo y abril-noviembre.

En el periodo diciembre-marzo, se presentan los mayores valores promedio de nubosidad (medida en octavos) y corresponden también a los mayores valores de precipitación mensual. Similarmente en el periodo abril-noviembre en que la precipitación mensual es menor, los valores de nubosidad mensual también son mínimos; reflejándose así la relación directa de las precipitaciones con la nubosidad.

### **E) VIENTOS**

El conocimiento de la intensidad, dirección y comportamiento de los vientos, tiene particular importancia climatológica, considerando su influencia sobre las fluctuaciones de ciertas variables climatológicas como la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones, la evaporación y la nubosidad, entre las principales.

En el área del proyecto se ha establecido que el comportamiento de los vientos es heterogéneo, tanto en magnitud como en la dirección, cuyas velocidades no sobrepasan los 15 m/s con cierta predominancia de dirección este-oeste durante las tardes; pero durante las noches esta predominancia es oeste-este u oeste-noroeste.

### **F) CALIDAD DEL AIRE**

Para conocer la calidad de aire se han identificado dos puntos de muestreo, uno a 10 km de la planta de Cemento Rumi en Juliaca y otro, a 200 m de Pronaa Pirín en Huancané. Las muestras han sido tomadas por el laboratorio Environmental Quality Analytical Services S.A. (EQUAS).

En ambos puntos se tomaron muestras de partículas en suspensión, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono. En el CUADRO 14 se muestra la ubicación exacta de los puntos de muestreo y en el CUADRO 15 se indican los resultados de las muestras tomadas.

CUADRO 16

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AIRE

Código Est. Monitoreo	Descripción del Punto de Muestreo	Coordenadas UTM-Zona 18 Datum WGS'84
EA-1	A 10 km de la planta de Cemento Rumi (Juliaca)	8 268 904 N 384 269 E 3829 msnm
EA-2	A 200 m de Pronaa Pirín (Huancané)	8 297 860 N 396 865 E 3933 msnm

Fuente: SENAMHI.

CUADRO 17

RESULTADOS DE MUESTRAS

Código Est.	Lugar de referencia	Partículas suspensión en ug/m3 PM10 ug/m3 (24 h)	ug/m3			CO mg/m3 (8 h)
			Nox (24 h)	SO2 (24 h)	H2S (1 h)	
EA-1	A 10 km de la planta de Cemento Rumi (Juliaca)	26	21	49	3,8	1,2
EA-2	A 200 m de Pronaa Pirín (Huancané)	9	17	27	10,1	1,8

Fuente: SENAMHI.

### **Partículas En Suspensión Menores A 10 Micras (PM10)**

El CUADRO 15 muestra la concentración de partículas en suspensión menores a 10 micras (PM10) como promedio de 24 horas. Las concentraciones que se reportaron muestran un aire limpio con niveles por debajo del estándar de la norma peruana. La estación EA-1 ubicada cerca de la planta de Cemento Rumi presentó la mayor concentración (26 ug/m<sup>3</sup>), principalmente por el tránsito vehicular de la zona y las actividades productivas que se registran. Por otro lado, la estación EA-2 registró 9 ug/m<sup>3</sup> de partículas en suspensión, lo que se considera un valor bajo.

### **Óxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

La concentración de óxido de nitrógeno (Nox) medida se encontró entre 17 y 21 ug/m<sup>3</sup>. Las concentraciones están muy por debajo de los estándares de calidad.

### **Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

En la estación EA-1 se registró una concentración de 49 ug/m<sup>3</sup>, mientras que en la estación EA-2 un valor de 27 ug/m<sup>3</sup>. Las concentraciones medidas se

### **Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)**

La concentración de sulfuro de hidrógeno en la estación EA-1 fue de 3,8 ug/m<sup>3</sup>, mientras que en la estación EA-2 fue de 10,1 ug/m<sup>3</sup>. No se han

encontrado estándares nacionales de calidad ambiental del aire para este parámetro.

### **Monóxido de Carbono (CO)**

La concentración de monóxido de carbono medida se encontró entre 1,2 y 1,8 mg/m<sup>3</sup>; estos valores están muy por debajo de las concentraciones máximas aceptables de 30 mg/m<sup>3</sup>/1 h y 10 mg/m<sup>3</sup>/8 h, establecidas en los estándares utilizados (GEMA, 1994).

### **2.2.2. GEOLOGÍA**

El presente capítulo trata los principales aspectos geológicos que caracterizan el área de estudio, los cuales resultan de especial interés ambiental en vista de que la empresa petrolera SIBOIL tiene programado efectuar trabajos de sísmica 2D y perforación de 13 pozos exploratorios; lo que implicará remociones, excavaciones y, en general, intervenciones y modificaciones del medio geológico.

En tal sentido, la evaluación plantea el reconocimiento de las unidades formacionales del área, especialmente en lo referente a sus características litológicas, texturales y estructurales y, sus potencialidades de uso, así como su desarrollo geohistórico.

El capítulo se desarrolla sobre la base de la información publicada por el INGEMMET en su boletín "Levantamiento Geológico Integrado del Sur del Perú" publicado a la escala 1:100 000; los estudios de ONERN "Programa de

Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales del Departamento de Puno – Sector de Prioridad 1” e “Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Micro Región Puno”; así como la interpretación realizada por GEMA, de imágenes de satélite Landsat 7 TM de alta resolución (INGEMMET, 2014).

El área de estudio se encuentra emplazado entre 3 900 y 4 500 m.s.n.m., comprendiendo un territorio montañoso y de altiplanicies, el mismo que se caracteriza por su desarrollo geohistórico, estructuras, altitud y litología. El relieve, se encuentra conformado por una secuencia rocosa muy variada, que presenta complejas estructuras plegadas y falladas de rumbo esencialmente andino

### **2.2.3. ESTRATIGRAFÍA**

En el presente acápite se presenta una breve descripción de la columna geológica de la zona evaluada, la cual se halla integrada por rocas sedimentarias y volcánicas de origen marino o continental, cuyas edades van del Paleozoico Inferior al Cuaternario reciente (Holoceno). La intensa deformación que ha sufrido la secuencia sedimentaria, por plegamiento, fallamiento y acción mecánica de los intrusivos, dificulta la medición del espesor de la columna; sin embargo, se estima, que ésta alcanza los 19 000 metros, considerando sólo las unidades formacionales que afloran.

Las rocas más antiguas reconocidas en la región corresponden a las pizarras de la Formación Calapuja, sobre las cuales suprayacen las capas arcillo arenosas del Grupo Cabanillas y sobre ellas se acumulan los sedimentos de la Formación Lampa y Grupo Ambo, siguiendo consecutivamente el Grupo Iscay

y la Formación Moho que descansan en discordancia erosional; posteriormente se acumulan las capas arcillo calcáreas de la Formación Lagunillas y Ayabacas y; luego, culminando la secuencia rocosa, se asientan los clásticos finos y gruesos de los Grupos Puno y Maure, así como los volcánicos Tacaza. Un manto discontinuo de materiales poco o nada consolidados de naturaleza glacial, coluvial y aluvial constituyen los depósitos más recientes.

A continuación, se detallan los aspectos litológicos, estructurales y morfológicos más resaltantes de cada una de las unidades geológicas observadas, siguiendo el orden del más antiguo al más reciente:

#### ***Formación Calapuja: (Os-ca)***

En su sección superior, consiste de una potente secuencia de lutitas arenosas, con algunas intercalaciones gruesas de cuarcitas masivas, blancas y a veces rojizas; las areniscas cuarcíferas son los rasgos más llamativos de esta secuencia, ocurriendo como capas de 50 a 100 metros de espesor y tienen forma de lentes. Hacia abajo, se presentan limolitas poco estratificadas y muy alteradas, conteniendo nódulos con trilobites. En la base de la formación, ocurren lutitas grises con delgadas intercalaciones de areniscas y numerosas concreciones dolomíticas con pelecípodos. Su ambiente deposicional corresponde a un mar somero.

Morfológicamente es una unidad conspicua, que sobresale en el terreno como espinazas debido a la competencia de las capas cuarcíferas. Sus mejores y más amplias exposiciones ocurren en la localidad del mismo nombre, donde sus capas presentan una dirección dominante Noroeste-Sureste con

buzamientos al Suroeste. La edad de esta formación se asigna al Ordoviciano superior, estimándose su espesor en más de 3 200 m. También aflora en la localidad de Nicasio, donde la orientación de sus capas ha perdido configuración.

### ***Grupo Cabanillas: (SD-ca)***

Este grupo consiste de una gruesa secuencia de lutitas fisibles de color pardo a gris oscuro, intercaladas con limolitas y areniscas grises o verdosas de grano fino, que cuando se intemperizan adquieren un color marrón amarillento. En su sección intermedia, ocurren paquetes de pizarras negras muy duras y competentes. En general, el grupo se presenta en capas delgadas, con buzamientos desde moderados hasta casi verticales. Por su litología mayormente blanda, estas capas conforman una dominante morfología suave y monótona, salvo en las áreas donde afloran las pizarras que por su dureza dan lugar a acantilados verticales.

Por su contenido fosilífero, se considera que la edad de este grupo corresponde al devoniano medio a superior, pero algunos autores la consideran más antigua, hasta el siluriano superior. Se estima que su espesor alcanza los 1200 m. Sus afloramientos pueden ser distinguidos ampliamente al oeste del área de estudio.

### ***Formación Lampa: (Ds-la)***

Esta unidad consiste de areniscas y limolitas. Las areniscas son cuarcíferas con estratificación gradada, que ocurren en capas de 12 a 60 cm de grosor, o con laminación paralela, siendo posible observar en algunos sectores una

visible estratificación cruzada. Las limolitas se caracterizan por su laminación fina paralela.

Por sus fósiles la edad de la formación es considerada en el Devoniano superior; alcanzando su espesor los 1 200 m. Afloramientos característicos ocurren al noroeste del área de estudio, en las cercanías de la localidad homónima.

### ***Grupo Ambo: (Ci-a)***

Este grupo es de ambiente continental. Consiste de una alternancia de lutitas grises a negras a veces carbonosas, con areniscas grises o marrones de grano fino y cuarcitas grises compactas, en capas medianas o gruesas. Presenta una topografía abrupta con escarpas pronunciadas, las que resaltan sobre el grupo subyacente.

Tomando en cuenta sus fósiles, la edad del grupo se asigna al Carbonífero inferior o Misisipiano. Su espesor es variable, pero se considera que llega a los 450 m. Sus afloramientos en el área de estudio son reducidos, ocurriendo sólo en las inmediaciones de Lampa.

### ***Grupo Mitu: (Ps-m)***

Este grupo tiene distribución regional y consiste de una serie de areniscas, conglomerados y lutitas de tonos rojizos depositados en ambiente continental, con intercalaciones de piroclastos y otros derrames volcánicos de tonos verdosos a marrón rojizos. Ocurren en paquetes alargados de dirección NO-SE

y N-S, sobreyaciendo discordantemente a las unidades anteriores. El ambiente deposicional fue continental.

Por su posición estratigráfica se le atribuye una edad Pérmica superior; su espesor en el área se estima entre 1 000 y 1 500 m. Sus afloramientos más característicos se hallan en las inmediaciones de la localidad de Lampa, donde a pesar del fallamiento intenso integra estructuras de rumbo NO-SE.

### ***Grupo Iscay: (Ps-is)***

Este grupo presenta dos litologías principales: una secuencia inferior de flujos de lava y una unidad superior tobácea. Las lavas son de composición andesíticas y traquiandesíticas de coloraciones verdes a violáceas; en tanto, que las tobas son de composición ácida y se hallan finamente estratificadas, presentando un aspecto lajoso en los afloramientos.

Por su ubicación estratigráfica se le considera depositada en el Permiano superior. Sus afloramientos más característicos ocurren en el cerro Iscay Pucará en las cercanías de la ciudad de Juliaca, donde forman el flanco oeste de un sinclinal de rumbo NO-SE.

### ***Grupo Lagunillas: (JsKi-la)***

Este grupo presenta en la base calizas cubiertas por lutitas negras, piritosas, con calizas delgadas intercaladas cerca al tope y, finalmente areniscas cuarzosas con estratificación de corriente e intercalaciones de limolitas rojas. La base del grupo no ha sido observada, pero es posible que descansa sobre rocas paleozoicas.

Sus afloramientos son mayormente pequeños y ocurren preferentemente al suroeste del área de estudio, donde su potencia máxima es de unos 100 metros. Su edad va del Jurásico superior al Cretáceo inferior

#### ***Formación Sipín: (Ki-si)***

Consiste principalmente de calizas grises, limolitas y lutitas rojas; también ocurren areniscas calcáreas y areniscas cuarzosas de grano grueso. La proporción de caliza es variable, siendo menor al NO de Pirín. Las calizas se hallan débilmente estratificadas y con frecuencia, cada capa está brechada en su interior.

Su mejor afloramiento ocurre en el cerro del mismo nombre, al SO de la localidad de Pusi, donde presenta un espesor de 30 metros. Su edad se asigna al Cretáceo inferior.

#### ***Formación Ayabacas: (Ki-ay)***

Esta formación se halla constituida esencialmente por calizas masivas de color gris, con numerosas oquedades tabulares, a veces rellenas con caliza arcillosa; algunas capas consisten de calizas brechoides con intercalaciones de lutitas limolíticas. Localmente contienen nódulos y lentes de chert negro. También ocurren capas de areniscas de grano fino y de color rojo ladrillo oscuro. En general las capas intemperizan con una superficie muy áspera.

En el área de estudio, sus afloramientos ocurren en forma discontinua en la zona sur. Su espesor es estimado entre 200 y 300 metros y su edad es ubicada en el Cretáceo inferior.

