



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ANÁLISIS DE RIESGO POR FALLA DE LA PRESA LAGUNILLAS

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. HUBER RUIZ COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis padres por ser mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona siempre estuvieron apoyándome moralmente, económicamente e hicieron que cumpla mis metas por ello dedico con mucho cariño y amor.

Por último, se lo dedico con mucho amor y cariño a mi esposa e hija que me motivan día a día para seguir adelante.

Huber Ruiz



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme por el buen camino y permitirme la superación en los estudios, por regalarme la sabiduría y humildad a cada momento, para ser ciudadano de bien.

Agradezco a mis padres, hermanos y mi esposa que me motivaron para seguir adelante y me apoyan moralmente.

Agradezco profundamente a mi Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la cual me siento muy orgulloso ser parte ello.

Agradezco a la plana docente por brindarme los conocimientos, enseñanzas durante mi periodo de formación como estudiante Universitario.

Huber Ruiz



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES 17

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 20

1.3. JUSTIFICACIÓN 21

1.4. HIPÓTESIS 21

1.5. OBJETIVO DEL ESTUDIO 22

1.5.1. Objetivo general 22

1.5.2. Objetivos específicos..... 22

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 23

2.2 MARCO TEÓRICO..... 25

2.3 MARCO GEOLÓGICO 33

2.3.1 Geología regional..... 33



2.3.2 Geología estructural	37
2.3.3 Geomorfología	39
2.3.4 Micro tectonismo de la presa Lagunillas.	43

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES (HERRAMIENTAS Y EQUIPOS)	45
3.1.1. Materiales y herramientas	45
3.1.2. Equipos	45
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO	46
3.3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO IGME	46
3.3.1. Índice de probabilidad de rotura del dique de contención o el talud de presas (IP FPPE).....	46
3.3.2. Escala de índice de probabilidad.....	54
3.3.3. Evaluación y escala del índice de la severidad	54
3.3.4. Matriz de valoración de las probabilidades y severidad del riesgo	55
3.4. VARIABLES.....	56

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	57
4.2. ACCESIBILIDAD.....	57
4.3. CLIMA	57
4.4. VEGETACIÓN.....	58
4.5. SISMICIDAD.....	58
4.6. HIDROLOGÍA	58
4.6.1. Niveles y volúmenes hidráulicos del embalse Lagunillas	61



4.7. GEOLOGÍA LOCAL.....	64
4.7.1. Brecha andesítica	64
4.7.2. Características de las rocas volcánicas	65
4.7.3. Afloramiento de rocas volcánicas andesíticas	66
4.7.4. Afloramiento de material cuaternario	66
4.8. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	66
4.9. CARACTERIZACIÓN ESTEREOGRÁFICA	67
CAPITULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS DE LA PRESA LAGUNILLAS.	69
5.1.1. Características geológicas	69
5.1.2. Características geotécnicas	70
5.2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGO DE FALLA DE LA PRESA LAGUNILLAS.....	71
5.2.1. Valoración de la probabilidad de rotura del dique de la presa Lagunillas ...	72
5.2.2. Resultado del valor de la posible rotura de la presa Lagunillas.....	75
5.2.3. Índice de severidad de los efectos sobre las personas y la población derivado del fallo o rotura del dique de contención de la presa IS(FREPO).	76
5.2.4. Índice de severidad de los efectos sobre medio natural derivado del fallo o rotura del dique de contención de la presa IS (FPRENA).	77
5.2.5. Índice de severidad de los efectos sobre el medio socioeconómico derivado del fallo del dique o el talud de la presa (FPRESE).....	78
5.2.6. Matriz de valoración del riesgo de la presa Lagunillas.....	79
VI. CONCLUSIONES	81



VII. RECOMENDACIONES	82
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS.....	86

Área : Geotecnia

Tema : Análisis de riesgo por falla de la presa Lagunillas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03 de diciembre 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Columna estratigráfica Regional.....	37
Figura 2: Imagen satelital de unidades geomorfológicas con pendientes moderadas. .	42
Figura 3: Matriz de riesgo propuesta por el IGME para la evaluación del riego y la calificación de accidentes.	55
Figura 4: Mapa de subcuenca de Lagunillas.	60
Figura 5: Curva altura – Área – volumen del embalse Lagunillas.	63
Figura 6: Brechas totalmente alteradas y erosionadas en la parte superficial.	65
Figura 7: Estribo izquierdo, (Brecha andesita fracturada con ligera meteorización la calidad de roca regular).....	68
Figura 8: Estribo derecho (brecha andesítica muy fracturada e intemperizada la calidad de roca mala).....	68
Figura 9: Valor de Índice de probabilidad de ocurrencia (IpFPRE)en función de la peligrosidad (PePRE) para la presa lagunillas.	75
Figura 10: Matriz de riesgo de valoración de la presa Lagunillas.....	80



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Casos de rotura de presas ocurrida en el Perú.	20
Tabla 2: Criterios de valoración del factor de diseño y características constructivas del dique de la presa (DC).	47
Tabla 3: Criterios de valoración del factor volumen de material almacenado (VOL)	48
Tabla 4: Criterios de valoración del factor emplazamiento (EMP).	49
Tabla 5: Matriz para la determinación del factor integridad física del dique (IF).	50
Tabla 6: Asignación de valores a los subfactores del balance hídrico relativos en presas (BH).	51
Tabla 7: Evaluación de los factores que definen la peligrosidad asociada al emplazamiento de una presa.	53
Tabla 8: Escala general de valoración y clasificación de índice de probabilidad.	54
Tabla 9: Escala general de valoración y clasificación de índice de severidad.	55
Tabla 10: Vías de acceso al embalse Lagunillas.	57
Tabla 11: Características físicas del embalse Lagunillas.	59
Tabla 12: Relación Altura – Área – Volumen del embalse Lagunillas.	62
Tabla 13: Caudal máximo según el periodo de retorno.	63
Tabla 14: Características de las rocas volcánicas.	65
Tabla 15: Unidades Geomorfológicas.	67
Tabla 16: Resumen de calicatas.	71
Tabla 17: Valoración del factor de diseño y características constructivas del dique(DC) para la presa Lagunillas.	72
Tabla 18: Valoración del factor de emplazamiento (EMP) para la presa Lagunillas. ..	73
Tabla 19: Valores a los subfactores de balance hídrico (BH) laguna de decantación,	



nivel freático, aspectos climáticos, entradas y salidas de agua de la presa Lagunillas.....	74
Tabla 20: Valor de factor de peligrosidad ante la rotura de PePRE Para la presa Lagunillas.....	75
Tabla 21: Criterios de valoración del factor de población expuesta (Pex) en núcleos de población y viviendas aisladas ante el fallo del dique de contención del talud de la presa.	77
Tabla 22: Valoración de la vulnerabilidad ecológica de ecosistemas y elementos naturales expuesto en zona de riesgo derivado de fallo del dique o el talud de la presa	78
Tabla 23: Valoración de la vulnerabilidad económica del medio socioeconómico expuesto en zona de riesgo derivado del fallo del dique o el talud de la presa.	79



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AASTHO.	:	American association of state highway and transportation.
ASTM.	:	Asociación americana para ensayos y materiales.
BH	:	Balance de humedad.
Cm	:	Centímetro.
CELALA	:	Corredor Estructural Lagunillas Laraqueri.
CL	:	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad.
DC	:	Diseño y características constructivas.
DE	:	Desvió de aguas de escorrentía.
MMC	:	Millones de metros cúbicos.
E	:	Este.
EMP	:	Emplazamiento.
IF	:	Integridad física.
I _p FRE	:	Índice de probabilidad de rotura del dique.
FA	:	Farallones.
FPRENA	:	Efectos sobre el medio natural derivados de la rotura del dique.
FPREPO	:	Efectos sobre la población derivados de la rotura del dique.
FPRESE	:	Efectos sobre medio socioeconómico derivados de la rotura dique.
Fr	:	Posición del nivel freático del dique.
Fig	:	Figura.
Fm	:	Formación.
GC	:	Grava arcillosa, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla.
GM	:	Grava Limosa, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla.
GP	:	Gravas mal graduadas mezclas de grava y arena con pocos finos.



Gr	:	Gramos.
GW	:	Gravas bien graduadas mezclas de grava y arena con pocos finos.
Ia	:	Índice de aridez.
INDECI	:	Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú.
INGEMMET	:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
IGME	:	Instituto Geológico, Minero de España.
H	:	Altura del dique.
Hf	:	Cota de coronación de la presa.
Is	:	Índice de severidad.
Ip	:	Índice de probabilidad.
IP	:	Índice de plasticidad.
IRD.	:	Instituto de Investigación para el Desarrollo.
IS	:	Índice de severidad.
Kg	:	Kilogramos.
Km ²	:	kilómetros cuadrados.
Km ³	:	kilómetros cúbicos.
LD	:	Longitud del dique de coronación.
LF	:	Lecho fluvial.
LL	:	Limite líquido.
LP	:	Limite plástico.
m.	:	Metro.
M ³ /S	:	Metros cúbicos por segundo.
max	:	Máximo.
MAA	:	Montañas altas abruptas.