***Formación Huancané: (Ki-h)***

Consiste de areniscas rosadas, masivas, localmente cuarcíferas y feldespáticas con pequeños horizontes de lutitas y a veces conglomerados violáceo conformando delgados y sucesivos paquetes de sinclinales y anticlinales invertidos. Se le considera de ambiente de deposición subcontinental a continental. Sus afloramientos más característicos se hallan en la localidad homónima, comprendida por el presente estudio, donde alcanza un espesor de 500 m, aunque a veces se le encuentra fallada y cubierta por depósitos recientes. Su edad es asignada al Cretáceo inferior.

***Formación Moho: (Km-m)***

Consiste de una secuencia de lutitas y areniscas con intercalaciones de cuarcitas y calizas marinas en la base. Las lutitas son silíceas, grises a rojizas, en tanto que las areniscas son compactas de grano medio y redondeado, con estratificación en bancos. La caliza es una unidad simple, constituyéndose en una capa guía persistente de 0.6 a 100 metros de grosor en la base de la formación; siendo conocida como "Caliza Huatasane". En el área presenta regular distribución en la zona del Sinclinorio de Putina, en especial en Moho. En conjunto, este grupo de ambiente marino litoral alcanza un espesor de 800 m.

***Formación Cotacucho: (Kms-c)***

Consiste de una secuencia de areniscas masivas rosadas a rojizas y lutitas rojas yesíferas que sobreyacen discordantemente a las unidades anteriores. Se le encuentra, asimismo, fallada en bloques y muy disectada. Conformar parte

del Sinclinorio de Putina, por lo que sus capas presentan una orientación NO-SE.

En el área de estudio, esta formación ocurre al Norte de Huancané, donde su espesor alcanza los 1 000 m. Se le asigna una edad correspondiente la Cretáceo medio a superior.

#### ***Formación Vilquechico: (Ks-v)***

Consiste de una secuencia de lutitas silíceas de coloraciones grises, rojas, verde olivo y negras, que se suceden en delgados horizontes en los pliegues del sinclinorio de Putina, subordinadamente ocurren areniscas cuarzosas de grano fino a grueso de colores grises, anaranjados y rosadas. Casi toda la secuencia de lutitas tiene una laminación muy fina, las que intemperizadas se presentan como bloques sub-cuboidales, apreciándose también oquedades tubulares.

Al no contener fósiles en sus estratos, se le asigna una edad cretácica superior. Su espesor es estimado en 700 a 800 m. Sus mejores y más característicos afloramientos ocurren al Norte de la localidad de Huancané.

#### ***Grupo Puno: (Tim-pu)***

El Grupo consiste de areniscas con conglomerados, limolitas subordinadas, calizas y horizontes de tufos. Las areniscas son feldespáticas de color rosado a marrón rojizo, bien clasificadas, masivas a bien estratificadas y de tamaño de grano muy variable. Los conglomerados contienen una variedad de clastos y

presentan algunos horizontes de areniscas. Afloramientos de esta unidad se extienden con una dirección NO-SE, a lo largo de la margen occidental del Lago Titicaca.

La edad de esta secuencia clástica, es asignada al Terciario inferior y medio, siendo posible que comprenda unidades del Cretáceo superior. Cerca de Pirín, la base del Grupo consiste de una secuencia de 500 m de espesor, de brechas, conglomerados y areniscas que contienen abundantes clastos de hasta 20 cm de diámetro.

### ***Grupo Tacaza: (Tm-ta)***

El Grupo consiste de una potente secuencia de andesitas bien estratificadas, lavas de andesitas basálticas y tobas, con una alta proporción de sedimentos fluviales en la parte basal. Cerca de Puno, las andesitas son de color gris pálido, verde, rojizas o moradas. Algunas veces, las tobas son lapillíticas de grano fino a grueso. En ciertas localidades los afloramientos son esencialmente areniscas, de granos muy gruesos y pobremente gradados; existen también capas de conglomerados menores de 1 metro, con clastos subredondeados de andesitas.

La edad de su depósito se estima en el Terciario medio, descansando en discordancia angular sobre el Grupo Puno. Su espesor es calculado entre 1200 y 1500 m. Sus afloramientos ocurren principalmente cerca del límite Sur del área de estudio.

***Grupo Maure: (Ts-ma)***

El Grupo se halla constituido por una secuencia de volcánicos interestratificados y sedimentos lacustres. Los volcánicos consisten en ignimbritas, tobas aéreas, lavas y andesitas basálticas; en tanto que los materiales lacustres consisten de tobas retrabajadas, limolitas, calizas con algunas areniscas, conglomerados y lutitas negras. Las calizas son típicamente de grano muy fino, variando de blancas a gris pálido y a marrón pálido, generalmente laminadas o bien estratificadas.

A la secuencia Maure se le atribuye una edad Terciaria superior y su espesor se estima en 1 300 metros. Presenta una exposición limitada en el área de estudio, ocurriendo sólo en el límite suroeste.

***Volcánicos Barroso: (Ts-vba)***

Esta unidad consiste de tufos y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita, depositados en bancos bien definidos. Característicamente, la roca es una traquita de color gris con fenocristales de sanidina y cristales microscópicos de biotita. En la secuencia los tufos predominan sobre las lavas y, localmente contienen mucho material clástico que imprimen a la roca una textura terrosa. Estos volcánicos constituyen antiguos conos erosionados por acción glacial pleistocénica, cuyas vertientes presentan numerosos taludes escarpados.

Sus relaciones estratigráficas permiten establecer que esta secuencia volcánica es de edad Terciaria superior; su grosor máximo se estima en 1 500

metros. La unidad es de gran extensión regional, pero en el área de estudio presenta exposiciones limitadas al Este de la ciudad de Puno.

### ***Formación Azángaro: (TsQp-az)***

Esta formación característica consiste de depósitos de arcillas y limos grises blanquecinos, laminados, de origen lacustre y que conforman planicies a 3 900 m.s.n.m. La base no está expuesta, empezando la secuencia con una arcilla gris azulada con abundantes fragmentos de plantas. Son depósitos que corresponderían al antiguo gran lago Ballivián de I. Bowman (1914) que cubrió esta región altiplánica al final del Terciario.

Sus materiales afloran típicamente al noroeste de la laguna Arapa y a lo largo del río Azángaro, de donde toma su nombre; su espesor alcanza los 100 m. Por su ubicación estratigráfica su edad es asignada al Plio-Pleistoceno.

### ***Depósitos Aluviales antiguos: (Qp-a)***

Consisten principalmente de arenas bien clasificadas y limos, derivados en parte de los retrabajamientos de depósitos lacustrinos antiguos; localmente, ocurren horizontes de gravas pequeñas a medianas. Aquí se incluyen también a los depósitos lacustrinos relativamente recientes y cuya distinción con los depósitos aluviales es difícil de establecer.

En los principales valles se tiene evidencia de erosión reciente, conformando estos depósitos una serie de terrazas levantadas. La edad de los materiales es asignada al Cuaternario antiguo (Pleistoceno).

### ***Depósitos Aluviales recientes: (Qr-a)***

Consiste de acumulaciones de materiales sueltos o poco consolidados de naturaleza heterogénea y heterométrica. Están conformados por gravas redondeadas envueltas por una matriz areno-limosa, que se depositaron durante el Holoceno. Se presentan en los lechos de los ríos, en las planicies de inundación y en las terrazas bajas.

### ***Rocas Ígneas Intrusivas***

En el área de estudio, este tipo de rocas se hallan representadas por un conjunto de pequeñas intrusiones (stocks), paralelos a las fajas de sobreescorrimento del Mioceno. Son rocas de grano grueso, cuyas clasificaciones petrológicas varían mayoritariamente desde dioritas a granodioritas. También forman parte de esta unidad algunos sistemas de diques y sills de pórfido cuarcífero, así como pequeños cuerpos intrusivos subvolcánicos de andesitas. Los macizos presentan una foliación bastante marcada, debido a la orientación paralela de los cristales minerales que constituyen sus rocas y, un diaclasamiento vertical bien desarrollado que presenta direcciones NO-SE y NE-SO. Asimismo, algunos sectores presentan una alteración intempérica superficial, moderada a intensa, que producen descamación y desintegración gradual granular de las rocas (M., 1910), pero que presentan gran dureza cuando se hallan “frescas”.

Conforman taludes estables, pero por su fisuramiento son proclives a la formación de bloques, los que al caer por acción de la gravedad dan origen a acumulaciones coluviales en las bases de las vertientes.

Las pequeñas y muy esporádicas intrusiones subvolcánicas de andesitas, no han contribuido significativamente a la complejidad estructural de la zona ni a la mineralización.

#### **2.2.4. GEOLOGÍA HISTÓRICA**

La historia geológica de la región es el resultado de la serie de eventos geotectónicos por los cuales ha pasado. Se inicia en el Ordovícico superior con la deposición de las capas arenosas de la Formación Calapuja, en un ambiente marino de poca profundidad, que pasa hacia arriba mediante un hiato, a lutitas marinas de edad siluro-devoniana que constituyen el Grupo Cabanillas. Siguió condiciones marinas de poca profundidad que dan lugar a las areniscas de la Formación Lampa, que forma una gruesa secuencia en el área de Lampa-Cabanillas.

El tectonismo Eohercínico dio lugar a una disconformidad angular entre las rocas del Devónico inferior y los sedimentos deltaicos suprayacentes del Grupo Ambo. Una disconformidad menor entre los sedimentos misisipianos y pérmicos se debe a la tectónica tardihercínica. Durante el Pérmico inferior, una sedimentación de delta dio lugar a los depósitos del Grupo Mitu. La era Paleozoica cerró con un episodio de vulcanismo esencialmente básico, que da lugar al Grupo Iscay.

La era Mesozoica empezó con una sedimentación del Jurásico superior al Cretácico inferior en la denominada cuenca Yura, la que fue rellenada entre otros con sedimentos terrígenos del Grupo Lagunillas.

El límite oriental de la cuenca probablemente fue un bloque paleozoico positivo, ubicado en la región del Lago Titicaca. En el Cretácico inferior a medio, la cuenca Yura fue reemplazada al Este por la cuenca Putina como foco de deposición, la cual continuó hasta el Terciario inferior, cuando se depositan los materiales del Grupo Puno.

En la Cordillera Occidental, el Terciario fue marcado por fases volcánicas que dan lugar a los tufos y derrames lávicos Tacaza y Barroso de gran extensión en la región. En el Mioceno medio se formó en la Cordillera Occidental una cuenca lacustre de poca profundidad donde fue depositado el Grupo Maure. La intercalación de lavas, así como las relaciones estratigráficas, indican que esta cuenca existió hasta el Plioceno.

En la región el ciclo geotectónico Andino empezó a fines del Cretáceo con el advenimiento de la Orogénesis Peruana. En la cuenca Yura se formaron pliegues apretados y volcados, iniciándose una fase de deposición molásica en el área del altiplano, que da lugar al Grupo Puno, como resultado de una epirogénesis y erosión causada por la Orogénesis Incaica, que continuó hasta el Oligoceno.

Durante gran parte del Terciario, la región andina quedó rebajada a una altura bastante modesta (1,800 a 2,000 m.s.n.m.) labrándose durante el Mioceno una superficie de poco relieve conocida como “superficie de erosión Puna”. Es sólo durante el Plioceno, con el inicio del tercer ciclo geotectónico andino, que la región empieza a subir a su nivel actual mediante esfuerzos de carácter epirogénico, que viene acompañado de una intensa denudación y disección del relieve, que destruye la antigua superficie de erosión Puna y da lugar a la

topografía montañosa y depresiones que caracterizan la región. Es durante esta etapa en que los ríos interandinos establecen definitivamente sus cursos, como es el caso de los ríos Lampa y Cabanilla, entre otros.

Durante el pleistoceno se producen a nivel mundial severas oscilaciones climáticas que dan lugar a las extensas y prolongadas fases glaciales, dos de las cuales se reconocen en el país. Estas glaciaciones modelaron directamente los relieves ubicados por encima de los 3,600 m.s.n.m., dejando un paisaje de altiplanicies onduladas, ahora colonizadas por una cobertura vegetal de gramíneas propia de la zona altoandina. En tiempos holocénicos, se deposita una nueva serie de sedimentos constituidos principalmente por materiales aluviales, lacustres y coluviales.

### ***Geología Estructural***

El área de estudio presenta una fuerte disturbación tectónica que se manifiesta principalmente por la ocurrencia de significativos rasgos morfoestructurales, más o menos contrastantes, como son: la Zona de la Depresión Central, de continuidad con el área del Lago Titicaca; el denominado Sinclinorio de Putina y la zona correspondiente a la Cordillera Occidental.

Estos rasgos estructurales, obviamente vienen a ser el resultado de los diferentes procesos tectónicos que afectaron la región, de allí como se puede apreciar en el mapa geológico, la formación de numerosos sistemas de plegamientos y fallamientos, que en cierta manera caracterizan y condicionan la configuración del relieve y modelado del área.

### ***Plegamientos: Sinclinorio de Putina***

Básicamente, los sistemas de pliegues están representados por un conjunto de anticlinales y sinclinales alargados, más o menos sucesivos, desarrollados mayormente en formaciones mesozoicas, cuya máxima expresión lo constituye el “Sinclinorio de Putina”, correspondiente a un paquete sedimentario plegado (Fase tectónica del Eoceno terminal) que se alinea al Este y Noreste del Lago Titicaca, en dirección longitudinal al alineamiento regional Sur andino SE-NO. En este caso, está representado por una sucesión de cerros bajos y colinas de crestas alargadas, que siguen el control estructural regional. Uno de los pliegues sinclinales más resaltantes de este sinclinorio, es el que ocurre al norte de Vilquechico en dirección a Putina.