MAM	:	Montañas altas moderadas.
NAME	:	Nivel de agua máximo extraordinario.
NAMO	:	Nivel de agua máximo ordinario.
Ma	:	Millones de años.
Mat	:	Material de construcción del dique.
MC	:	Método de recrecimiento del dique.
MH	:	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos
MANI	:	Nivel de agua mínima.
MB	:	Montañas bajas.
ML	:	Limos inorgánicos y arenas muy finas polvo de roca.
min	:	Mínimo.
mm	:	Milímetro.
msnm	:	Metros sobre nivel del mar.
MMC	:	Millones de metros cúbicos.
N	:	Norte.
NP	:	No plástico.
N°	:	Numero.
O	:	Oeste.
⊖	:	Angulo en grados del dique.
PEBLT	:	Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca.
PEM	:	Peligrosidad asociada al emplazamiento (PEM)
Pulg	:	Pulgadas.
P ₂₄	:	Precipitación en 24 horas.
%	:	Porcentaje.



QAPF	:	Diagrama de Streckeisen.
QE	:	Caudal de escorrentía de la presa.
RQD	:	Calidad de roca.
RAE	:	Real Academia Española.
RV	:	Grado de revegetación.
S	:	Sur
SC	:	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla mal graduada.
SF	:	Sistema fluvial.
SUCS	:	Sistema unificado de clasificación de suelos.
Sus	:	Material del sustrato o cimentación.
SM	:	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduada.
SP	:	Arena mal gradada, arenas con grava con pocos finos.
SW	:	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos.
TEMP	:	Tipología de la presa.
Tn	:	Toneladas.
T°	:	Temperatura.
VM	:	Volumen muerto.
VOL	:	Volumen de sedimentos almacenados.
VT	:	Volumen total.
VU	:	Volumen útil.
VV	:	Valles en “V”.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se encuentra ubicado en la Distrito de Santa Lucia, Provincia de Lampa y en el Departamento de Puno. Los procedimientos que actualmente se utilizan para evaluar y gestionar la seguridad de las presas requieren la identificación de las posibles fallas que se puedan suscitar en la presa Lagunillas. Cuyo objetivo es analizar la influencia de la geología, geotecnia y los riesgos por falla en la presa Lagunillas, utilizando la metodología descriptiva, planteado por el IGME con el que se ha podido evaluar los niveles de riesgo; La presa Lagunillas se encuentra emplazada en el Grupo Tacaza. Los suelos adyacentes a la estructura de la presa Lagunillas, está conformado por suelos areno limosos de poco espesor, subyacente material rocoso de brecha andesítica. De acuerdo a la matriz de riesgos se tiene que el índice de probabilidad de ocurrencia es de 3.5 a 4 y el índice de severidad de consecuencias esta entre 4 a 5, por lo que los niveles de riesgos son muy altas.

Palabras claves: amenaza, diagnóstico, presa Lagunillas, riesgo geológico, vulnerabilidad.



ABSTRACT

This research work is located in the District of Santa Lucia, Province of Lampa and in the Department of Puno. The procedures currently used to assess and manage the safety of dams require the identification of possible failures that may arise in the Lagunillas dam. Whose objective is to analyze the influence of geology, geotechnics and the risks due to failure in the Lagunillas dam, using the descriptive methodology, proposed by the IGME with which it has been possible to evaluate the risk levels; The Lagunillas dam is located in the Tacaza Group. The soils adjacent to the Lagunillas dam structure are made up of thin silty sandy soils, underlying andesitic breccia rocky material. According to the risk matrix, the probability of occurrence index is 3.5 to 4 and the severity of consequences index is between 4 to 5, so the risk levels are very high.

Keywords: threat, diagnosis, Lagunillas dam, geological risk, vulnerability.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La presa Lagunillas se construyó en el año de 1995, existen varios estudios geológicos y geotécnicos, el cambio climático ha generado la intemperización del suelo en la parte superficial de la presa.

El cambio climático es un factor radical, que generó en estos últimos años alteraciones de las rocas mediante reacciones químicas puesto que el afloramiento es de brechas en la parte superficial y en las estructuras las rocas volcánicas como la andesita, se observa rocas muy fragmentadas debido al impacto de la temperatura y el agua originando como riesgo derrumbe de la presa. Los suelos adyacentes de la presa están totalmente alterados por agentes como agua y temperatura.

Una de sus causas es el calentamiento global que implica un aumento en la temperatura de la superficie de la tierra, que genera la evaporación de los cuerpos de agua superficiales y constantemente el incremento de la magnitud y frecuencia de las lluvias. El incremento en la evaporación de agua también será la causa de que la humedad del suelo se reduzca debido al alto índice de evaporación.

Localmente, se propone realizar una caracterización geológica y de riesgo geológico tendiente a obtener un diagnóstico que permita gestionar con seguridad la parte correspondiente a los riesgos y vulnerabilidad.

A nivel regional con la ocurrencia de sismos locales por reactivación de fallas locales principalmente en la zona noroeste de la región, se realizaron estudios de riesgo sísmico por parte de INGEMMET.



A nivel internacional la fenomenología nos muestra que muchos deslizamientos presentan un patrón anual de desplazamiento escalonado en respuesta a las variaciones casi periódicas de las precipitaciones estacionales y del nivel de los embalses. Otros problemas son las avalanchas de rocas, las ondas de impulso y los flujos de detritos. En Europa se han construido grandes presas destacando España por el desarrollo y la implementación de sistemas de gestión del riesgo como los trabajos del IGME, los cuales se toman como referencia para la presente investigación.

En el panorama internacional actualmente existe un acercamiento hacia las metodologías basadas en riesgo, respecto de la seguridad de presa, en el plano de la normativa y legislación de los países pioneros en la aplicación fueron Estados Unidos (a través del USBR), Australia y Holanda. Recientemente otros países como Francia o España están incluyendo aspectos del enfoque basado en riesgo en su legislación de seguridad de presas, en mayor o menor medida. Desde el punto de vista del cálculo, existe una carencia de herramientas específicas para la realización de los cálculos de análisis de riesgo, siendo habitual recurrir al desarrollo de modelos ad hoc para cada caso que se desee abordar.

A partir de la entrada en vigor del reglamento técnico de seguridad de presas y embalses (1996), se han abordado una serie de trabajos como la clasificación de las presas en función del riesgo potencial, la redacción e implementación de planes de emergencia, la elaboración de normas de explotación o los informes de revisión y análisis general de la seguridad de presas y embalses.

A la luz de la experiencia adquirida en esta última década, han surgido numerosos debates sobre la fijación de los niveles de seguridad razonablemente exigibles a estas estructuras, habiéndose editado al respecto una serie de guías técnicas como documentos



de consulta. Muchas de estas discusiones han sido plasmadas en congresos y jornadas técnicas que han tenido lugar en los últimos años.

La rotura de una represa es un fenómeno ocasional pero catastrófico. Existen muchos casos en diversos países que han ocasionado la pérdida de vidas humanas, económicas, de infraestructura y culturales.

El Perú cuenta con diversos tipos de represas que se caracterizan por poseer diferentes alturas y volúmenes de almacenamiento, todas necesarias para el desarrollo del país; no obstante, estas importantes infraestructuras pueden llegar a representar un gran peligro de producirse su colapso. Hace poco tiempo, debido a las intensas lluvias registradas en la provincia de Arequipa, la represa Aguada Blanca alcanzó el 90 % de su volumen máximo y aumentó su peligro de rotura por desborde. De acuerdo con los estudios realizados por el INGEMMET, resulta probable que muchas presas y diques presentan la posibilidad de fallar ante la ocurrencia de sismos e inundaciones, en otros casos debido a su construcción empírica, o que en el cálculo de diseño no se haya considerado el factor de sismicidad, seguidamente se muestra una cronología de causas posibles de rotura de presas ocurridos en Perú (ver tabla 1).

Tabla 1: Casos de rotura de presas ocurrida en el Perú.