Otros sistemas de pliegues pueden localizarse asimismo, en la parte central y occidental del área, donde se tiene la configuración de la Cordillera Occidental, que es un sistema orográfico de carácter regional, resultante del plegamiento y levantamiento general andino, que evidencia del mismo modo el nivel de disturbamiento de esta región altiplánica.

### ***Fallas y Sobreescurremientos***

En el área se tiene numerosos sistemas de fallas que afectan mayormente terrenos paleozoicos y mesozoicos, destacando dos sistemas de fallas más o menos definidas. Una de rumbo semejante al alineamiento regional, que viene a ser el de mayor proporción, y el otro, transversal y de corto recorrido, de rumbo S-N a SO-NE, que mayormente conforma sistemas de bloques fallados.

Dentro del segundo, destaca una falla de rumbo S-N que pasa cerca de Huancané.

Asimismo, ocurren algunos sobreescurrecimientos de carácter regional y local que ponen en contacto formaciones jurásico-cretácicas u otras más antiguas, con formaciones mesozoicas más recientes, como las que ocurren al Norte y Sur del área de estudio

### **2.2.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

En esta sección se describe de manera genérica algunos de los recursos minero-energéticos existentes en el área de estudio. Entre los recursos mineros metálicos destacan los yacimientos de cobre, polimetálicos y de tungsteno. Entre los no metálicos, las calizas, arcillas y areniscas. Entre los energéticos, el petróleo; que actualmente está siendo explorado en la región.

#### ***Recursos Minerales Metálicos***

En general, los depósitos polimetálicos son de pequeña magnitud, conformando mayormente vetas y mantos pequeños de blenda, calcopirita, galena argentífera y wolframita, los cuales son objeto de explotación a nivel de pequeña minería.

#### ***Recursos Minerales No Metálicos***

Entre estos recursos se tienen yeso, caliza y sal común, además de materiales de construcción como arenas, gravas y arcillas. La explotación de éstos es muy restringida y orientada a abastecer de ciertos insumos para las necesidades locales. Entre los depósitos más significativos se tiene a las calizas de

Caracoto, explotada para la fabricación de cemento y, la denominada Salina Muni.

### ***Recursos Energéticos***

El recurso energético más importante es el petróleo, cuyo depósito motivo de investigación es el campo de Pirín, que anteriormente produjo pequeñas cantidades de este recurso. Las posibilidades petrolíferas de este campo (ONERN, 1972), estarían limitadas a la parte oriental del sobreescurreimiento de Pirín. Actualmente, este campo va a ser evaluado por la empresa SIBOIL mediante sísmica 2D y perforación de trece (13) pozos exploratorios

### **2.2.6. GEOMORFOLOGÍA**

El presente capítulo trata el origen y características de las diferentes formas de relieve que ocurren en el área de estudio y los procesos morfodinámicos que actualmente lo afectan. El conocimiento de estos aspectos presenta especial interés para la identificación de eventuales impactos al medio ambiente y los recursos naturales, incluso aquellos referidos a la seguridad física de los trabajos de sísmica 2D y de perforación a realizar.

Por ello, el estudio trata de establecer un marco base geomorfológico para el análisis de los demás componentes ambientales, como suelos, geología, cobertura vegetal, etc. En tal sentido, cabe destacar que el área evaluada se localiza en la zona altoandina del sur del país, caracterizada por presentar una extensa altiplanicie depresionada, en la que se halla emplazado el Lago Titicaca y un conjunto de vertientes predominantemente montañosas, correspondiente a la Cordillera Occidental.

El capítulo analiza sus tres campos principales; Morfogénesis, que trata el origen y evolución de las diversas formas fisiográficas que se desarrollan en la zona; Fisiografía, que describe las características morfológicas más importantes de ellas y, Morfodinámica, que analiza los procesos erosivos de mayor impacto que actualmente afectan la región o los que potencialmente pueden desencadenarse.

El trabajo se ha basado principalmente en el examen de imágenes satelitales de alta resolución Landsat 7 TM del año 2002. El estudio se acompaña de un Mapa Geomorfológico a escala 1:200 000 (Mapa 04) que delimita las principales formas de relieve, sus rasgos distintivos y la ocurrencia actual de acciones erosivas, en los lugares donde se presentan.

### ***Morfogénesis***

La historia morfogenética del área está plenamente ligada al desarrollo geológico de los Andes, que en el área de estudio, están formados por dos grandes conjuntos estructurales: la Cordillera Occidental, constituida esencialmente por rocas de edad meso-cenozoica y; el Altiplano puneño, donde se encuentran rocas paleozoicas y meso-cenozoicas.

La Cordillera Occidental, relativamente moderna, consta sobretodo de rocas ígneas y sedimentarias que reflejan la fuerte actividad magmática y tectónica por las que pasó y que se manifiestan en sus aspectos morfológicos actuales. En tanto, el Altiplano de origen fundamentalmente tectónico fue generado durante las últimas fases de la orogenia andina, caracterizándose por el desarrollo de extensas planicies de origen lacustre y aluvial.

### ***Morfogénesis Terciaria***

Durante el Mioceno, una etapa de erosión y aplanamiento afectó la región cordillerana andina y condujo a la formación de una superficie llana a ondulada con pocos accidentes topográficos conocida como “superficie puna”. Paralelamente, y como consecuencia de grandes fallamientos inversos, se produce a modo de un graben la extensa depresión tectónica que daría lugar al Altiplano, una cubeta hidrográfica endorreica de carácter regional. Luego del desarrollo de estos relieves, sobrevino una etapa tectónica epirogénica, en la que se produjo un nuevo y gran levantamiento que llevó a los Andes a sus niveles actuales, dejando a la superficie puna entre los 3 800 y 4 800 m.s.n.m. y al Altiplano a unos 3 900 m.s.n.m.

A su vez, este levantamiento ocurrido entre el Plioceno y Pleistoceno, trajo como consecuencia una fuerte incisión de los cursos de agua, en general en todos los Andes. El proceso de incisión fluvial sobre las masas rocosas en elevación orogénica dio como resultado la actual configuración montañosa del relieve andino y el rellenamiento de la cubeta altiplánica por materiales lacustres y aluviales.

Otro hecho notable de este período, con influencias decisivas sobre el relieve del área, fue el intenso volcanismo del Terciario superior, que dio lugar a voluminosos derrames lávicos y depósitos de tobas en capas más o menos horizontales. Estas capas fueron poco disturbadas por la tectónica subsiguiente; por ello, buena parte de las extensas altiplanicies que se hallan en el área de estudio deben su morfología, relativamente llana, a la estructura subhorizontal poco plegada de las acumulaciones del volcanismo terciario.

### ***Morfogénesis Cuaternaria***

Durante esta etapa ocurrieron en el mundo varias fases glaciales, frías y húmedas; dos de las cuales afectaron intensamente los Andes peruanos cubriendo grandes extensiones alto-andinas bajo potentes masas de hielo.

Las fases glaciales modelaron directamente los relieves ubicados por encima de 3,700 a 4,200 m.s.n.m., dejando un paisaje de circos y valles glaciales y altiplanicies onduladas tapizadas por depósitos morrénicos de fusión de antiguos glaciares. Posteriormente, estos depósitos fueron solifluidos y colonizados por la cobertura vegetal propia de la zona alto andina.

En este periodo se produce el desecamiento del Lago Titicaca, hasta sus límites aproximadamente actuales, cuyas dimensiones eran más extensas que en la actualidad, constituyendo el denominado “Lago Ballivián”; sus materiales se hallan representados por los materiales finos de la Formación Azángaro.

Además, ciertos períodos en los que el escurrimiento difuso era más intenso, originaron un conjunto de superficies de erosión más localizados y de menor magnitud.

#### **2.2.7. FISIOGRAFÍA**

En esta sección se describe con cierto detalle el origen y características de las diversas formas de relieve representados en el mapa geomorfológico, poniendo especial énfasis a aspectos tales como génesis, litología, pendiente, edad de formación, etc.

Las unidades reconocidas en el Mapa Geomorfológico, son las siguientes:

### ***Planicies***

Las planicies son relieves que se extienden con bastante amplitud en la zona central del área de estudio, donde se han creado como consecuencia de depósitos lacustres y las divagancias y acumulaciones aluviales de los ríos interandinos. Por ello, las planicies se distribuyen más sobre el Altiplano puneño y son más escasas y reducidas hacia el sur y oeste, al adentrarse en los territorios cordilleranos occidentales. Las siguientes planicies han sido diferenciadas en el Mapa Geomorfológico.

#### ***Fondos de Valle Aluvial: (Fa)***

Son formas de relieve llano con 0 a 2% de pendiente, que ocupan el lecho actual de los ríos, hallándose conformados por acumulaciones de gravas redondeadas, arenas y arcillas. En detalle, los lechos fluviales pueden presentar una disposición aluvional trenzada, por la voluminosa carga sólida que les llega de sus quebradas tributarias. En la zona alta, los ríos ocupan terrenos sobre excavados de origen glacial.

#### ***Altiplanicies onduladas: (Ao)***

Son relieves llanos, ligeramente ondulados, de 0 a 5% de pendiente, que se extienden en el Altiplano, por encima de los 3,800 m.s.n.m., debiéndose su conformación a las acumulaciones volcánicas del terciario superior y a los remanentes de la antigua superficie de erosión "Puna". Normalmente la superficie se encuentra tapizada por acumulaciones aluviales y lacustres modernas; en los sectores depresionados de estos relieves, ocurre el desarrollo de numerosas áreas hidromórficas conocidas como "bofedales".

***Altiplanicies disectadas: (Ad)***

Son superficies llanas de 0 a 15% de pendiente, que se extienden principalmente en el Altiplano, sobre los 3800 metros de altitud y, que deben su conformación a las acumulaciones lacustres de la Formación Azángaro del Plio-Pleistoceno; que han tapizado las irregularidades del relieve preexistente. Presenta cierto grado de disección debido principalmente a factores litológicos. En algunas zonas, la intensidad de los procesos erosivos pleistocénicos ha dado como resultado un paisaje de pequeñas lomadas.

***Altiplanicies estructurales: (Ae)***

Son superficies llanas de 0 a 5% de pendiente, que ocurre en la zona altiplánica, sobre los 4000 metros de altitud: Deben su conformación a la ocurrencia de derrames lávicos subhorizontales de la Formación Volcánica Barroso, que se destacan sobre el relieve por su forma característica a modo de “mesas” o “terrazas estructurales”. Su desarrollo se debe a los procesos erosivos modernos que han disectado y erosionado intensamente la formación volcánica.

***Colinas***

Las colinas son pequeñas elevaciones topográficas, de unas decenas de metros de altura sobre los planos circundantes, que son los relieves que dominan la zona altiplánica. Vista en perspectiva, el Altiplano es una extensa llanura, que debe su conformación al levantamiento andino plio-pleistoceno y la consecuente profunda incisión de las corrientes de agua que han modificado parcialmente sus relieves. Las formas identificadas son:

***Colinas ligeramente accidentadas: (Cl)***

Son relieves cuyas alturas no sobrepasan los 150 metros sobre su nivel de base local y que presentan pendientes dominantes de 15 a 25%. Se caracterizan por el notable espaciamiento de sus cauces, los mismos que se desarrollan en un medio geológico permeable, de materiales arenosos, calcáreos o de constitución volcánica, lo que facilita la infiltración hacia niveles profundos de las aguas pluviales.

***Colinas fuertemente accidentadas: (Cf)***

Son relieves que se diferencian de las anteriores por su severa disección y consiguiente elevada densidad de cauces. Generalmente sus pendientes son superiores a 50%, estableciéndose un relieve que se caracteriza por su topografía bastante accidentada, presencia de numerosas rupturas de pendiente, afloramientos rocosos y otras formas erosivas. Su mayor disección es debido a la presencia de un substrato rocoso impermeable de derrames lávicos o capas sedimentarias y metamórficas arcillosas, que impiden la infiltración de las aguas y más bien generan escorrentías que disectan el relieve.

***Montañas***

Estos relieves son el resultado de la orogenia y elevación plio-pleistocénica de los Andes, a consecuencia de la cual, los cursos fluviales se encajonaron dando lugar a la configuración montañosa actual de la cordillera andina. Por definición, las montañas son elevaciones superiores a 300 metros, entre sus

cimas y base de las elevaciones, con pendientes que generalmente van de 25% a más de 70%.

En el territorio propiamente andino, las montañas son el elemento característico, pues conforman los grandes conjuntos estructurales de la cordillera occidental, los cuales se hallan cortados por los valles interandinos.

Para los fines del presente estudio, el territorio montañoso que circunda el área, ha sido dividido en las siguientes formas de relieve:

***Vertientes montañosas ligeramente accidentadas: (VI)***

Son relieves que presentan pendientes medias del orden de 25 y 50% y alturas superiores a 300 metros sobre su nivel de base local. Característicamente presentan una baja tasa de disección, lo que se debe a un substrato rocoso permeable de tobas volcánicas, areniscas o calizas carstificadas, que orientan las aguas pluviales hacia niveles profundos, antes de favorecer su escurrimiento en la superficie.

***Vertientes montañosas moderadamente accidentadas: (Vm)***

Son geoformas comparativamente más agrestes que la unidad anterior, con alturas superiores a 300 metros y laderas que presentan una mediana tasa de disección. Las pendientes predominantes son del orden de 25 a 50%, ocurriendo numerosos escarpes y taludes subverticales. La mayor disección se debe a la existencia de un substrato rocoso relativamente impermeable, de rocas volcánicas, sedimentarias o metamórficas arcillosas, que favorecen el

escurrimiento antes que la infiltración. Presentan una importante cubierta coluvial en sus laderas, que suaviza las pendientes.

### ***Vertientes montañosas fuertemente accidentadas: (Vf)***

Son los relieves más agrestes y disectados del área de estudio, donde la altura sobrepasa los 300 metros sobre su nivel de base. Sus pendientes son frecuentemente superiores a 50% presentando numerosos sectores rocosos escarpados, con taludes subverticales a verticales. La densidad de la disección es debida a un substrato de rocas volcánicas y arcillosas, impermeables. Algunas veces, al pie de los afloramientos rocosos ocurren acumulaciones coluviales altamente inestables por las fuertes pendientes.

La conformación de estos relieves se debe a la acción combinada de la tectónica andina que ha levantado, plegado y fracturado intensamente las rocas, con un alto buzamiento de los estratos rocosos y la consecuente profunda incisión de las corrientes de agua en respuesta a dicho levantamiento

## **2.2.8. PROCESOS MORFODINÁMICOS**

Los procesos morfogenéticos que se desarrollan en la actualidad en el área de estudio son de características diversas y difieren principalmente según la fisiografía, clima y geología. Se puede notar las siguientes acciones erosivas o morfodinámicas:

### ***Erosión Lateral y Socavamientos***

Son procesos erosivos que ocurren cuando las corrientes fluviales están sobrecargadas con material sólido. Se originan por desgaste de la base de los

taludes ribereños, lo que ocasiona el posterior desplome de las porciones más altas, siendo sus efectos mayores durante los periodos de lluvias. Estos procesos se acentúan cuando los bordes de las terrazas aluviales se encuentran constituidos por material suelto, poco o nada consolidado.

La erosión lateral da lugar a un paulatino ensanchamiento de los cauces, en tanto que los socavamientos afectan las orillas cóncavas de los cursos fluviales. Son procesos erosivos que se activan sólo durante las crecientes estacionales.

### ***Desbordes e Inundaciones***

Son acciones morfodinámicas que se producen durante la temporada de lluvias estacionales. Durante este periodo, los ríos incrementan considerablemente su caudal, sobrepasando la amplitud de sus cauces e inundando parcial o totalmente terrenos aledaños, así como unos sectores muy localizados de las altiplanicies onduladas.

Las inundaciones excepcionales que afectan los niveles más bajos de las llanuras que ocurren en años muy lluviosos, implican serios riesgos a los emplazamientos humanos, ya que por la irregularidad de su frecuencia no es posible predecir ni adoptar medidas para contrarrestar sus potenciales efectos.

### ***Surcos y Cárcavas***

Son procesos morfodinámicos de incisión del terreno, que se producen cuando las aguas de escurrimiento difuso se concentran en canales de drenaje más o

menos definidos, de algunos decímetros y metros de profundidad (surcos y cárcavas).

Son formas erosivas muy localizadas y de pequeña magnitud que normalmente afectan a sedimentos poco coherentes, caso de los materiales de la Formación Azángaro, que en la zona evaluada constituyen las planicies disectadas; también estos procesos son importantes, en las colinas constituidas por tufos poco consolidados.

### ***Hidromorfismo***

Se refiere a la tendencia natural, de ciertas áreas, de conservarse permanentemente en condiciones húmedas e inestables, caracterizándose por presentar suelos de granulometría fina altamente ácidos, con una cobertura vegetal típica.

El desarrollo de estas zonas se debe a la presencia de una napa acuífera superficial y a las intensas precipitaciones pluviales depositadas sobre superficies plano depresionadas con un subsuelo impermeable, que impide la evacuación natural de las aguas mediante infiltración. Constituyen los llamados bofedales altoandinos (E., 1935).

Estos sectores, debido a su gran inestabilidad no permiten tomar medidas apropiadas de control o mejoramiento, por lo que son las áreas menos recomendables para el emplazamiento de obras de infraestructura y actividad humana en general. En las altiplanicies onduladas existen vastos sectores que reflejan este proceso.

### 2.2.9. SISMICIDAD

Dentro de un marco regional, el territorio peruano se ubica en una zona de alta actividad sísmica, por formar parte del Cinturón de Fuego Circumpacífico y por hallarse frente a la fosa peruano-chilena, lugar donde ocurre la subducción de bajo ángulo de la placa oceánica de Nazca, que se hunde por debajo de la placa continental Sudamericana; subducción que se produce con un desplazamiento del orden de 10 centímetros por año.

La enorme fricción producida por el roce de las dos placas en el llamado plano de Benioff, da lugar a una constante acumulación de energía, la que al liberarse produce violentos sismos en la zona litoral peruana, los cuales son en general tanto más violentos cuanto menos profundos en su origen. Por esta razón, a igualdad de condiciones, los sismos resultan más intensos en las regiones costeras, decreciendo hacia el Este en las regiones de sierra y selva, donde la subducción y fricción cortical es gradualmente más profunda.

En el Altiplano y la Cordillera Occidental, donde se emplaza el área de estudio, se producen sismos con foco intermedio ( $60 < h < 350$  km), siendo su distribución más densa que en las zonas Norte y Centro del país. En profundidad, los focos siguen una pendiente de  $25^\circ$  a  $30^\circ$  hasta alcanzar los 300 km de profundidad. Además, debe considerarse la sismicidad producida por reactivación de algunas fallas regionales, entre las que destacan las fallas inversas y de sobreescurreamiento que afectan la región cordillerana, como la falla Atuncolla localizada al Norte de la laguna Umayo y que se orienta con dirección  $N 160^\circ E$ , presentando un buzamiento vertical.

Por otro lado, debe considerarse los efectos en la zona de estudio de la sismicidad superficial ( $h < 60$  km) que ocurre en forma dispersa en el altiplano y más frecuentemente entre la fosa marina Perú-Chile y la costa (WALSH, 1997). También la sismicidad producida por las erupciones volcánicas que se producen en regiones relativamente cercanas al área.

Asimismo, el carácter sísmico de nuestro territorio, obliga a tener en cuenta variadas consideraciones para efectuar alguna actividad que va a alterar el medio geológico, entre las que se tienen: magnitud de relieve, tipo de roca, grado de alteración, fisuramiento, etc. En tal sentido, es conveniente precisar que las áreas donde se efectuarán labores de sísmica, se hallan conformadas predominantemente por sedimentos arcillo-limosos, que se caracterizan por su escasa consolidación y competencia; siendo por lo tanto proclives a sufrir deformación por las ondas sísmicas.

#### **2.2.10. ESTABILIDAD GEOMORFOLÓGICA**

En términos generales, se puede afirmar que el grado de estabilidad geomorfológica de un determinado espacio geográfico está dado por los tipos, intensidad y/o frecuencia de los procesos naturales que amenazan el medio.

Los tipos de procesos naturales y los grados de intensidad con que afectan el ambiente geomorfológico están condicionados por las características geológicas-geográficas del área. En este sentido, las rocas poco coherentes y de litologías deleznable como las arenas, limos y arcillas, facilitan el desarrollo de procesos erosivos, lo mismo que los contrastes fisiográficos y los climas excesivamente lluviosos.

En el caso de la región estudiada, las condiciones que favorecen las acciones erosivas se presentan en sectores reducidos. Por ello se considera que el área estudiada presenta en promedio una alta estabilidad geomorfológica frente a los procesos naturales.

En resumen, las condiciones geo-ecológicas del medio resultan estables. Sin embargo, su uso y ocupación deberán ser adecuadamente planificados, tratando de mantener en equilibrio los sistemas productivos y naturales que presenta el medio geográfico.

En el presente estudio se establecen cuatro niveles de estabilidad geomorfológica, teniendo en consideración el grado, intensidad y frecuencia de los procesos actuantes. Estas pueden traducirse en limitaciones o barreras que impone la naturaleza a las diferentes actividades que desarrolla el hombre.

Se han reconocido cuatro (04) niveles o grados de estabilidad en función de las características morfo-litológicas de las geoformas, procesos morfodinámicos, así como del clima dominante caracterizado por su alta precipitación.

Las áreas consideradas como ZONAS MUY INESTABLES o de Muy Baja Estabilidad representan el 8,1% aproximadamente del ámbito del Lote 105; conformada por los Lechos Inundables.

Las zonas consideradas como INESTABLES o de Baja Estabilidad representan el 22,5% del ámbito; se hallan integradas por las vertientes montañosas fuertemente accidentadas. Requieren de un estricto control y monitoreo y no ejecutar acciones que inestabilicen los taludes, a fin de evitar o minimizar procesos erosivos

Las zonas consideradas como de estabilidad MODERADA representan el 27,1% del ámbito; se hallan integradas por las altiplanicies disectadas, por las colinas moderada y fuertemente accidentadas; así como por las vertientes montañosas ligera y moderadamente accidentadas. Permiten el desarrollo de actividades que podrían modificar en forma permanente el relieve y requieren por lo tanto, de adecuadas medidas de control.

Por último, se tiene las zonas consideradas como de estabilidad ALTA que representan el 40,9% aproximadamente del ámbito; hallándose representadas por las altiplanicies onduladas y estructurales, así como colinas ligeramente accidentadas. Constituyen las superficies geomorfológicas con mayor amplitud de uso y de menor control.

#### **2.2.11. DISTRIBUCIÓN DE POZOS EXPLORATORIOS SEGÚN ZONAS GEOMORFOLÓGICAS**

La extensión del Lote 105 presenta superficies de terreno con características variables, por lo que se han identificado nueve (09) zonas o unidades geomorfológicas, las cuales se indican a continuación:

##### ***Fondo de Valle Aluvial***

Constituída por formas de relieve plano con 0 a 2% de pendiente, que ocupa el 8,1 % del Lote. Esta unidad geomorfológica no reúne pozos exploratorios.

***Altiplanicie ondulada***

Conformada por relieves llanos, ligeramente ondulados, de 0 a 5% de pendiente, que se extienden en el Altiplano, por encima de los 3 800 msnm. Domina el Lote 105, ocupando una superficie de 157 900 has. (35,6%). Reúne nueve (09) pozos exploratorios.

***Altiplanicie disectada***

Constituída por superficies llanas de 0 a 15% de pendiente, abarca el 11,8% del área del Lote. No reúne pozos exporatorios.

***Altiplanicie estructural***

Son superficies llanas de 0 a 5 % de pendiente, que ocurren en la zona altiplánica, sobre los 4 000 m de altitud, ocupa una menor cantidad del Lote (1,6%). No reúne pozos exploratorios.

***Colinas ligeramente accidentadas***

Constituída por relieves cuyas alturas no sobrepasan los 150 metros sobre su nivel de base local y que presentan pendientes dominantes de 15 a 25%. Abarca el 3,7% del Lote 105 y no reúne pozos exploratorios.

***Colinas fuertemente accidentadas***

Conformada por relieves con severa disección y consiguiente elevada densidad de cauces, abarca el 3,3% del Lote. Reúne un (01) pozo exploratorio.

***Vertiente montañosa ligeramente accidentada***

Conformada por relieves que presentan pendientes medias del orden de 25 y 50% y alturas superiores a 300 metros sobre su nivel de base local, abarca el 6,0% del Lote y no reúne pozos exploratorios.

***Vertiente montañosa moderadamente accidentada***

Constituída por geoformas con alturas superiores a 300 metros y laderas que presentan una mediana tasa de disección, ocupa el 6,0 % del Lote y no reúnen pozos exploratorios.

***Vertiente montañosa fuertemente accidentada***

Conformada por relieves que sobrepasan los 300 metros y sus pendientes son frecuentemente superiores a 50 %, presentando numerosos sectores rocosos escarpados, con taludes subverticales a verticales, ocupa el 22,5 %. Integra a tres (03) pozos exploratorios

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

La presente investigación toma en consideración un cúmulo de bases legales y teóricas relacionadas a la conservación del medio ambiente, las cuales se citan a continuación:

### 2.3.1. SUELO

El suelo es un elemento frágil del medio ambiente, un recurso natural no renovable puesto que su velocidad de formación y regeneración es muy lenta mientras que los procesos que contribuyen a su degradación, deterioro y destrucción son mucho más rápidos. Por ello es de suma importancia concienciar a la opinión pública sobre este aspecto y establecer medidas ambientales y políticas de actuación que garanticen la protección y conservación de los suelos.

Según FAO-PNUMA (1983), la degradación del suelo puede definirse como todo proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. Aunque se puede producir por causas naturales.

La degradación del suelo es fundamentalmente la consecuencia directa de su utilización por el hombre, bien como resultado de actuaciones directas, como actividades agrícolas, forestales, ganaderas, agroquímicas y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc. Estos procesos de degradación se pueden clasificar en función de su naturaleza y del tipo de consecuencias negativas que provocan en las propiedades del suelo: biológicos, como el deterioro de la

estructura del suelo por compactación y aumento de densidad aparente, disminución de la permeabilidad y de la capacidad de retención de agua o pérdida de suelo por erosión; y químicos, como la pérdida de elementos nutrientes, acidificación, salinización, sodificación y aumento de la toxicidad. Estos últimos son los que se engloban dentro del término contaminación.

### **2.3.2. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), amonio ( $\text{NH}_4$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) e hidrógeno ( $\text{H}^+$ ). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrogeno y aluminio en diversas formas.

También contribuyen a la Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) las clases, cantidades y combinaciones de los minerales arcillosos y las cantidades de materia orgánica y su estado de descomposición. Los cationes no son retenidos con las mismas energías de enlace. Los sitios de intercambio de la materia orgánica, solo enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$ , con más energía que el  $\text{K}^+$ . Esta característica puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos con arcillas caoliniticas tienen una menor energía de enlace y, por lo tanto, para un nivel analítico determinado o un porcentaje de saturación de un elemento se mostrara una disponibilidad relativa mayor.

Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Sin embargo, si los cultivos o el lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está bajo saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida. Ésta también es una medida de las necesidades de encalado de un suelo (aplicar cal).

### **2.3.3. CICLO HIDROLÓGICO**

El constante movimiento del agua en la naturaleza tiene su origen con la llegada continua de energía solar. Esta energía permite que el agua se evapore, sea transportada por el viento y en condiciones apropiadas, se condense y precipite en forma de lluvia, nieve o granizo. Esta agua, al alcanzar la superficie del suelo, se mueve por la acción de la gravedad hacia los puntos más bajos del terreno, alcanzando directamente los ríos, lagos y océanos. Una parte de ella se infiltra a través del suelo o rocas (zona no saturada), hasta alcanzar las napas subterráneas (zona saturada) y, otra parte, es evaporada/evapotranspirada, reiniciando el ciclo hidrológico.

De esta forma, las aguas presentes en el subsuelo, o sea, las aguas subterráneas pueden ser definidas como las aguas que se acumularon a lo largo del tiempo, en los poros y fracturas de los sedimentos y rocas. Esta agua integran un sistema dinámico, lento, sin embargo, en constante movimiento a partir de las áreas de recarga o de infiltración, hacia las áreas de descarga, tales como ríos, nacientes, lagos, océanos, constituyendo una parte importante e indisociable del ciclo hidrológico de la naturaleza.

#### **2.3.4. COMPORTAMIENTO AMBIENTAL**

La descarga de contaminantes al ambiente es prácticamente inevitable. Los contaminantes son liberados a través de las industrias, usos de productos y como resultado del tratamiento y disposición de los residuos urbanos e industriales. Después de alcanzar el ambiente, los contaminantes se mueven en respuesta a diversos factores naturales y tecnológicos interrelacionados. Pueden moverse rápida o lentamente, los caminos pueden ser directos o complejos.

#### **2.3.5. MECANISMO DE TRANSPORTE**

Los contaminantes son encontrados en el ambiente superficial en varias formas, o fases. Los contaminantes que están presentes en el agua son los solutos, gradualmente, se dispersan a partir de un punto inicial de introducción, ocupando un volumen mayor del acuífero y alcanzando áreas que no se esperaba alcanzar si se considerase, exclusivamente, el drenaje.

#### **2.3.6. DISPERSIÓN HIDRODINÁMICA**

La dispersión hidrodinámica constituye un proceso transigente y de mezcla irreversible. La dispersión hidrodinámica es el resultado macroscópico del movimiento del soluto debido a efectos microscópicos, macroscópicos y megascópicos. A escala microscópica, la dispersión es causada por:

- Fuerzas externas actuando sobre el fluido
- Variaciones macroscópicas en la geometría de los poros
- Difusión molecular a lo largo del gradiente de concentración del soluto

- Variaciones en las propiedades del fluido, tales como densidad y viscosidad.

Se agregan a las heterogeneidades a escala microscópica, las heterogeneidades en las propiedades hidráulicas (variaciones macroscópicas). Las variaciones en la conductividad hidráulica y porosidad introducen irregularidades en la velocidad de drenaje, con el consecuente aumento en la agitación del soluto y, finalmente, se agregan efectos provocados por las variaciones regionales, o megascópicas, en las unidades hidrogeológicas o estratos presentes en el acuífero para el transporte a través de largas distancias.

### **2.3.7. TRANSFERENCIA DE MASA O ADVECCIÓN**

La transferencia de masa es el movimiento de solutos arrastrados por el flujo de agua. Para este tipo de transporte, el flujo de iones depende, estrictamente del flujo de agua (cantidad de agua que atraviesa una unidad de la sección transversal por unidad de tiempo), siendo, por lo tanto, el flujo de iones entendido como la cantidad de un determinado soluto que atraviesa la unidad de sección transversal al flujo del agua, por unidad de tiempo.

### **2.3.8. PASIVOS AMBIENTALES EN EL SECTOR HIDROCARBUROS**

Un pasivo ambiental podría definirse como aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y calidad de vida de las personas. Un pasivo ambiental puede afectar la calidad del agua, suelo, aire y los ecosistemas, deteriorándolos. Estos han sido generalmente ocasionados

por la intervención del hombre a lo largo de su historia, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes.

Los pasivos ambientales son complejos y complicados para su recuperación, debido a las características físico-químicas, los elevados costos para su control y rehabilitación, la falta de identificación de responsables y en otros casos, por el incipiente desarrollo tecnológico. Entonces, si definimos al pasivo ambiental como un hecho histórico, causado por alguna actividad a lo largo del tiempo, es claramente diferenciable de los posibles riesgos ambientales que se pueden presentar en el presente, bajo una visión de prevención y control ambiental más preparado para enfrentarlos.

Según el Ministerio de Energía y Minas, los actuales pasivos ambientales del Sector Hidrocarburos, que son considerables, representan la herencia recibida de las actividades petroleras realizadas desde el siglo XIX, o sea a comienzos de esta actividad en el Perú.

### **2.3.9. FACILIDADES E INFRAESTRUCTURAS DE SUPERFICIE**

#### ***Pozos petroleros***

Entre los primeros se pueden considerar las antiguas baterías de producción, patios de tanques de almacenamiento, plantas de inyección de agua o gas, pozas de desagüe, tuberías fuera de uso, etc.

Conforman el segundo grupo, los pozos petroleros que ya no tienen ningún uso futuro en el posible desarrollo del reservorio al cual han penetrado.

En su conjunto, esta infraestructura ha originado una contaminación del suelo como consecuencia de los derrames ocurridos a través de los años. Simplemente como un antecedente histórico y, con el objeto de entender el presente de los pasivos ambientales, se debe mencionar que las operaciones petroleras en el Perú antes de 1970, se realizaban siguiendo los lineamientos establecidos a nivel mundial; los que se caracterizaban por no prestar demasiada atención a los problemas ambientales y sociales.

Cuando el gobierno peruano nacionalizó toda la actividad petrolera a comienzos de 1969 y crea PETRÓLEOS DEL PERÚ, no consideró la necesidad de descontar del pago que se hizo por la expropiación, la suma que hubiera servido para resolver el tema de los pasivos ambientales acumulados a lo largo de años de operaciones.

Durante todos los años que PETRÓLEOS DEL PERÚ tuvo a su cargo las operaciones, nunca se le permitió usar los fondos necesarios para ir resolviendo el tema de los pasivos ambientales y solamente remedió aquello que era muy urgente.

Posteriormente, cuando el gobierno toma la decisión de privatizar las operaciones petroleras, principalmente del campo, no se fijaron condiciones puntuales en los contratos de operaciones que hubieran obligado a los operadores atender apropiadamente la problemática de los pasivos ambientales, aunque en algunas ocasiones ello hubiera ocasionado la no rentabilidad del proyecto.

Salvo en algunos casos muy concretos, como el del Lote 10 y el Lote 8, se establecieron mecanismos que permitieron ir atendiendo la solución de los pasivos ambientales. El año 1993, cuando se promulgan las Leyes 26221 y 26225, Ley General de Hidrocarburos y Orgánica de PERUPETRO respectivamente, se deja claramente establecida que esta entidad se hace cargo de los derechos y obligaciones de PETROPERU, en relación con los contratos firmados para operaciones de exploración y explotación.

Desde entonces, todos los esfuerzos para remediar los pasivos ambientales en los campos de producción petrolera son canalizados y gerenciados por PERUPETRO. Cabe señalar que actualmente los pasivos ambientales referidos a las facilidades de producción e infraestructura de superficie (zócalo y continente), se atienden dentro del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) aplicado en los proyectos desarrollados por cada uno de los contratistas petroleros.

El gran problema está centrado en el apropiado abandono y taponamiento de los pozos viejos. En cuanto a los pasivos ambientales, PERUPETRO ha definido el siguiente Plan de Acción:

- Obtener y procesar información de los pozos por abandonar a nivel país.
- Elaborar y generar una base de datos de pasivos ambientales referida a los pozos ATA, APA y DPA.
- Pozos ATA: Son aquellos pozos que fueron abandonados temporalmente.
- Pozos APA: Son aquellos pozos que fueron abandonados permanentemente.

- Pozos DPA: Son aquellos pozos que fueron abandonados en perforación.

Dentro del grupo de pozos ATA APA y DPA se han identificado 8 812 pozos a nivel país.

Evaluar y determinar si los pozos han sido correctamente abandonados, según lo dispuesto en las normas legales vigentes.

Recomendar, en los casos que sean pertinente, las acciones a tomar para dar cumplimiento a lo dispuesto en las normas legales vigentes.

Construir una Base de Datos de Pasivos Ambientales sobre el universo de pozos identificados. Para ello se requiere programar visitas a las áreas que se consideran peligrosas con la finalidad de elaborar un informe final por pozo, según sea el caso.

Según el MEM, al 30 de abril del 2002 se informó de la existencia de 7 353 pozos, lo que equivale al 83,44% del total de pozos considerados; los que han sido revisados, estudiados e ingresados en el módulo de Base de Datos especialmente diseñados para su manejo.

Asimismo, se han identificado los pozos abandonados ubicados en zonas peligrosas (aproximadamente 250 pozos), éstos serán visitados con la finalidad de priorizar su adecuado abandono. Además, se espera concluir con las recomendaciones individuales de abandono para los pozos críticos (seguridad, medio ambiente) ubicados en los campos del noroeste (Talara, Negritos,

Zorritos, etc.), y que incluyen los estimados de presupuestos requeridos para concluir dichos trabajos.

El Sector Hidrocarburos en el Perú se desenvuelve en el marco de un mercado libre. En efecto, todas las operaciones de exploración y explotación por hidrocarburos se encuentran en manos de la empresa privada; el Estado Peruano no desarrolla ninguna actividad que signifique una competencia en este campo.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la elaboración de un estudio de suelos sigue las normas y procedimientos establecidos en el “Soil Survey Manual” y el “Soil Taxonomy”, ambos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, así como los lineamientos del “Reglamento de Clasificación de Tierras” según Capacidad de Uso Mayor del Ministerio de Agricultura del Perú.

#### 3.1. ETAPAS DE TRABAJO

El presente estudio fue realizado a través de una secuencia de actividades de gabinete, campo y laboratorio, que esquemáticamente puede resumirse como sigue. Para la determinación de propiedades químicas se utilizaron las siguientes técnicas analíticas:

- pH, método EPASW 9045C
- Conductividad, EPA 9050 A y Soil Quality Test Kit Guide. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.

- Capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables: método del acetato de amonio y determinación por absorción atómica para determinación de los cationes
- Aniones en extracto de saturación. Extracto: métodos N°2, N°3<sup>a</sup> y N°3<sup>b</sup>. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Cloruros: método de Mohr. Carbonatos y bicarbonatos: método N° 12 Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Sulfatos: método N° 14<sup>a</sup>. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.
- Cationes en extracto de saturación: Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio. Extracto: método N° 2, N°3<sup>a</sup> y N°3<sup>b</sup>. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Lectura: Métodos EPA SW 846serie 7000.

### ***Salinidad total***

Estas determinaciones permiten obtener las condiciones de salinidad que presenta el suelo y las relaciones químicas que intervienen en el proceso de salinidad.

## **3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La presente investigación fue realizada con suelo proveniente del lote 105. Una vez realizados los análisis de rutina se concluyó que el sitio no se encontraba afectada por hidrocarburos pero las concentraciones de sales, que en su mayor parte correspondían a cloruro de sodio, provocaron el deterioro del suelo superficial y la falta de crecimiento vegetal. Ante esta realidad se propuso a la Dirección de la Maestría de Tecnologías de Protección Ambiental de la UNA-PUNO, realizar un estudio en laboratorio que permita definir si era posible

aplicar las técnicas de rehabilitación de suelos salinos sódicos para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo estudiado proviene de un sitio salinizado de 10 hectáreas perteneciente al lote 105, ubicado en el distrito de Pusi, Provincia de Huancané y región Puno. En esta región, se hallan los siguientes grupos y subgrupos de suelos: Torriortenses y Torripsamientos típicos (del orden de los Entisoles). Estos son suelos secos o salinos de regiones áridas, frías, dominantes en los depósitos de arenas estabilizados, de depósitos eólicos actuales o de sitios geológicos anteriores. La mayoría son neutros o calcáreos y se encuentran sobre pendientes suaves. Estos suelos son característicos de las provincias de clima seco. Poseen restricciones climáticas, poca capacidad de retención hídrica y a veces, baja a moderada capacidad de provisión de nutrientes dada su escasa capacidad de intercambio catiónico. Se caracterizan por tener texturas medias a gruesas (franca, franca arenosa, areno franca) siendo común, también encontrar perfiles esqueléticos donde los fragmentos gruesos superan el 75% por volumen de suelo. En otros casos, pueden presentar horizontes subsuperficiales enriquecidos levemente con carbonato de calcio o con sales solubles. En general estos suelos son profundos, bien drenados y masivos o débilmente estructurados.