DEPOSITO EMPRESA	ALTURA DEPOSITO		AÑO	CAUSA	CONSECUENCIAS	ESTADO DEL DEPOSITO
CASAPALCA CENTROMIN	60		1952	Sismo	Números muertos y contaminación del río Rímac	Abandonada
MILPO	60		1956	Sismo	Muchos muertos, interrupción de la carretera Pasco - Huánuco	Abandonada
ALMINVIRCA QUIRUVILCA	40		1962	Sismo de magnitud 6.7	Daños a la agricultura y obras de infraestructura	Abandonada
YAULI-YACU CENTROMIN	80		1968	Sismo	Interrupción de la carretera central y contaminación del río Rímac	Abandonada
RECUPERADA BUENAVENTURA	-		1969	Se desconoce	Daños a la agricultura y Huacho colpa	Se desconoce Abandonada
ALMINVIRCA QUIRUVILCA	40		1970	Sismo de 1970	Contaminación del río San Felipe	Abandonada
ALACOCHA	-		1971	Falla en drenaje	Contaminación del río Huallaga y daños al infraestructura vial.	Abandonada
TICAPAMPA ALIANZA	20		1971	Sismo	Tres muertos, destrucción de viviendas e interrupción de vía Huaraz-Lima	Abandonada
SAN NICOLÁS	-		1980	Se desconoce	Contaminación del río Tingo y daños a la agricultura.	Abandonada

Fuente: (INGEMMET, 1986).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presa Lagunillas forma parte del Proyecto Integral Lagunillas, el cual tiene como objetivo regular el recurso hídrico para incorporar treinta mil nuevas hectáreas a la agricultura y dotar de agua potable a las ciudades de Puno, Juliaca, Lampa y otros cercanos. Siendo la presa Lagunillas la segunda en importancia después de la de Poechos, represando 585 millones de metros cúbicos, nos sentimos comprometidos con la prevención de cualquier tipo de desastre que pueda ocurrir como consecuencia de las fallas en la seguridad de esta importante infraestructura.



Los procedimientos que actualmente se utilizan para evaluar y gestionar la seguridad de las presas requieren la identificación de unos modos de fallo específicos.

Un determinado modo de fallo queda descrito cuando se estipula el mecanismo concreto de rotura y los agentes o causas que lo provocan, razón por la cual nos planteamos la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los riesgos por falla de la presa Lagunillas?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presa Lagunillas está ubicada aguas arriba de importantes poblaciones como son Santa Lucia, Cabanillas y Juliaca, las cuáles serían afectadas por un eventual desastre causado por la falla del dique de la presa, en la actualidad debido al cambio climático se están experimentando un notable incremento en las precipitaciones lo mismo que con los movimientos sísmicos, motivo por el cual se reconoce como un elemento de riesgo para la población y los recursos naturales aguas debajo de la presa, precisamente por existir el riesgo de desastre se ha considerado la posibilidad de aplicar la metodología de análisis de riesgo por falla de la presa Lagunillas.

La investigación se justifica porque al hacer el análisis de riesgos por falla de la presa, nos permite realizar tareas de prevención porque si no prevenimos entonces tendremos que atender el desastre y esto cuesta aproximadamente diez veces el costo de prevención.

1.4. HIPÓTESIS

La geología y geotecnia influyen en el riesgo por falla en la presa Lagunillas.



1.5. OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.5.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la geología, geotecnia y los riesgos por falla en la presa Lagunillas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Describir las características geológicas y geotécnicas de la presa Lagunillas.
- Identificar los riesgos por falla de la presa Lagunillas.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Vicente et al., (2020). Sostiene que la sequía tiene efectos ambientales complejos y afecta a muchos sistemas diferentes (por ejemplo, suelos, aire, vegetación y bosques, sistemas acuáticos y vida silvestre), También pueden afectar la calidad, estructura y diversidad de estos sistemas. los escenarios futuros de cambio climático sugieren un aumento de la gravedad de la sequía en todo el mundo, lo que podría alterar la vulnerabilidad de los diferentes sistemas ambientales y aumentar el número de efectos estructurales de la sequía.

Vezzoli et al., (2020). Los picos más altos de Europa se encuentran en el Gran Cáucaso central, un cinturón orogénico caracterizado por procesos tectónicos y sedimentarios ex-temblorosamente activos. En esta región montañosa escarpada, hemos investigado la generación de arena y los patrones de erosión utilizando datos petrográficos y de minerales pesados de alta resolución sobre arenas fluviales, complementados con un análisis morfométrico detallado de 9 ramas principales de las montañas del río, también se presenta una revisión extensa de los datos de transporte de sedimentos disponibles en la literatura rusa sobre las inundaciones repentinas de lagos glaciares y los flujos de escombros provocados por las lluvias, que debido al calentamiento global y al retroceso de los glaciares han afectado con una frecuencia creciente en los últimos 50 años.

Burritt & Christ, (2018). El documento explora el desastre de la represa de relaves de Samarco en Brasil en noviembre de 2015, la mayor del mundo según muchos criterios, y su impacto en la gestión del riesgo hídrico. La atención se centra en BHP y



Vale, como dos de las compañías mineras más grandes del mundo y su exposición al riesgo del agua a través del desastre y sus respuestas como propietarios iguales de la empresa conjunta Samarco. El estudio emplea un método de estudio de caso basado en datos disponibles públicamente en el que se evalúa la gestión del riesgo hídrico de las empresas. El análisis revela una serie de cuestiones que incluyen demasiada discreción otorgada a las empresas conjuntas en la evaluación del riesgo hídrico y la necesidad de una función especializada de riesgo hídrico y una mejor planificación de contingencia para las comunidades río abajo afectadas por las actividades de la organización. Sobre la base del análisis se desarrolla una agenda de investigación futura.

Si se trata de definir de manera genérica el concepto de seguridad (Soriano & Sánchez, 1997) puede encontrarse en cualquier diccionario como “calidad de seguro”, o “libre y exento de todo peligro, daño o riesgo”. Matizando dicha definición para presas, y tratando de cuantificar algo más el término, se podría definir seguridad como el margen que separaría las condiciones reales que existen en la presa construida de las que llevan a su destrucción o deterioro.

En cualquier caso, intentar definir un coeficiente de seguridad único para una presa es una utopía, pudiéndose afirmar que no existe una forma de medir la seguridad, sino índices parciales que pueden ser utilizados para la cuantificación aislada de alguna parcela de seguridad, como los habitualmente utilizados en el diseño de presas.

Por otra parte, la experiencia adquirida a partir de accidentes y fallos de presas ha inspirado muchos de los conceptos y metodologías referidas a aspectos hidrológicos, hidráulicos, sísmicos, geológicos, geotécnicos, estructurales, electrodomésticos, etc. Aún más, la propia parcelación de la evaluación de la seguridad viene inspirada por el entendimiento de las causas históricas de los fallos de presas.

2.2 MARCO TEÓRICO

MACIZO ROCOSO: Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto tanto por bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso, mecánicamente los macizos rocosos pueden considerarse que presentan resistencia a la tracción nula. El conjunto de discontinuidades y bloques de matriz gobiernan el comportamiento mecánico global del macizo rocoso, es así, que para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso se debe analizar las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

Anisotropía: La característica de anisotropía ocurre por la presencia de discontinuidades (planos de debilidad) con orientación preferencial (estratificación, clivaje, foliación, laminación, familias de diaclasas tectónicas), las discontinuidades generan diferente comportamiento mecánico en el macizo rocoso en función de la dirección considerada (rumbo, buzamiento). Además, la orientación de los esfuerzos que afectan el material rocoso puede acarrear anisotropía asociada al estado tensional.

Discontinuidades: Son las discontinuidades geológicas (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) las que cambian la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, lo que confiere al macizo rocoso un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo. Es la naturaleza (origen y tipo), frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, lo que causa variaciones en las propiedades mecánicas de los macizos rocosos.

Heterogeneidad: La heterogeneidad que se presenta en el macizo rocoso se relaciona a la variabilidad de propiedades físicas y mecánicas en distintas zonas del macizo rocoso controlado por cambios de la matriz rocosa y las



discontinuidades geológicas (discontinuidades de las rocas).

Los cambios en la matriz rocosa pueden ser debido a cambios litológicos, grado de alteración, grado de meteorización, contenido de agua, etc, generando propiedades mecánicas diferentes.

BRECHA: Roca constituida por clastos angulares de tamaño centimétrico a métrico (megabrecha), que contiene un material más fino (matriz) y un cemento que los une. Las brechas tienen distintos orígenes: sedimentarias, piroclásticas, magmáticas, tectónicas (brechas de zona de falla), hidrotermales, etc. En depósitos como los del tipo “chimenea de brecha” pueden contener parte importante de la mineralización del yacimiento.

TEXTURA: Tamaño, forma y disposición de los minerales componentes de las rocas. Las texturas principales de las rocas ígneas son: fanerítica o granular, afanítica o microgranular, porfirítica y vítrea. Las rocas sedimentarias presentan las siguientes texturas: granoblásticas, porfiroblásticas, cristaloblásticas, masivas, oolíticas, sacaroides, etc.