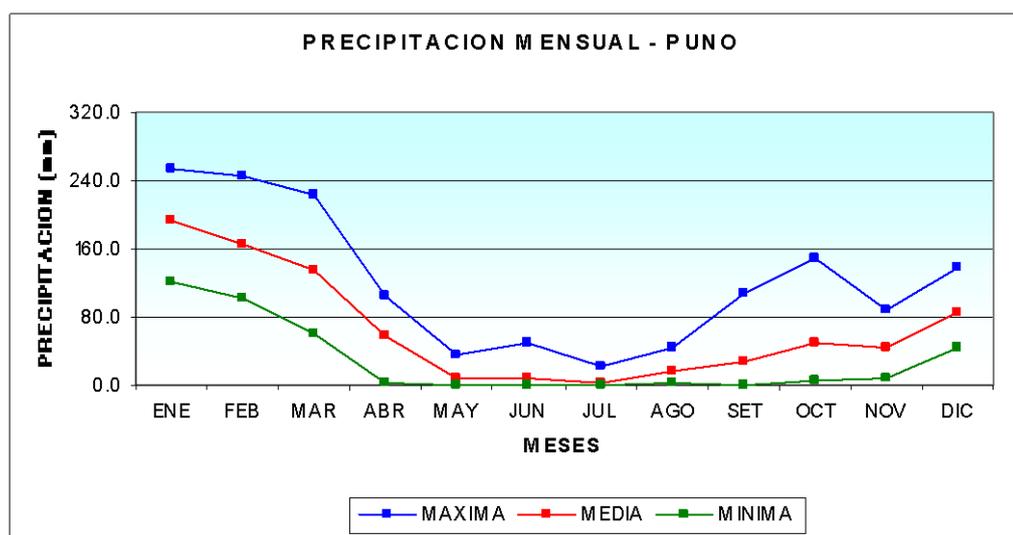
Poseen muy bajos contenidos de materia orgánica, que no excede el 1%. Poseen dispares valores de capacidad de intercambio catiónico, según la naturaleza y composición mecánica de los materiales que les han dado origen, siendo el caso más frecuente valores próximos a 15 meq/100g de suelo, que

debe atribuirse enteramente al constituyente arcilla, dada la exigua participación de materia orgánica que presenta. Su complejo de intercambio posee plena saturación con bases y su pH está próximo a la neutralidad, casi siempre apenas por encima de 7: pueden presentar fases salinas y sódico salinas.

### 3.4. INFORMACIÓN CLIMÁTICA

Clima Frío Húmedo (Circunlacustre): Conocido como el clima característico en los alrededores del Lago Titicaca, en los 3 800 m.s.n.m. aproximadamente. Se caracteriza por presentar rangos de temperatura no muy variables debido al efecto termorregulador del lago (12°C). La precipitación promedio anual es de 790 mm.

FIGURA 7  
PRECIPITACIÓN MENSUAL ESTACIÓN PUNO



Fuente: GEMA.

El conocimiento de la intensidad, dirección y comportamiento de los vientos, tiene particular importancia climatológica, considerando su influencia sobre las fluctuaciones de ciertas variables climatológicas como la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones, la evaporación y la nubosidad, entre las principales.

En el área del proyecto se ha establecido que el comportamiento de los vientos es heterogéneo, tanto en magnitud como en la dirección, cuyas velocidades no sobrepasan los 15 m/s con cierta predominancia de dirección este-oeste durante las tardes; pero durante las noches esta predominancia es oeste-este u oeste-noroeste.

### **3.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO**

Para la determinación de características físicas se utilizaron los métodos de evaluación de calidad y salud del suelo USDA. Al suelo obtenido del sitio se le determinó una serie de análisis que serán utilizados como base del estudio, puesto que indican la situación actual del predio.

Las muestras de suelo para evaluar fueron tomadas de los primeros 0.30 m.

Se distinguen cuatro perfiles de suelos, cada uno con las siguientes características:

CUADRO 18  
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

Perfil	Color	Textura	Estructura
	Pardo rojizo hasta los 30 cm de profundidad	Arcillo arenoso	Laminar
	Marrón rojizo hasta el metro de profundidad	Areno arcilloso	En bloques Maciza
	Amarillo anaranjado	Arenoso	Suelta
	Amarillo grisáceo	Arenoso	Compacta: Tosca dura

Fuente: SENAMHI.

El suelo está compuesto por partículas arenosas y arcillosas. En su mayor proporción se encuentran las partículas de arcilla, que pertenecen al grupo de las arcillas montmorilloníticas. Las características de este tipo de arcilla es que posee la propiedad de hincharse y dilatarse, conforme cambia el contenido en agua. El suelo carece de plasticidad cuando está mojado, pero en seco se torna muy compacto y casi impenetrable al impacto mecánico.

Los agregados del suelo superficial presentan una estructura en forma de bloques, siendo los más pequeños de un tamaño comprendido entre los 5 y 10

mm de diámetro. Los agregados están bien formados y definidos in situ, y cuando se los disturba, la estructura se quiebra en agregados muy evidentes, confiriéndole al suelo una estructura fuerte. Poseen un alto grado de estabilidad que puede ocasionar algunos problemas en la labranza o movimientos en la capa superficial, debido a la dureza y compactación de los agregados.

El color pardo rojizo suele ser característico de suelos que contienen compuestos ferrosos o arcillas saturadas con Fe. La densidad del suelo es la relación de la masa de las partículas de suelo de suelo seco con el volumen combinado de las partículas y los poros. Los suelos arenosos de baja porosidad tienen una mayor densidad (1.2 a 1.8 g/cm<sup>3</sup>) que los suelos arcillosos (1.0 a 1.6 g/cm<sup>3</sup>), los cuales tienen un mayor volumen de espacio de poros. Se encontró que el suelo evaluado tiene una densidad promedio entre ambas partículas.

### **3.6. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA**

La instrumentación utilizada para el presente trabajo de investigación para el análisis físico es como sigue:

#### **3.6.1. Ph**

Potenciómetro el método es electrométricos por análisis de potencial de hidrogeniones modelo del equipo WWT -300i procedencia Alemania

#### **3.6.2. MÉTODO**

Para la determinación del pH se utiliza el método potenciométrico (Willard et al., 1974; Bates, 1983).

### 3.6.3. FUNDAMENTO

El método potenciométrico o electroquímico para medir pH de un suelo es el más utilizado. Con este método se mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones  $H^+$  (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema; se usa como referencia un electrodo cuya solución problema no se modifica cuando cambia la concentración de los iones por medir, que es generalmente un electrodo de calomelano o de  $Ag/AgCl$ . El electrodo, a través de sus paredes, desarrolla un potencial eléctrico. En la práctica se utilizan soluciones amortiguadoras, de pH conocido, para 20 calibrar el instrumento y luego comparar, ya sea el potencial eléctrico o el pH directamente de la solución por evaluar.

### 3.6.4. INTERFERENCIAS

Debido a que el pH del suelo es medido en una matriz acuosa como agua o una solución de sales diluidas, es dependiente del grado de dilución (relación suelo-dilución). Cuando se mide en agua es importante controlar el agua adicionada, ya que un aumento causará un incremento en pH; por ello es necesario mantener la relación constante y tan baja como sea posible.

Sin embargo, la solución sobrenadante puede no ser suficiente para sumergir el electrodo apropiadamente, sin causar mucho estrés cuando se inserta dentro del suelo. Los suelos con alta cantidad de materia orgánica tienden a formar una gruesa pasta seca, por lo que una relación menor de muestra en agua puede ser aceptable (1:5 o 1:10)

(Karma A, 1993). En suelos contaminados con hidrocarburos la interferencia va a depender de la concentración y tipo de hidrocarburo, se puede producir desde una simple iridiscencia sin afectar la determinación, hasta un impedimento de la determinación por la alta concentración y viscosidad del contaminante.

### **3.6.5. MATERIAL Y EQUIPO**

- Muestra de suelo.
- Balanza analítica.
- Vasos de precipitado de 25 ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Pipeta con agua destilada.
- Potenciómetro.
- Agua destilada.
- Solución amortiguadora de pH 7 y 4.
- Agitadores magnéticos.

### **3.6.6. PROCEDIMIENTO**

- 1) Pesar 1 g de suelo y colocarlo en un vaso de precipitado de 25 ml.
- 2) Agregar 10 ml de agua destilada.
- 3) Agitar y dejar reposar 10 minutos.
- 4) Ajustar el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras.
- 5) Pasados los 10 minutos, medir el pH con el potenciómetro.

### **3.7. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CE MODELO WWT**

#### **3.7.1. MÉTODO**

El método de la conductividad eléctrica se realiza por medio de un conductímetro sobre una muestra de agua o extracto de suelo.

#### **3.7.2. FUNDAMENTO**

Este método se basa en la teoría de la disociación electrolítica. Es aplicable a aguas o extractos de suelo. El equipo para medir la conductividad eléctrica es un conductímetro, que consiste en dos electrodos colocados a una distancia fija y con líquido entre ellos. Los electrodos son de platino y en ocasiones pueden llevar un recubrimiento de platino negro o grafito; estos se encuentran sellados dentro de un tubo de plástico o vidrio (celda), de tal manera que este aparato puede ser sumergido en el líquido por medir. La resistencia eléctrica a través de los electrodos se registra a una temperatura estándar, generalmente 25°C.

#### **3.7.3. INTERFERENCIAS**

La temperatura afecta la conductividad y varía alrededor de 2% por cada grado Celsius. Para esta determinación no se permite la preservación química de las muestras.

#### **3.7.4. MATERIAL Y EQUIPO**

Muestra de suelo seco y molida en un mortero.

- Balanza analítica.
- Frascos de plástico de boca ancha de 250 ml.
- Vaso de precipitado de 100 ml.
- Bureta.
- Espátula.
- Papel filtro.
- Embudo Buchner.
- Pipeta de 10 ml.
- Matraz Kitazato.
- Piceta con agua destilada.
- Bomba de vacío.
- Probeta.
- Conductímetro.
- Frascos.
- Agua destilada.
- Matraz aforado de 100 ml.

### 3.7.5. SOLUCIONES

- Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.1 N. Disolver 0.7455 g de KCl en agua destilada y aforar a 100 ml.
- Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.01 N. Tomar una alícuota de 10 ml de la solución estándar de KCl 0.1 N y aforar a 100 ml.

### 3.7.6. PROCEDIMIENTO

#### *A. Preparación de la pasta de saturación.*

- 1) Pesar 40 g de suelo seco y colocarlo en un recipiente de plástico, si el suelo es arenoso o areno-migajoso pesar 600 g.
- 2) Agregar agua destilada con la bureta y mezclar con la espátula hasta saturación.
- 3) Golpear el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo para asentar el suelo.
- 4) La pasta estará lista cuando se observe un brillo en su superficie (formación de un espejo), esto no sucede en el caso de suelos con alto contenido de arcilla.
- 5) Anotar el volumen de agua gastado (ml).
- 6) Dejar reposar la pasta durante una hora y comprobar a criterio su saturación.
- 7) Tapar el recipiente y dejarlo reposar por tres horas, excepto suelos arcillosos que deben dejarse reposar 24 horas.

#### ***B. Obtención del extracto del suelo.***

- 1) Colocar papel filtro sobre el embudo, humedecerlo con agua destilada, dejando drenar el exceso. Conectar el sistema de filtración al vacío.
- 2) Mezclar nuevamente la pasta y colocarla en el embudo y aplicar vacío.
- 3) Obtener un extracto de aproximadamente 50 ml.

#### ***C. Determinación de la conductividad eléctrica.***

- 1) Calibrar el conductímetro. Antes de usar el medidor de conductividad debe calibrarse con una solución estándar. Para esto se requiere de dos soluciones de KCl, 0.1 N y 0.01 N, con

cada una se ajusta el equipo a la conductividad indicada en el cuadro siguiente:

CUADRO 19

## AJUSTE DE CONDUCTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA SOLUCIÓN DE KCl

Sol. estándar de KCl	Conductividad eléctrica a 25°C
0.1 N	12.9 dS/m
0.01 N	1.412 dS/m

Fuente: Elaboración propia.

Cuando no se sabe la conductividad de la muestra se recomienda calibrar primero con una de las dos soluciones y tomar la lectura de la muestra, después volver a calibrar con la segunda solución y tomar nuevamente la lectura. Para calibrar finalmente el equipo, se debe elegir la solución con la que se aproxime más la conductividad de la muestra.

- 2) Leer la conductividad eléctrica y la temperatura del extracto. Si la lectura se toma en  $\mu\text{mhos}$ , transformar los resultados a  $\text{mmhos}$  o  $\text{dS}$  dividiendo entre 1 000.
- 3) Si es necesario, hacer corrección consultando la tabla de factores de corrección para diferentes temperaturas, se multiplica el resultado de conductividad eléctrica por el valor correspondiente.

## CUADRO 20

FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN  
FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

Temperatura (°C)	Factor de corrección	Temperatura (°C)	Factor de corrección
8	1.499	22	1.067
10	1.421	23	1.044
12	1.350	24	1.021
14	1.284	25	1.000
16	1.224	26	0.979
18	1.168	28	0.941
19	1.142	30	0.906
20	1.128	32	0.873
21	1.092	34	0.843

Fuente: Elaboración propia.

**3.7.7. CÁLCULOS**

La unidad estándar de conductividad eléctrica es el siemens/metro (S/m = Ohm/m), pero para evitar la expresión de resultados en pequeñas fracciones decimales se usa generalmente una unidad más pequeña:

El miliSiemens/metro (mS/m). Aunque la conductividad generalmente es reportada en  $\mu\text{mhos/cm}$ .

$$1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{mhos/cm}.$$

Para convertir la conductividad eléctrica en unidades de salinidad (tabla 4.4), se toma el valor de referencia de una solución de NaCl 0.05 N con una conductancia de 604  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25°C como el factor, que al multiplicarlo por la conductividad expresa la salinidad.

$$\text{Salinidad} = \text{mhos / cm} \times 604$$

### 3.8. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CIC

Introducción: Todas las moléculas, en mayor menor medida, tienen minúsculas cargas eléctricas, positivas y/o negativas. Por ello, en el suelo actúan como pequeñas imanes, formando entre ellas estructuras que pueden ser muy simples, como la atracción entre una partícula de arcilla cargada negativamente y una partícula de un fertilizantes cargado positivamente; o muy complejas, como cuando hay la materia orgánica, con infinidad de capas eléctricas de ambos signos.