INTRUSIVO: El término se usa normalmente para cuerpos ígneos emplazados en cualquier tipo de roca. Dicho emplazamiento puede ocurrir por relleno de fracturas (diques), intrusión forzada (tipo “diapírica”, algunos macizos), levantando estratos superiores (lacolitos), o por hundimiento y asimilación de las rocas preexistentes (batolitos andinos).

ROCA VOLCÁNICA: Roca ígnea de textura afanítica, producto de la consolidación del magma sobre la superficie o muy cerca de ella.

ZONA DE FALLA: Las grandes fallas geológicas no constan de un solo plano de falla bien definido, sino que corresponden a un volumen tabular denominado zona de falla,



constituido por rocas muy fracturadas (ver cataclasita) y numerosos planos de fallas a través de los cuales se realizan los desplazamientos. Es común que las rocas de la zona de falla presenten alteración hidrotermal, así como metamorfismo dinámico, con formación de cataclasitas en la zona superior y milonitas en la inferior.

Graben: Es un valle (o fosa) generado por efecto tectónico, en condiciones extensionales. Está limitado por grandes fallas normales. El valle longitudinal de Chile (de Rancagua al sur) es un ejemplo de graben. En castellano se traduce por cuenca, aunque ello puede confundir respecto a su forma.

Falla de desgarre (o de rumbo): Falla geológica caracterizada porque su plano es vertical y el movimiento relativo de los bloques es horizontal. Tanto sigma 1 (σ_1) como sigma 3 (σ_3) son horizontales. Pueden ser sinestrales o dextrales. También se denomina Falla transcurrente (en inglés: strike-slip fault).

CONTACTO: Plano o volumen recto o curvo que separa dos unidades geológicas. Puede corresponder a planos nítidos y objetivos, como las paredes de un dique que corta rocas estratificadas. También puede corresponder a un volumen, en el caso de un contacto transicional, difuso. El término metamorfismo de contacto se refiere a los efectos mineralógicos producidos en rocas estratificadas por una intrusión ígnea que las corta. Estos efectos se localizan en la aureola de contacto que rodea a dicha intrusión.

PRESA: En ingeniería se denomina presa o represa a un muro grueso de piedra u otro material, como hormigón; material suelto o granular, que se construye a través de un río, arroyo o canal para almacenar el agua y elevar su nivel, con el fin de regular el caudal, para su aprovechamiento en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones o en la producción de energía mecánica. La energía mecánica puede aprovecharse directamente como en los molinos actualmente en desuso o de forma indirecta para



producir energía eléctrica como en las centrales hidroeléctricas. Jorge Granados. (2002).

Embalse: Trata del agua que queda acumulada como consecuencia de la construcción de una presa, o el resultado de la existencia de un dique natural. Esta agua estancada tiene poca profundidad y su fondo es cenagoso.

Cortina: También llamada “represa”, es la construcción en su conjunto, una barrera fabricada de piedra, concreto o materiales sueltos, que se construye al paso de un río o arroyo.

Coronación: La coronación es la superficie que delimita la presa superiormente.

Compuertas: Las encargadas de regular el caudal de agua que atraviesa la presa.

Estribos: Las estructuras que delimitan los costados del muro o dique.

El vaso: Es la parte del valle que, inundándose, contiene el agua embalsada.

La cimentación: la superficie inferior de la presa, a través de la cual descarga su peso al terreno.

El aliviadero o vertedero: es la estructura hidráulica por la que rebosa el agua cuando la presa se llena.

LAGUNA: Una laguna es una acumulación de agua de una profundidad menor a la de un lago. Por lo general sus aguas son dulces y dan lugar a una variada flora y fauna tanto en sus inmediaciones terrestres como desde el punto de vista acuático. Se forman habitualmente por la existencia de un terreno hundido y la presencia de lluvias o la influencia de ríos, contraponiéndose a los lagos, que generalmente deben su formación a la influencia de los glaciares y su accionar. En algunos casos, las lagunas se forman de manera artificial, debido al actuar de la mano del hombre; esta circunstancia puede deberse a distintas actividades económicas, como por ejemplo la necesidad de tener un



reservorio de agua para cultivos o para generar energía hidroeléctrica.

RÍO: Un río es una corriente natural continua de agua que desemboca en otro río, en un lago o en el mar. Cuando un río desemboca en otro se le llama afluente y cuando nace de la unión de otros se le llama nacimiento. Cada río posee cierto caudal que no suele ser constante a lo largo del tiempo.

Faja marginal: Las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico. Están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales.

Ribera: Se denomina ribera (no confundir con rivera) u orilla al borde de un cuerpo de agua, haciendo referencia a la zona de tierra más cercana al océano, mar, lago, río, quebrada, etc.

Cauce o álveo: Continente de las aguas durante sus máximas crecientes, constituye un bien de dominio público hidráulico.

Inundaciones: Son un evento catastrófico y recurrente para un río. Se producen cuando lluvias intensas sobrepasan la capacidad de infiltración y retención del suelo. La capacidad máxima de transporte del río es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos del agua. Las inundaciones generan daños en el entorno de las personas, sus bienes e infraestructura, y además de causar graves daños al medio ambiente.

FALLO: Es una pérdida por un sistema o un elemento del sistema, de la integridad funcional para mejorar según una intención.

Fallo primario o básico: El elemento que falla ha sido no expuesto al ambiente o a una carga de servicio que excede el nivel de su rendimiento.



Fallo secundario: Es el fallo inducido por la exposición de un elemento que ha fallado en el ambiente o por la carga que excede los límites aconsejados.

CALICATA: Calicatas o catas, son excavaciones que son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

SUELOS: Se denomina suelo o tierra a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física o química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él. Son muchos los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de estos son, la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, y deposición de material orgánico.

Gravas: Con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm; se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retienen el agua, por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas. (González de vallejo et al, 2002).

Arenas: Con partículas comprendidas entre 2 y 0,060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad. (González de vallejo et al, 2002).

Limos: Son de origen físico formados por partículas de grano muy fino. “Con partículas comprendidas entre 0,060 y 0,002 mm (algunas normativas indican que este último valor debe de ser 0,005 mm, pero no hay apenas consecuencias prácticas entre ambas distinciones). Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear



con la mano se ve cómo el agua se exuda con facilidad”. (González de vallejo et al, 2002).

Arcillas: Compuestas por un agregado de partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de las rocas. “Formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0,002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños. Están formadas, principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos (el ión silicio se encuentra en el centro de cada una de estas estructuras regulares), unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces, aumentos de volumen (recuperables cuando el agua se evapora). Todo ello hace que la capacidad de retención del agua sea muy grande (pequeños huecos con una gran superficie de absorción en las partículas y una estructura que permite retener el agua), por lo que son generalmente los materiales más problemáticos (tiempos muy elevados de consolidación o de expulsión de agua bajo esfuerzos)”. (González de vallejo et al, 2002).

RIESGO: Según la Real Academia Española (RAE): contingencia o proximidad de un daño de acuerdo a la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD): la oportunidad de producirse pérdidas o daños, entendidos como una medida de la probabilidad y severidad de los efectos adversos sobre la salud, la propiedad, el medio ambiente u otro elemento de valor. El riesgo es la combinación de tres conceptos: qué puede pasar, cómo de probable es que pase y cuáles son sus consecuencias (Wall, 2011).

SEVERIDAD: La severidad del riesgo es definida como las consecuencias posibles de un evento o condición inseguros, tomando como referencia el peor escenario (la peor



situación) previsible. El cuadro que se observa más adelante es un ejemplo, la Organización deberá desarrollarlo con base en su tipo de provisión de servicios y los daños potenciales previsible. De cualquier manera, cada definición cualitativa deberá ser clara y consecuente con parámetros reales de severidad teniendo en cuenta potenciales daños a personas o equipamiento, infraestructura, o en general en la provisión de su servicio que afectare la operación.

CONSECUENCIAS DE LA ROTURA DEL DIQUE: Existen varios efectos adversos o consecuencias que se pueden dar al producirse el fallo de una presa:

Daños económicos directos: Son los ocasionados directamente por el impacto de la inundación y son los más visibles. Incluyen el costo de los daños a la propia presa.

Daños económicos indirectos: Son los que se dan tras el impacto del evento y reflejan la interrupción de la economía y otras actividades en la zona.

Daños a personas: En principio, además de contemplar la pérdida de vidas humanas, los daños a las personas también pueden incluir otros aspectos como el número de heridos de mayor o menor gravedad, pero por su difícil cuantificación los análisis cuantitativos suelen centrarse sólo en el primer aspecto.

Otros daños: Como pueden ser los daños medioambientales, el trastorno social, la pérdida de reputación, la afección al patrimonio histórico o culturales todos ellos difícilmente cuantificables y por lo tanto tratados habitualmente de forma cualitativa.



2.3 MARCO GEOLÓGICO

2.3.1 Geología regional

Según las contribuciones del Institut de Recherche pour le Développement (IRD, 2004) el Mesozoico-Paleoceno de esta región consiste de 7 unidades estratigráficas, que en ciertos casos puede correlacionarse con otras regiones del Perú (ver Figura 1):

2.3.1.1 Grupo Mitu (Pérmico Superior -Triásico)

Está presente en algunas áreas de la zona de estudio, reflejando el hecho que fue depositado en grábenes dentro de un sistema de rifts (Kontak et al, 1985); (Sempere et al, 2002) y este volumen. Aflora en las áreas de estación Pucara (UTM 360-8338), Arapa entre (376-8336 y 384-8327). Como correctamente identificado por (De Jong, 1974), Colque (348-8326 y 350- 8330). Juliaca-Lampa donde está dominada por rocas volcánicas y denominado Grupo Iscay; (Klinck et al, 1986). Una de las características más llamativas del Grupo Mitu en la zona de estudio es la presencia de olistolitos, evidenciando que fallas activas en los bordes de los grábenes mantenían pendientes inestables de donde se desprendían grandes bloques en forma catastrófica.

2.3.1.2 Unidad Quilcapunco (Liásico -Dogger inferior)

Una unidad compuesta de areniscas fluvio-eólicas blanquecinas descansa en discontinuidad sobre el Mitu o en discordancia sobre el Paleozoico, y es localmente sobreyacida por calizas y margas predominantemente negras de edad Liásica y/o Bajociana (Fm. Sipín).

2.3.1.3 Formaciones Muni y Huancané (Doggersuperior -Malm inferior),

Newell (1949) ya describió implícitamente una transición entre la Formación Muni, compuesta de pelitas y limolitas rojas que se intercalan hacia arriba con canales



arenosos en forma estratocreciente, y la Formación Huancané, que hacia su base se intercala con pelitas rojas. Este hecho, evidente en el campo, fue observado por algunos autores (Klinck et al., 1986); (Palacios & Ellison, 1986); (Palacios et al., 1993), y nuestras observaciones independientes lo han confirmado en todos los perfiles estudiados.

2.3.1.4 Formación Murco (Cretácico Medio a Inferior)

Consiste mayormente de pelitas y limolitas rojas, y de escasas intercalaciones de canales arenosos. Estas facies son típicas de la parte NE de la zona de estudio, donde descansan directamente, en discontinuidad, sobre la Formación Huancané, es decir sin la presencia de las facies gruesas típicas de la Formación Angostura. Hacia arriba, estas pelitas y limolitas rojas se intercalan con bancos de calizas grises, que se vuelven más frecuentes y espesos, pasando en forma transicional a la formación Arcurquina local, la cual es dominada por estas facies calcáreas. La resedimentación en masa que generó la Formación Ayabacas retrabajó mayormente un material proveniente de estas dos formaciones.

2.3.1.5 Formación Ayabacas (Cretácico Medio tardío)

La Formación Ayabacas fue depositada en un contexto tectónico marcadamente extensional, como lo demuestran afloramientos de fallas normales controlando deslizamientos de calizas y selladas por, el Grupo Vilquechico, cuya parte inferior es de edad, Cretácico Superior como en (UTM 313 -8409 Y 317 -8413). El contacto basal de la Formación Ayabacas es un plano de deslizamiento que se puede asemejar a una superficie de erosión (en el sentido que se ha sustraído un material inicialmente depositado), así como a una falla extensional de bajo ángulo, contemporánea con la sedimentación o muy precoz. Litológicamente está compuesta por calizas caóticas envueltas en una matriz limosa roja.



En el sector noreste del cuadrángulo de Lagunillas (32-u), se pueden observar calizas estratificadas plegadas en forma caótica que evidencian deslizamientos sin sedimentarios.

2.3.1.6 El Grupo Vilquechico (Campaninano Superior-Paleoceno Inferior)

Compuesto mayormente de pelitas de color verde a gris oscuro. descansa sobre la Formación Ayabacas, sellando los olistolitos caóticos característicos de ésta y subyace a la Formación Muñani. El Grupo Vilquechico comprende tres formaciones hasta ahora referida como formación Vilquechico Inferior, formación Vilquechico Media y Formación Vilquechico Superior (Jaillard et al., 1993). Otra característica es la presencia de ignofacies en los niveles pelíticos. Generalmente se encuentra en los núcleos de los sinclinales como el de Putina y Vilquechico, y en los sinclinales tumbados de la zona imbricada localizada al NE del lago Titicaca. Así mismo suprayace concordantemente al Grupo Moho e infrayace a las lodolitas de la Formación Auzangate. La edad que se le asigna corresponde al Cretáceo superior, basado en la identificación de charofitas (PECK & RECKER, 1947).

2.3.1.7 El Grupo Puno (Paleoceno Superior-Eoceno Inferior)

Fue definida por Newell (1949) con bastante precisión, especialmente en el flanco este de la península de Pusi. Su descripción original pone de manifiesto que, a parte de la base, se trata de una espesa sucesión eminentemente grano y estratocreciente, hecho que fue correctamente recalado por algunos de los autores posteriores (Klinck et al., 1986); (Palacios et al., 1993); se recomienda consultar a estos trabajos para tener una buena descripción de la unidad). El Grupo Puno consiste mayormente de facies fluviales y de llanura aluvial, y se depositó en una extensa cuenca de tipo antepaís. Medidas preliminares de paleocorrientes muestran que en esta cuenca el material clástico era



transportado globalmente de sur a norte.

La parte inferior del Grupo Puno es dominada por pelitas rojas, como se observa por ejemplo sobre la carretera que va de Cabanillas a Mañazo (UTM 354-8262), y es litológicamente similar a la Formación Muñani.

Mesozoico y Paleógeno, norte del Lago Titicaca

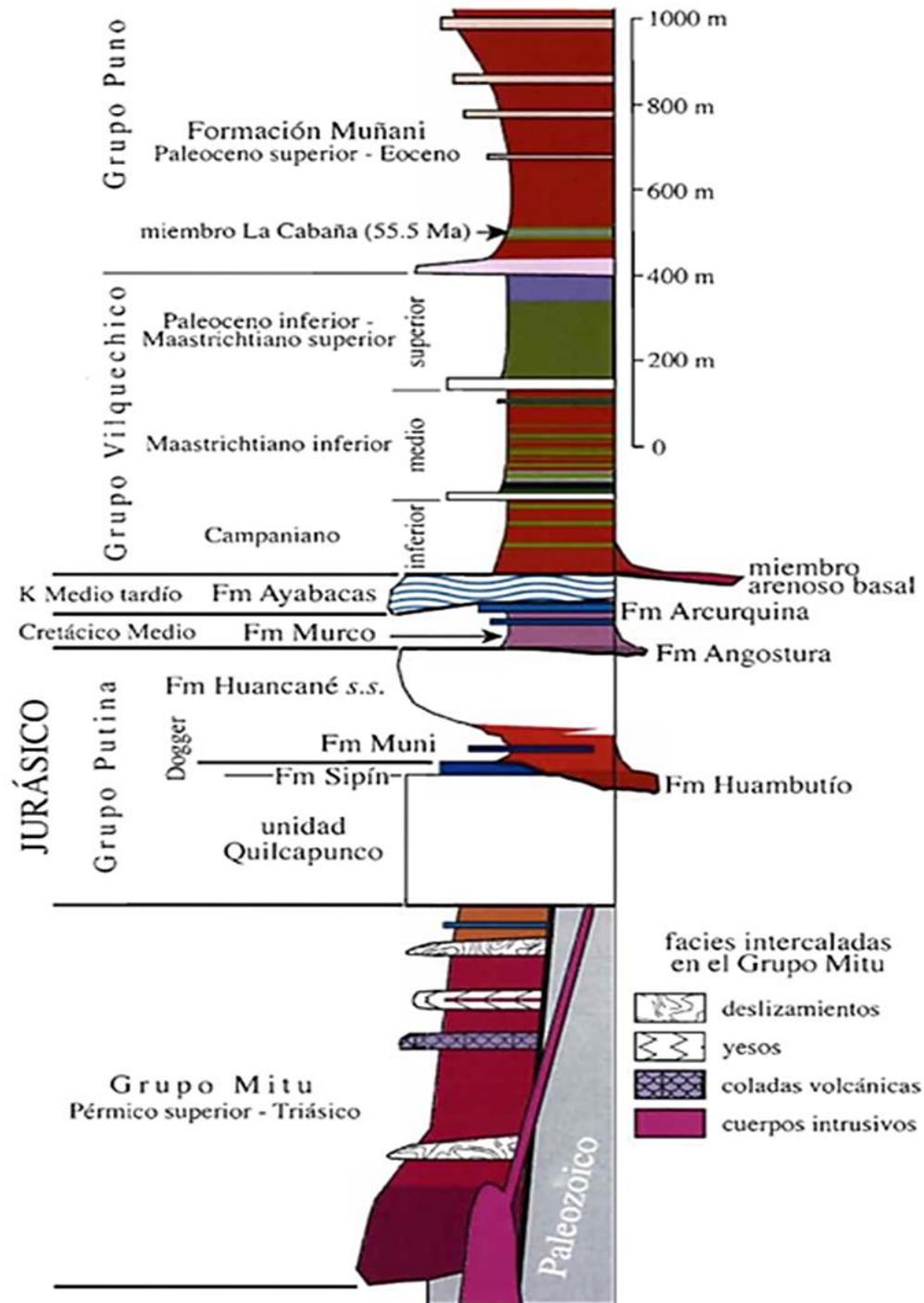


Figura 1: Columna estratigráfica Regional.