La CIC capacidad de intercambio catiónico es la capacidad del suelo para retener e intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumentara notablemente con la presencia de materia orgánica, y podrá decirse que es la base de lo llamamos fertilidad del suelo.

Catión, ion cargado positivamente ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{k}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) o anión cargado negativamente ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc...).

#### 3.8.1. MÉTODO

Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) de los suelos, empleando acetato de amonio.

#### 3.8.2. PRINCIPIO Y APLICACIÓN

El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ión amonio; lavado del exceso de saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con

potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio, y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido.

### 3.8.3. MATERIAL Y EQUIPO

- Tubos de centrífuga de 50 ml con fondo redondo.
- Agitador mecánico.
- Centrífuga con capacidad para 8 o 16 tubos.
- Matraces volumétricos de 100 ml.
- Matraces Erlenmeyer de 125 ml.
- Aparato de destilación.

### 3.8.4. SOLUCIONES

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa. Cuando se hable de agua se debe entender agua desionizada o destilada. Las soluciones para este análisis deben almacenarse en recipientes de polietileno.

- 1) Solución de acetato de amonio 1.0 N, pH 7.0. Diluir 57 ml de ácido acético glacial (99.5%) con agua a un volumen de aproximadamente 500 ml. Agregar 60 ml de hidróxido de amonio concentrado, diluir con agua a

un volumen de 990 ml, mezclar, ajustar a pH 7.0 y diluir a un volumen final de 1 L con agua. Una alternativa consiste en pesar y disolver 77 g de acetato de amonio ( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ) en 900 ml de agua y de ser necesario ajustar a pH 7.0 y entonces completar a 1 L con agua.

- 2) Alcohol etílico grado industrial.
- 3) Solución de cloruro de sodio al 10%. Pesar 100 g de cloruro de sodio grado analítico y disolver en 1 L de agua, empleando un matraz aforado.
- 4) Solución de cloruro de amonio 1N. Pesar 53.50 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 Empleado un matraz aforado.
- 5) Solución de cloruro de amonio 0.25N. Pesar 13.38 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 L empleando un matraz aforado.
- 6) Indicador mixto. Mezclar volúmenes iguales de rojo de metilo al 0.66% y de verde de bromocresol al 0.99%. Ambos disueltos en etanol al 95%.
- 7) Solución de ácido bórico. Usar  $\text{H}_3\text{BO}_3$  al 2% en agua destilada que contenga 10 ml del indicador por litro.
- 8) Ácido clorhídrico 0.01 N, valorado.
- 9) Hidróxido de sodio al 40%. Disolver 400 g de  $\text{NaOH}$  en agua destilada y llevar a 1000 ml.
- 10) Nitrato de plata 0.1 N. Disolver 16.98 g de  $\text{AgNO}_3$  en agua destilada y llevar a 1000 ml.
- 11) Solución de lantano acidificada. Pesar 7.742 g de  $\text{La}(\text{NO}_3)\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en un matraz volumétrico de 250 ml con agua destilada añadir 17.5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado y aforar.

- 12) Solución diluida de lantano acidificada. Tomar 50 ml de la solución de lantano acidificada en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar con agua destilada.
- 13) Solución de cloruro de cesio acidificada. Disolver 11.12 g de CsCl y 250 ml de  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  en 500 ml de agua en un matraz volumétrico de 1 000 ml, añadir 20 ml de  $\text{HNO}_3$  2 M y aforar con agua.
- 14) Solución de ácido nítrico 2 M. Diluir 7 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado en agua, aforar a 100 ml en un matraz volumétrico.

### 3.9. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELO

#### 3.9.1. PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar 5 g de suelo secado al aire y tamizado por malla de abertura de 2 mm y transferirlo a un tubo de centrifuga de 50 ml. Agregar 33 ml de solución de acetato de amonio. Tapar y agitar en posición horizontal durante 10 minutos. Luego, centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro. Esto se logra fácilmente centrifugando a 2 500 rpm. Decantar el líquido en un matraz de 100 ml y repetir la extracción otras dos veces; aforar con acetato de amonio y guardarlo para la posterior determinación de las bases intercambiables (solución A).
- 2) Agregar 30 ml de la solución de cloruro de amonio 1 N; agitar durante 10 minutos y luego centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro y desecharlo. Adicionar 30 ml de la solución de cloruro de amonio 0.25 N, agitar durante 10 minutos, centrifugar y desechar el sobrenadante. Lavar la muestra con porciones de alcohol de 30 ml agitando durante 10

minutos, centrifugar y eliminar el sobrenadante cada vez. El lavado termina cuando la prueba de cloruros en el decantado es negativa.

- 3) Prueba de cloruros. Pipetear 10 ml del sobrenadante alcohólico en un tubo de ensaye y agregar 4 o 5 gotas de nitrato de plata, si se observa un ligero precipitado blanco, la reacción es positiva y se debe continuar el lavado hasta que la prueba de cloruros sea negativa.
- 4) Reemplazar el amonio adsorbido con tres porciones de 33 ml de cloruro de sodio al 10%, agitando durante 10 minutos y centrifugando cada vez. Decantar cada reemplazo en un matraz volumétrico de 100 ml y completar al volumen. Determinar el amonio a partir de una alícuota de 10 ml, la cual se transfiere a un matraz Kjeldahl de 300 ml, se le agregan aproximadamente 8 ml de NaOH al 40% y se conecta al aparato de destilación microkjeldahl. Recoger el producto de la destilación en un matraz Erlenmeyer que contenga 10 ml de mezcla de indicador y ácido bórico. Determinar por

Titulación con HCl 0.01N.

### 3.9.2. CÁLCULOS

La capacidad de intercambio catiónico expresado en  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$  de suelo (CIC) se calculará de la forma siguiente:

$$\text{CIC} = (F) (V) (N).$$

En donde:

V = volumen (ml) de HCl empleado al titular lo destilado en la solución  
borrada.

N = normalidad del HCl; y

$$F = \frac{100}{\text{Alicuota}} \times \frac{100}{\text{Peso del suelo}}$$

Alicuota      Peso del suelo

Si la alícuota = 10 ml y peso de suelo = 5 g, entonces F= 200.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Ph

Según la clasificación de la clasificación de la USDA, el pH del suelo es alcalino.

#### 4.2. CONDUCTIVIDAD

La conductividad indica que el suelo es 2.8 mS/cm, lo cual indica una moderada concentración de sales.

#### 4.3. CONCENTRACIÓN DE CATIONES Y ANIONES EN EXTRACTO

CUADRO 21

#### CONCENTRACIÓN EN EXTRACTO

Cationes	Concentración (meq/l)	Aniones	Concentración (meq/l)
Sodio	41.22	Cloruros	89.85
Potasio	28.00	Sulfatos	68.25
Calcio	604.29	Carbonatos	24.00
Magnesio	174.60	Bicarbonatos	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un exceso de calcio, cloruros, sulfatos y sodio, este representa alrededor del 80% del total de los ationes analizados y se encuentra en combinación directa con los cloruros, sulfatos y bicarbonatos encontrados en el suelo. Las concentraciones de calcio y magnesio se encuentran por encima de los requerimientos mínimos para un buen desarrollo radicular. La concentración de cloruros y sulfatos son tóxicas para el desarrollo de las plantas. El cloruro de sodio es el responsable de la dispersión de las arcillas lo que provoca el encostramiento superficial y problemas de permeabilidad al agua.

#### 4.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Los constituyentes superficiales activos de los suelos que tienen propiedades de intercambio de cationes se llaman en conjunto “complejo de intercambio”. La cantidad total de cationes intercambiables que un suelo puede retener se denomina “capacidad de intercambio catiónico” (CIC) y generalmente se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

A partir de la CIC se expresan las cantidades relativas de varios cationes intercambiables presentes en el suelo, como porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico.

#### 4.5. PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

CUADRO 22

PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Unidades	CIC	Ca	Mg	Na	K
meq/100g suelo	33.25	31,10	16,30	4,58	1.28
%	100	60.42	17.46	49.62	2.8

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse el calcio y magnesio en el complejo de cambio ha desplazado al sodio generando los problemas de intoxicación que se presentan visiblemente en el suelo. Por lo tanto se debe recuperar esa pérdida y a su vez lograr la disminución del PSI desde su valor actual del 50% hasta un porcentaje inferior al 15%.

#### 4.6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el proceso de intercambio catiónico, el desplazamiento del catión sodio va a estar condicionado por la presencia del agua. La incorporación y su transporte a través del perfil del suelo es el factor limitante en este proceso de intercambio catiónico. Por esta razón, el objetivo de este primer ensayo fue determinar:

##### 4.6.1. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN UN PERFIL DE SUELO DE 15 CM DE ESPESOR

CUADRO 23  
INFORMACIÓN DEL SUELO

Análisis	
Textura	Arcillo arenoso
Capa compactada	Superficial (2 cm)
Raíces	No
Vegetación	No
Profundidad del horizonte superior	30 cm
Rocas	Despreciable
Color	Pardo rojizo
Olor	s/o
Agregados	Minerales
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.23
Contenido de agua en volumen (g/cm <sup>3</sup> ) Y proporción agua:suelo	0,033
Porosidad del suelo (%)	53.5
Porosidad de aireación del suelo	50.12
Fracción de humedad del suelo	0.026
Espacio de poros ocupado por agua (%)	6.58
Porcentaje de agua del suelo en volumen (%)	3.33
Volumen de rocas (cm <sup>3</sup> ) por 350 cm <sup>3</sup> de suelo.	Despreciable

Fuente: Elaboración propia.

## CUADRO 24

## ESTRUCTURA DEL SUELO

ESTRUCTURA				
Tipo	Tamaño	Grado	Índice de estructura	Desleimiento O estabilidad
En bloques	Medio-grueso	Fuerte	50%	Clase 5

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.2. VOLUMEN DE AGUA LIXIVIADA

Para que el suelo alcance su estado de saturación (capacidad de retención hídrica) y permita un mínimo volumen de lixiviado se requieren de grandes volúmenes de agua. Los tiempos para que la lámina de agua atraviese el perfil del suelo es de aproximadamente 10 días. Para el trabajo de campo se deberán tener en cuenta estos datos para no aplicar en una sola etapa grandes volúmenes de agua.

#### 4.6.3. CAPACIDAD DE RETENCIÓN HÍDRICA

Cantidad de agua necesaria para llevar el suelo a saturación.

#### 4.7. PRIMER ENSAYO

Como primer paso, se procedió al armado de las columnas de suelo, para lo cual se utilizaron lechos percoladores contruidos con las mitades superiores de botellas de PET de 2.25 litros de capacidad, soportada boca abajo por sus medias botellas correspondientes. Se utilizó agua destilada de conductividad 0.01 mS/cm. El suelo utilizado en algunos casos fue tamizado en 2 y 4 mm.

Los datos obtenidos son los siguientes:

CUADRO 25  
PRIMER ENSAYO

Muestra	Granulometría	Textura	Volumen de suelo	Volumen de agregado	Volumen de Agua lixiviada	CE del suelo lavado	CE del lixiviado
5	2mm	Arcillo Arenosa	100	200	20	4.4	3.40
6	2mm	Arena	100	150	90	>1	0.3
7	Sin tamizar	Arcillo arenosa	200	200	45	5.4	0.45
8	4mm		200	200	11	-	15.27
9	Con partículas		200	200	13.2	-	0.72
10	4mm		200	200	30	8.30	0.73
11	Sin partículas finas		100	200	28	7.36	0.45

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 26  
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Muestra	Volumen de agua	Volumen de suelo	Tiempo	Velocidad de infiltración		
				cm3/min	cm3/h	cm3/s
5	200	100	10 días	0.013	0.83	0.00022
6	150	100	2 minutos	75	4500	1.25
7	200	200	23 minutos	8.69	521.4	0.15
8	200	200	10 días	0.014	0.833	0.0002
9	200	200	8 días	0.017	1.04	0.0003
10	200	200	5 minutos	40	2400	0.66
11	200	100	2 minutos	100	6000	1.67

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7.1. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

De los ensayos realizados se concluye que el suelo en estudio se comporta de la siguiente forma: posee una velocidad de infiltración muy rápida, de 521,4 cm<sup>3</sup>/h cuando el suelo se encuentra sin tamizar. Esto se debe a que el suelo presenta agregados compactos que necesitan más tiempo para pasar a estratos que impiden que el agua penetre en su superficie en forma homogénea pasando, entonces, a través de grietas y canalículos entre terrones.

Posee una velocidad de infiltración lenta, menor a 1 cm<sup>3</sup>/h cuando el suelo se encuentra tamizado. En este caso se comprobó que los suelos más finos retienen mayores volúmenes de agua y que a su vez, esta necesita más tiempo para pasar a través del perfil.

#### **4.7.2. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DEL SUELO Y DEL LIXIVIADO COMO CONSECUENCIA DEL LAVADO**

En la botella 5, después de los 10 días que demoró el volumen de agua en atravesar el suelo, se observó una variación importante de la conductividad en el suelo (7.34 mS/cm de conductividad inicial versus 4.4 mS/cm de conductividad final). El agua lixiviada también presentó una conductividad importante, ya que arrastró una gran cantidad de sales, una vez producido el “lavado” (0.01mS/cm de conductividad inicial versus 3.4 mS/cm de conductividad final).