Fuente: (INGEMMET)

2.3.2 Geología estructural

En la serie jurásica de la presa Lagunillas se reconocen unidades estratigráficas



similares a las de Mañazo. Sin embargo, los afloramientos y las condiciones de observación son menos favorables que en Mañazo para el análisis estructural. Las escamas mesozoicas afloran en dos fajas distintas (Klinck et al., 1986).

Cinco unidades tectónicas distintas están presentes. El autóctono relativo del sistema de escamas está constituido por el Grupo Puno deformado, sobreyacido por coladas e intruido por plutones del Oligo-mioceno el Grupos Tacaza y Sillapaca; (Klinck et al., 1986); (Ellison et al., 1989); (Clark et al., 1990). Las unidades tectónicas son generalmente más jóvenes hacia el Norte, traduciendo una estructura general comparable a la zona de Mañazo. Las relaciones con los depósitos terciarios permiten reconocer varias fases tectónicas. Los pliegues que afectan la serie mesozoica se encuentran sellados por el grupo Puno (Oligoceno inferior a medio), y los contactos son sellados por las coladas del oligoceno superior de 30-26 Ma. el Grupo Tacaza; (Klinck et al, 1986). Dichos sobre escurrimientos representan una fase tectónica del Oligoceno medio a superior (30Ma).

Según Clark et al (1990), el emplazamiento de diques en el Mioceno superior (7 Ma) ocurrió a favor de un juego tardío de las fallas de lagunillas.

2.3.2.1 El Corredor Estructural Lagunillas Laraqueri (CELALA)

El mapa litológico estructural del INGEMMET, la zona de Lagunillas forma parte del Corredor Estructural Lagunillas Laraqueri (CELALA) este gran sistema de desgarre dextral tiene de 40 a 80 Km de ancho y muestra una variedad de características tectónicas, magmáticas y sedimentarias, dentro del cual se observan fallas inversas y transcurrentes, las rocas pre-oligocenas están localmente intensamente deformadas (plegadas, cizalladas, y/o penetrativamente fracturadas), fue el área de emplazamiento de las rocas ígneas del Grupo Tacaza, el cual incluye principalmente rocas volcánicas básicas alcalinas datadas en 30-40 Ma. (Fornari et al, 2002) e intrusiones básicas a félsicas que también presentan



afinidades alcalinas (Mamani & Ibarra, 2000).

A lo largo del CELALA, dentro del cual se observan fallas inversas y transcurrentes, las rocas pre-oligocenas están localmente intensamente deformadas (plegadas, cizalladas, y/o penetrativamente fracturadas), mientras que al noreste del CELALA no lo son. Rocas paleozoicas sólo afloran al noreste del CELALA, que además coincide con el límite noreste de las facies profundas de jurásico medio de la cuenca de Arequipa. Inmediatamente al noreste del CELALA, los estratos jurásicos muy deformados y preservados por debajo de la discordancia del cretáceo inferior, en contraste con las facies observadas al suroeste del CELALA, presentan facies continentales y hacia el sureste, facies marinas someras subordinadas (Sempere, et al, 2000).

En el Cretáceo, fenómenos deformacionales y térmicos afectaron por lo menos partes del CELALA, produciendo levantamientos y localmente una discordancia angular (Newell, 1949); (Clark et al., 1990); (Sempere et al, 2002).

Su geometría y características geoquímicas muestran que este corredor magmático no se relacionaba directamente con la subducción, pero más bien funcionó como un sistema de desgarre litosférico que permitió que líquidos mantélicos alcanzaran la superficie. El plegamiento de las coladas básicas del Tacaza está sellado por estratos de edad Mioceno superior o más reciente.

2.3.3 Geomorfología

La geomorfología es el estudio de los accidentes geográficos y los procesos que los conforman. El objetivo es comprender por qué los paisajes se ven de la manera en que se deben, estudiar la historia, evolución de los accidentes geográficos, predecir los cambios a través de la observación y el modelado de campos.



Los procesos duales de elevación, hundimiento, erosión y deposición son principios fundamentales de la geomorfología. A través del levantamiento, la corteza terrestre sube y a través del hundimiento baja. La erosión en las tierras altas y la deposición en las tierras bajas contribuyen a dar forma a la forma del paisaje. Los procesos físicos, químicos y biológicos se combinan para romper y desagregar las rocas. La gravedad, la lluvia y la escorrentía son responsables del desplazamiento, arrastre y transporte de fragmentos de roca y partículas de suelo.

La ciencia de la geomorfología se divide en varios sub campos:

- Terrestre.
- Fluvial.
- Lacustre.
- Oceánico.

En realidad, los patrones y la forma de la superficie de la Tierra son infinitos, parece que no hay reglas o leyes generales a seguir, ver, por ejemplo, las esculturas de roca natural que se observan en el campo. Por lo tanto, se requiere conocimiento geomorfológico para apoyar la acción y/o gestión concertada, no hay sustituto para la observación y la experiencia.

Los impactos sobre la geomorfología comprenden:

- a. Cambios físicos del terreno superficial por alteración morfológica (promontorios, relleno de vaguadas, etc.).
- b. Modificación de cauces por aporte de sedimentos difícilmente movilizables.
- c. Tipología de los movimientos del terreno existen numerosas clasificaciones de los movimientos del terreno, la mayor parte de las cuales se distinguen por su complejidad,



lo cual, de idea, por un lado, de la gran variedad de movimientos y por otro de la dificultad de su clasificación. En líneas generales puede hablarse de:

- Deslizamientos.
- Desprendimientos, la mayor parte de accidentes mortales registrados se refieren a desprendimientos de roca. Con gran frecuencia un bloque aislado desprendido de un acantilado suele ser la causa de la destrucción de viviendas y servicios. En otros casos una masa importante de roca se desprende de un frente y se desintegra formando una avalancha de piedras.
- Flujos y coladas.

2.3.3.1 Geoformas de carácter tectónico degradación y erosión

El paisaje morfológico resultante de los procesos denotativos son cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo la unidad de Montañas alcanza alturas mayores a los 300 m respecto al nivel base local, son cumbres y estribaciones producto de la erosión y otros eventos naturales. En la zona se encuentra conformada por alineamientos, en un contexto predominante por rocas volcánicas andesíticas.

Ladera de montañas de roca brechas volcánicas conformada por laderas modeladas en material cuaternario de formación reciente, en este caso de suelos. El fondo del valle corresponde a 4145 m.s.n.m., mientras que las cumbres alcanzan a los 4,450 m.s.n.m. Las laderas en la zona presentan pendientes variables, entre los 15° y 25° son consideradas como pendiente fuerte, áreas localizadas presentan pendientes de 25° a 45° (pendiente muy fuerte) y entre 5° a 15° son consideradas de pendiente moderada en las cueles se desarrolla fenómenos de reptación (Ver anexo C-4).

2.3.3.2 Geoformas de carácter deposicional o agradacional

Son geo formas producto de procesos constructivos, las cuales están determinadas por la fuerza de desplazamiento de los agentes móviles.

Vertiente o piedemonte coluvio – deluvial, conformada por acumulaciones de laderas cuyo origen está en los procesos de movimientos en masa, así como de material detrítico proveniente de caídas o de escorrentía superficial, las cuales se depositan al pie de las laderas. Ésta se encuentra en la parte adyacente a la estructura de la presa Lagunillas.



Figura 2: Imagen satelital de unidades geomorfológicas con pendientes moderadas.

Las geoformas se encuentran agrupadas en diferentes tipos de relieve en función a su altura relativa, las cuales se diferencian en:

- **Montañas:** Gran elevación de terreno, constituida por una agrupación o



cadena de cerros. La orogénesis es la parte de la geología que estudia el origen y la formación de las montañas.

- **Piedemontes:** Acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos de arena, limos y arcillas consolidado ubicado al pie de las cadenas montañosas.
- **Colinas:** Pequeñas elevaciones de terreno con elevaciones suaves.
- **Semi planicies:** Extensión de terreno más o menos plana donde los procesos de agradación superan a los de degradación.

2.3.4 Micro tectonismo de la presa Lagunillas.

La Presa de gravedad se proyectó teniendo en cuenta las características morfológicas, geológicas y geotécnicas; así como la disponibilidad de materiales de construcción la roca sana. Según estudios realizados para la construcción de la presa, la roca que constituye la fundación de la presa se encuentra afectada tectónicamente lo que influye negativamente en sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas, por lo que es necesario un tratamiento de consolidación y/o impermeabilización que mejore sus características naturales.

La geología estructural de la presa Lagunillas está ligado al tectonismo regional que en este caso mañazo que se extiende hasta lagunillas y por movimientos sísmicos hace que se genere las variaciones en sus estructuras, como rumbos y buzamientos o producto de movimientos propios de la dinámica terrestre, mayormente entendidos y tratados por la tectónica de placas. Asociado al tectonismo regional de Mañazo que se extiende hasta Lagunillas es casi vertical, (Newell et al., 1949). reconocieron su naturaleza de falla inversa con buzamiento al Sur, y (Ellison et al., 1989). consideraron que dicha falla se extendía hasta la zona de la laguna Lagunillas. (Portugal 1974); (Ellison



et al., 1989) atribuyeron esta falla a un juego durante el cretácico superior, aunque la mayoría consideró que su actividad principal se desarrolló en el terciario superior (Audebaud et al., 1976); (Ellison et al., 1989). Este trabajo expone observaciones litoestratigráficas nuevas sobre las series mesozoicas de las zonas de Mañazo y Lagunillas.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES (HERRAMIENTAS Y EQUIPOS)

Los materiales, equipos que se emplearon para la obtención de datos geológicos, geotécnicos para elaborar los planos y realizar el trabajo de investigación son los siguientes:

3.1.1. Materiales y herramientas

- **Picota:** Toma de muestras de mano y calcular la calidad roca.
- **Lápiz de dureza:** Clasificar el tipo de roca de acuerdo a la dureza.
- **Lupa:** Visualizar los minerales formadores de roca.
- **Libreta de Campo:** Apunte de datos recolectados en el campo.
- **Protactor:** Ploteo de datos en el plano.
- **Bolsas de polipropileno:** Depositar las muestras obtenidas del campo.
- **Cintillos:** Sellado de las muestras obtenidas.
- **Lampa:** Limpieza de las calicatas realizadas.
- **Pico:** Realizar las calicatas.
- **Talonario:** Codificar las muestras obtenidas.

3.1.2. Equipos

- **Brújula:** medición de rumbo y buzamiento de las estructuras.
- **GPS:** Obtención de Coordenadas UTM.
- **Flexómetro:** Medición de la potencia de las estructuras y la profundidad de las calicatas.
- **Cámara fotográfica:** Toma de imágenes para el informe.

3.2. DISEÑO METODOLÓGICO

Según su fuente la presente investigación es de tipo documental, de campo, cuyo nivel es descriptivo, correspondiéndole un diseño no experimental.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO IGME

Para desarrollar la presente investigación se adecuó la metodología del Instituto Geológico Minero de España (IGME), el cual plantea la identificación del escenario de riesgos, de acuerdo a las posibles consecuencias, como se menciona a continuación:

- Escenario de fallo o rotura del talud de presa (FPRE).

3.3.1. Índice de probabilidad de rotura del dique de contención o el talud de presas (Ip FPRE)

Para el cálculo de la probabilidad de rotura de una presa se considera una serie de factores o parámetros. Utilizando las siguientes tablas se evalúa el riesgo de rotura de la presa:

Diseño y características constructivas del dique (DC)

El tipo de material empleado y las características constructivas del dique son los primeros aspectos que se han considerado en la evaluación. Para facilitar el análisis, las características constructivas y de diseño del dique se han subdividido en una serie de subfactores que se describen más abajo. Cuanto mayor es el valor asignado a cada uno de ellos mayor es la peligrosidad ante una posible rotura o fallo del dique de la presa. Como se irá viendo, cada uno de los subfactores se valora en un determinado rango de valores. Un mayor valor máximo y una mayor amplitud del rango de valoración de un determinado subfactor equivalen a considerar que dicho subfactor tiene un mayor peso o importancia



relativa. En la (Tabla 2) se proporcionan los valores asignados a los diferentes subfactores. Puede observarse que el subfactor al que se le asigna un mayor peso es el ángulo del talud del dique.

El valor máximo que puede alcanzar esta expresión es 80 puntos, para aquel hipotético caso en el que todos los subfactores valorados reúnan las peores condiciones teóricas desde el punto de vista de las características del dique.

Tabla 2: Criterios de valoración del factor de diseño y características constructivas del dique de la presa (DC).

Valoración del factor diseño y características constructivas del dique (DC)	
DC = Mat+Mc+Θ+H+LD	
Criterio de valoración	Valoración del factor
Material de construcción del dique (Mat)	
Lodos de flotación	16
Lodos de flotación ciclonados	12
Presa de tierra	8
Presa de tierra y bloques	4
Presa de mampostería o escollera	2
Hormigón en masa	0
Método de recrecimiento del dique (MC)	
Aguas arriba	16
Línea central modificado	12
Línea central	8
Aguas abajo	4
Presa convencional de materiales sueltos	2
Presa convencional de mampostería o de hormigón en masa	0
Ángulo en grados del dique principal o talud general si existen bermas (Θ)	
Mayor de 35º	24
Entre 30 y 35º	16
Entre 20 y menos de 30º	12
Entre 10 y menos de 20º	6
Menor de 10º	3
Presa de mampostería o de hormigón en masa (cualquier ángulo)	0
Altura de la presa o de la suma de los diques (H)	
Mayor de 30 m	16
Entre 20 y 30 m	12
Entre 15 y menos de 20 m	8
Entre 10 y menos de 15 m	4
Entre 5 y menos de 10 m	2
Menor de 5 m	0
Longitud del dique de coronación LD	
Mayor de 500 m	8
Entre 300 y 500 m	6
Entre 100 y menos de 300 m	4
Entre 50 y menos de 100 m	2
Entre 10 y menos de 50 m	1
Menor de 10 m	0

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España).

Volumen de sedimentos almacenados (VOL)

Ya se ha comentado que el volumen de lodos almacenados es un criterio considerado por ICOLD como modificador de la calificación de las presas. Se consideran grandes presas aquellas cuyo volumen es superior a un millón de metros cúbicos, en el caso de presas de entre 10 y 15 m de altura, o más de tres millones de metros cúbicos cuando tienen menos de 5 m de altitud. El volumen de almacenamiento depende del ajuste entre tamaño del dique y la topografía original del terreno donde se asienta la presa. En términos generales a mayor volumen, puede considerarse que la probabilidad de rotura crece. El factor que se ha denominado volumen de residuos almacenados (VOL) es valorado en la (Tabla 3), asignando un valor máximo de 20 para este factor en aquellos casos en los que se supere el valor de dos millones de m³ de volumen.

Tabla 3: Criterios de valoración del factor volumen de material almacenado (VOL)

Valoración del factor volumen de material almacenado (VOL)	
Criterio de valoración	Valoración del factor
Volumen estimado de material almacenado en Mm³ (Vol)	
Mayor de 2	20
Entre 1 y 2	16
Entre 0,5 y menos de 1	12
Entre 0,25 y menos de 0,5	8
Entre 0,10 y menos de 0,25	4
Menor de 0,10	0

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España).

Emplazamiento (EMP)

Es evidente que el sitio donde se emplaza la presa va a tener una fuerte influencia sobre su estabilidad. La topografía, el tamaño de cuenca drenante aguas arriba, las condiciones climáticas de la zona, las propiedades geotécnicas del lugar y su sismicidad, son aspectos del emplazamiento que deben ser considerados en la evaluación de la

estabilidad e integridad física de este tipo de depósitos (Witt and Wudtke, 2005). El factor emplazamiento (EMP) se ha subdividido en dos subfactores, relativos a la posición que ocupa en relación a la topografía circundante y a las características del sustrato.

Tabla 4: Criterios de valoración del factor emplazamiento (EMP).

Valoración del factor emplazamiento (EMP)	
EMP = TEMP +Sus	
Criterio de valoración	Valoración del factor
Tipología de presa según lugar del emplazamiento (TEmp)	
Cierre de valle (cross valley)	80
Junto a cursos de agua (valley-bottom) en valles muy encajados	72
Junto a cursos de agua (valley-bottom) en resto de tipologías de valle	64
En ladera con pendientes mayores de 30º	64
En ladera con pendientes entre más de 20º y 30º	56
En ladera con pendientes entre 10º y 20º	48
En ladera con pendientes menores de 10º	40
Exenta en llanura de fondo de valle muy ancho y abierto	32
Exenta en divisoria de aguas	16
Exenta en llanura de gran extensión, páramo o similar	0
Material del sustrato o cimentación (Sus)	
Suelo poco o nada consolidado	20
Suelo consolidado	16
Roca blanda	12
Roca compacta alterada y agrietada o fisurada	8
Roca compacta alterada en superficie	4
Roca compacta y sana	0

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España).