#### **4.8. SEGUNDO ENSAYO**

Una vez conocida la capacidad que tiene el suelo para lavar las sales en exceso, se procedió a determinar la cantidad de mejorador necesario para disminuir el porcentaje de sodio intercambiable de 50% a valores inferiores a 15%. Para este ensayo se utilizaron las columnas de suelo armadas en el primer ensayo. Estas fueron llenadas con suelo hasta una altura de 30 cm que es la profundidad de restauración deseada. El volumen de suelo contenido en las columnas así como también su densidad aparente, fue registrado en la hoja de trabajo para hacer el cálculo de la enmienda. El suelo empleado fue el caracterizado para el ensayo anterior y tamizado en 4mm. Se incorporó yeso

comercial ( $\text{CaSO}_4$ ) en la superficie del suelo dentro de las columnas. El mismo fue calculado en la proporción necesaria para disminuir el PSI al valor propuesto 15%. En este caso se realizó también un control de los lixiviados a fin de observar el cambio en las propiedades del suelo, tanto en su parte física a través de una mejor permeabilidad y aumento del volumen lixiviado, como en la parte química a través del intercambio de cationes.

El lavado del suelo se realizó con agua destilada. Se prepararon tres columnas, todas con el suelo caracterizado y con el mismo volumen de suelo agregado. A las columnas denominadas 3 y 4 se les incorporó la mitad de la dosis requerida de yeso. En cambio en la columna 5 se incorporó la dosis total de yeso calculada (12 gramos). Los datos de los resultados obtenidos luego del ensayo son los siguientes:

CUADRO 27

## RESULTADOS PREVIOS A LA ENMIENDA

<b>Na</b> (me/100g)	16.3
<b>Ca</b> (me/100g)	: 11.1
<b>Mg</b> (me/100g)	: 4.58
<b>K</b> (me/100g)	: 1.28
<b>CIC</b> (me/100g)	: 33.26
<b>PSI</b> %	:49.7

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 28

## SEGUNDO ENSAYO

<b>COLUMNAS</b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>	<b>5<sup>a</sup></b>
<b>Na</b> (me/100g)	5.49	5.19	1.24
<b>Ca</b> (me/100g)	23.55	21.55	0.24
<b>Mg</b> (me/100g)	2.71	0.42	0.67
<b>K</b> (me/100g)	2.32	2.29	0.43
<b>CIC</b> (me/100g)	34.07	29.45	17.62
<b>PSI</b> %	16.11	17.62	8.68

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 29  
LIXIVIADOS ANALIZADOS

Lixiviados (meq/l)	Columna 3	Columna 4
Sodio	145.8	164.4
Potasio	1.27	1.33
Calcio	28.9	33.7
Magnesio	4.9	5.5
Cloruros	45.48	51.25
Sulfatos	120.62	138.54
Carbonatos	N/C	N/C
En	12.10	13.91

Fuente: Elaboración propia.

En los tres casos se logró disminuir el porcentaje de sodio intercambiable. La eficacia de la enmienda es mayor en la quinta columna ya que en ella el PSI es 8.68%, teniendo en cuenta que en esta columna se utilizó la totalidad de la enmienda calculada. En los lixiviados analizados se puede observar que existe una mayor concentración del catión Sodio, que es el que se desea reemplazar y que está asociado directamente a los sulfatos incorporados en la enmienda.

## CONCLUSIONES

Se han identificado cuatro perfiles de suelo.

El suelo está compuesto por partículas areno arcillosas, en su mayor proporción se encuentran partículas de arcilla montmorillonítica.

Luego de realizada la enmienda química se observó un aumento en la velocidad de infiltración del suelo, lo que implica una mejoría de sus propiedades físicas.

Los agregados de suelo superficial presentan una estructura en forma de bloques, siendo los más pequeños de un tamaño comprendido entre los 5 y 10 mm de diámetro.

Las velocidades de infiltración del suelo son bajas.

Se puede utilizar y con un buen rendimiento el sulfato de calcio como enmienda química para restaurar este sitio específicamente.

El mejor rendimiento se obtiene con una menor granulometría del suelo.

La homogenización de la mezcla suelo yeso favorece la eficiencia de la enmienda química.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar haciendo pruebas utilizando carbonato de calcio.

Se recomienda utilizar también azufre para poder establecer comparaciones de costos.

Posteriores investigaciones pueden hacer variar sustancialmente las presentes conclusiones y recomendaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arche A. (19899 – Sedimentología. Colección. Nuevas Tendencias., Vols. 11 – 12., pp. 526. C.S.I.C. Madrid
- Andaluz, C. & C. Valdez 1995. "Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Actualizado, Concordado y Sumillado". Proterra, Segunda Edición, Lima. 237 p.
- Anónimo (1924) – Yacimientos petrolíferos de Huancané. Síntesis de la minería peruana en el centenario de Ayacucho.,pp. 117 – 133. Lima
- Bowman J. (1916) – The Andes of Southern Perú. New York
- Cabrera La Rosa A., Petersen G. (1936) – Reconocimiento de los yacimientos petrolíferos del Departamento de Puno. Boletín N° 115 Cuerpo de ingenieros de minas del Perú.,pp. 72. Torres Aguirre. Lima
- Campbell J.A Y W.W. Lamar 1989. "The Venomous Reptiles of Latin America". Cornell University Press
- CDC, UNALM 1995 (Varios autores). "Reporte Tambopata. Resúmenes de investigaciones en los alrededores del Explorer's Inn, antigua Zona Reservada Tambopata". UNALM, Lima.
- Cites. 1995. "Lista de Especies de Flora y Fauna" - Apéndices I y II.

- Conservation International. 1994. "The Tambopata – Candamo Reserved Zone of Southeastern Perú: A Biological Assessment". Washington.
- Conservación Internacional & Museo De Historia Natural. 1996. Lecturas generales, Grupo Taxonómico: Botánica. pag. varia. Lima. Perú.
- Conservación Internacional, 1997. "Evaluación de Impactos Sociales y Ambientales de Actividades de Exploración Petrolera en el Lote 78, Resultados Preliminares". CI, Peru Program & Conservation Biology Program.
- Conservación Internacional, 1997. "Ecological Characterization of the Candamo River Valley, Peru". CI, Peru Program & Conservation Biology Program.
- Costales, Piedad y Alfredo. 1983 "Amazonía, Ecuador, Perú y Bolivia". Ed. Mundo Shuar, Quito
- Dawkins, H.. 1958. "The Management of Natural Tropical High Forest with Special Reference to Uganda". Imperial Forestry Institute, Oxford, Inglaterra.
- Deustua R. (1921) – El Petróleo en el Perú. Lima
- Emmons, L.H. 1990. "Neotropical Rainforest Mammals". The University of Chicago Press
- GEMA; 1994. "Estudio de Impacto Ambiental, Prospección Sísmica, Sector Tambopata". Departamentos de Madre de Dios y Puno. Producido para Mobil Exploration & Producing Peru Inc. Sucursal del Peru.
- GENTRY, A.H. 1993. "Handbook of the Flora of Northwestern of South America (Colombia, Ecuador and Perú)". Conservation International, Missouri Botanical Garden Press. 750 p

- GENTRY, A.H. & R. Ortiz. 1993. "Patrones de Composición Florística en la Amazonía Peruana". En: Amazonía Peruana, R. Kalliola et al, Gummerus Printing, Finlandia, pp 155 - 166.
- GTZ / INRENA 1996. "Diversidad biológica del Perú, zonas Prioritarias para su conservación". Proyecto de Cooperación técnica Perú-Alemania.
- Hastings, Ch; Parsons, J. R. 1988. "The Late Intermediate Period in Peruvian Prehistory". Richard Keatingue (Ed). Cambridge University Press, London.
- Hilty S.L, W.L. Brown 1986 "Birds of Colombia". Princeton University Press
- INRENA 1994. "Diagnóstico del Sistema Nacional de Areas Naturales Protegidas (Versión Preliminar)". Plan Director del Sistema Nacional de Areas Protegidas, Proyecto de Cooperación Técnica Perú-Alemania.
- INRENA 1995. "Mapa Ecológico del Perú, Guía Explicativa", Ministerio de Agricultura
- INRENA. 1996. "Compendio de Normas Ambientales". Volumen II, INR 46-DGMAR
- Kalliola, R. et al 1993. "Amazonía Peruana: Vegetación del Llano Subandino". Proyecto Amazonía, Universidad de Turku - ONERN. 265 p
- Kauffman D., F. 1988. "Investigaciones Arqueológicas en los Andes Amazónicos". Lima
- Klute, A. 1986. "Methods of Soil Analysis" Part 1 ASA No. 9. American Society of Agronomy, 2nd. Edition
- Lathrap, D.W. 1970. "The Upper Amazon". Thames and Hudson, Great Britain.

- Lathrap, D.W. & L. Roys. 1963. "The Archeology of the Cave of the Owis in the Upper Mountain of Perú". American Antiquity, Salt Lake City. Vol 29, N° 1, pp 27-38
- Lathrap, Donald 1981 "La antigüedad e importancia de las relaciones de intercambio a larga distancia en los trópicos húmedos de Sudamérica precolombina", En: Amazonía Peruana, Vol. 4, Nro.7:79-97. CAAP, Lima.
- Lisson C. (1925) – Como se generó el suelo peruano. Boletín de la Soc. Geológica., t1., pp. 98. Lima
- Lopes O. (1908) – Los Yacimientos del petróleo del Sindicato Petrolero del Titicaca. Inf. Y Memorias de la Sociedad de Ingenieros., Vol. X., N° 12., Lima
- Malleux, J. 1975. "Mapa Forestal del Perú" (Memoria Explicativa). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 184 p
- Meggers, Betty y EVANS, Clifford. "La reconstrucción de la prehistoria amazónica" En: Amazonía Peruana, Vol. 4, Nro.7: 15-29. CAAP, Lima.
- Meggers, B. & C. EVANS. 1961. "An Experimental Formulation of Horizon Styles in the Tropical Forest Area of South America". Essays in Pre-columbian art and archeology. Harvard University Press, Cambridge. pp 372-388, 478-479.
- Meggers, B. 1973. "Amazonía: Man and Culture in a Cousterfelt Paradise". Chicago: Aldine.
- MEM. 1993a. "Decreto Supremo No. 046-93-EM - Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos". Lima, Perú.

- MEM. 1993b. "Decreto Supremo No. 055-93-EM - Reglamento de las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos". Lima, Perú.
- MEM. 1994. "Protocolo de Calidad de Aire y de Monitoreo de Fuentes de Emisiones". Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
- MEM. 1995. "Modificatoria al Decreto Supremo No. 046-93-EM". Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
- MINAG 1975. "Reglamento de Clasificación de Tierras". Ministerio de Agricultura, Lima, Peru
- Myers, T.P. 1983. "Redes de Intercambio Temprano en la Hoya Amazónica". En : Amazonía Peruana, Vol. IV, No. 8:61 – 75. CAAP, Lima.
- Myers, T.P. 1988. "Visión de la Prehistoria de la Amazonía Superior". En I Seminario de Investigaciones Sociales en la Amazonía Peruana. Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía, Iquitos, Perú
- Neveu Lemaire M. (1910) – El Lago Titicaca. Traducido del francés por B.Díaz Romero. Boletín de la Dirección de Fomento. Año VIII. Nos. 3,4y 10
- ONERN 1972. "Inventario, Evaluación e Integración de los Recursos Naturales de la Zona de los ríos Inambari y Madre de Dios. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima. 369 p.
- Page, A, L. 1982. "Methods of Soil Analisis" Part 2 ASA No. 9. American Society of Agronomy, 2nd. Edition
- Panaifo, M. 1995. "Informe Arqueológico del Estudio de Impacto Ambiental del Lote 78", WALSH Perú, Lima.
- Petersen G. (1935) – Catálogo de las manifestaciones superficiales del petróleo en el Perú. Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú. Serie Memorandums N° 9

- Poth C. (1893) – Estado actual de la Minería de Puno. Boletín de Minas. Año9., N° 7. Lima
- Portales, P. 1914. "Departamento de Madre de Dios", Boletín de Sociedad Geográfica de Lima, Tomo XXX, Trimestres I y II, pag. 139 – 187.
- Rasmuss J E. (1935) – Informe sobre la Región Petrolífera de Puno. Boletín Of. De la Dirección Minas e Industrias. Ministerio de Fomento., Año 15 N° 45.,pp. 105. Lima.
- Richards, 1969 "Diagnosis & Improvement of Saline & Alkali Soils". USDA. Handbook 60.
- Shimada, I; "Horizontal Archipelago and Coast-Highland interaction in North Peru: Archaeological Models". En: El hombre y su ambiente en los Andes Centrales; Luis Millones y H Tomoeda (Eds.). SENRI Ethnological Papers No. 10. Osaka
- Soil Survey Division Staff, 1993. "Soil Survey Manual", USDA
- Soil Survey Staff. 1992. "Keys to Soil Taxonomy". SMSS Technical Monograph N° 19, Fifth Edition, Pocahontas Press, Inc, Blacksburg, Virginia, 541 p.
- Stotz D.F, J.W. Fitzpatrick, T.A. PARKER III, D.K. MOSKOVITZ, 1996. "Neotropical Birds, Ecology and Conservation", The University of Chicago Press, Chicago 478p.
- Villarejo, A. 1988. "Así es la Selva". Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía, Iquitos, Perú, Cuarta Edición. 330 p.
- WALSH, 1996. "Addendum al Estudio de Impacto Ambiental de la Campaña Sísmica en el Area de Tambopata – Lote 78". Preparado para Mobil Exploration & Producing Peru Inc.

WALSH, 1996 - 1997. "Reportes de Monitoreo Ambiental, Campaña Sísmica en el Area de Tambopata – Lote 78. Preparado para ". Preparado para Mobil Exploration & Producing Peru Inc.

WALSH, 1996 - 1997. "Reportes Ecológicos de Lineas", Campaña Sísmica en el Area de Tambopata-Candamo, Lote 78. Preparado para Mobil Exploration & Producing Peru Inc.

WCMC. 1994. "Perú - Conservation Status Listing of Plants". Compiled from The World Conservation Monitoring Center Plants Database, Washington D.C..