Integridad física de la presa (IF)

Teóricamente, la estabilidad de las presas de lodos debe mantenerse a lo largo del tiempo pues este tipo de depósitos debe permanecer indefinidamente. Los problemas de estabilidad de una presa de residuos mineros son a veces advertidos directamente por simple observación de los efectos que ya se han ido produciendo a lo largo del tiempo, y que pueden ser causa de nuevos problemas de estabilidad. El factor que se ha denominado integridad física de la presa (IF) tiene por objeto poner de manifiesto las debilidades e inestabilidades observables en una determinada presa y su probable influencia sobre una hipotética rotura. Dicho factor es evaluado teniendo en consideración las huellas que han

dejado procesos de inestabilidad ya ocurridos y el grado de erosión del dique de contención, determinados a partir de la observación directa in situ (ver tabla 5).

Tabla 5: Matriz para la determinación del factor integridad física del dique (IF).

ESTADO EROSIVO DEL DIQUE	INESTABILIDAD EN EL DIQUE			
	SIN EVIDENCIAS	DESPLAZAMIENTOS SUPERFICIALES; ASENTAMIENTOS GRIETAS GENERALIZADAS; DEFORMACIONES O INESTABILIDADES MENORES	HUNDIMIENTO O COLAPSO DEL VASO	ROTURAS GENERALIZADAS O LOCALES EN EL DIQUE
Incipiente	16	32	48	80
Significativo	32	48	64	80
Importante	48	48	64	80
Notable	64	64	80	80
Extremo	80	80	80	80

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España).

Balance de humedad de los residuos mineros y de los materiales que conforman el dique (BH)

Los procesos de inestabilidad inducidos hidrológicamente son la principal causa de rotura de las presas abandonadas (Zardari, 2011). El funcionamiento hidráulico es determinante de las condiciones de estabilidad de las presas de lodos (Rodríguez et al., 2011). La estabilidad del dique va a depender en gran medida del nivel de presión hidrostática o presión de poros del material que lo conforma y de los residuos almacenados. En depósitos de lodos abandonados el deslizamiento del talud se produce generalmente por un incremento de dichas presiones intersticiales, debido a la elevación de la superficie freática en el dique. Zardari (2011) señala que la estabilidad de una presa de lodos bajo condiciones de carga estática y sísmica, va a depender del mantenimiento de un bajo nivel freático en el dique de contención. La elevación del nivel freático en el interior de una presa depende en buena medida del balance de entradas y salidas de flujos de agua en la presa.

La entrada de agua al depósito se produce a través de: a) la escorrentía superficial y aportes de agua de los cursos fluviales localizados aguas arriba de la instalación; b) el agua de lluvia o nieve; y c) flujos de agua subterránea. La salida de agua tiene tres vías: a) evaporación; b) infiltración vertical hacia la fundación u horizontal a través de los residuos hacia el talud, favorecido por la estratificación de los lodos; y c) desbordamiento de la laguna y sobrepaso del talud. A efectos de facilitar el análisis, el que se ha denominado factor balance de humedad de los residuos mineros y de los materiales que conforman el dique (BH) se ha descompuesto en un sumatorio de subfactores que se describen más abajo. Nuevamente, cuanto mayor es el valor asignado a cada uno de ellos mayor es la peligrosidad ante una posible rotura o fallo del dique. Cada uno de los subfactores se valora en un determinado rango de valores, es decir: un mayor valor máximo y una mayor amplitud del rango de valoración de un determinado subfactor equivalen a que dicho subfactor tenga un mayor peso o importancia relativa. En la (Tabla 6) se proporcionan los valores asignados a los diferentes subfactores.

Tabla 6: *Asignación de valores a los subfactores del balance hídrico relativos en presas (BH).*

Valoración del factor balance de humedad de los residuos que conforman la presa (agua freática)	
BH =Ld +Fr +Ia + P24 +QE +DE +Rv	
Laguna de decantación (Ld) Valoración	Valoración del factor
Laguna de decantación de extensión superior al 50% de la superficie del vaso de la presa	
Lámina de agua permanente	30
Lámina de agua intermitente	27
Laguna de decantación de extensión igual o inferior al 50% de la superficie del vaso de la presa	
Lámina de agua permanente. Distancia al dique menos de 1 vez la altura del mismo.	30
Lámina de agua intermitente. Distancia al dique menos de 1 vez la altura del mismo	27
Lámina de agua permanente. Distancia al dique entre 1 y 2 veces la altura del mismo	24
Lámina de agua intermitente. Distancia al dique entre 1 y 2 veces la altura del mismo	21
Lámina de agua permanente. Distancia al dique más de 2 veces la altura del mismo	18
Lámina de agua intermitente. Distancia al dique más de 2 veces la altura del mismo	15
Laguna de decantación semidrenada	6
Ausencia de laguna de decantación o completamente drenada	0
Posición del nivel freático en el dique (Fr) Valoración del factor	
En el tercer tercio del dique desde el pie o base del mismo	20
En el segundo tercio del dique desde el pie o base del mismo	16
En el primer tercio del dique desde el pie o base del mismo	12
En el pie o base del dique	8
En la fundación, a menos de 5 m de profundidad	4
En la fundación, a 5 o más metros de profundidad	0
Sin evidencias o registros piezométricos	10



Caudal de escorrentía que ingresa a la presa (QE)	Valoración del factor	
Caudal de escorrentía muy alto		10
Caudal de escorrentía alto		8
Caudal de escorrentía medio		6
Caudal de escorrentía bajo		4
Caudal de escorrentía muy bajo		2
Caudal de escorrentía nulo		0
Sistemas de drenaje interno y otras infraestructuras de evacuación , retención y desvío de las aguas de escorrentía (DE)	Valoración del factor	
Ausencia o sistemas de drenaje interno no operativos /Y/ Ausencia o presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales no operativos		15
Ausencia o sistemas de drenaje interno no operativos /Y/ Presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales parcialmente funcionales.		12
Ausencia o sistemas de drenaje interno no operativos /Y/ Presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales operativos		10
Sistemas de drenaje interno parcialmente operativos /Y/Ausencia o presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales no operativos		8
Sistemas de drenaje interno parcialmente operativos /Y/ Presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales parcialmente funcionales		6
Sistemas de drenaje interno parcialmente operativos /Y/ Presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales operativos		4
Sistemas de drenaje interno operativos /Y/Ausencia o presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales no operativos		2
Sistemas de drenaje interno operativos /Y/ Presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales parcialmente funcionales		1
Sistemas de drenaje interno operativos /Y/ Presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales operativos		0
Grado de revegetación (RV)	Valoración del factor	
Sin revegetación o con superficie o vegetación bajo porte con cobertura inferior 25%		5
Vegetación de bajo porte y medio porte con cobertura entre 25 y 50%		4
Vegetación de bajo, medio y elevado porte con cobertura entre 25 y 50%		3
Vegetación de bajo, medio y elevado porte con cobertura entre 50 y 75%		2
Vegetación de bajo, medio y elevado porte con cobertura superior a 75%		1
Cobertura total o casi total con vegetación de variado porte dominada por arbolado		0
Índice de Aridez de DeMartonne (Ia)	Ia = P/(T+10)	Valoración del factor
Zonas climáticas		
Hiperhúmeda o per-húmeda	> 60	10
Húmeda	30 – 60	8
Sub-húmeda	20 – 30	6
Semiárida de tipo mediterráneo	10 – 20	4
Semidesierto (árida)	5 – 10	2
Desierto (Hiperárida o árida extrema)	0 – 5	0
Precipitación en 24 horas para un período de retorno de 100 años (P₂₄)	Valoración del factor	
> 150 mm		10
125 a menos de 150 mm		8
100 a menos de 125 mm		6
75 a menos de 100 mm		4
50 a menos de 75 mm		2
<50 mm		0

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España)

Peligrosidad asociada al emplazamiento (PEM)

La ubicación geográfica del depósito será por lo tanto un factor determinante. Que será evaluado a través de la peligrosidad sísmica (a_b). La peligrosidad sísmica del territorio español se ha establecido por medio del mapa de peligrosidad sísmica, incluido en la norma de construcción sismorresistente (NCSR-2002) y futuras actualizaciones.

Los valores asignados a la peligrosidad sísmica del emplazamiento o sismicidad de la zona, expresada a través de la aceleración sísmica básica (a_b) para un período de retorno de 500 años, quedan recogidos en la (Tabla 7). Asimismo, a la localización de una presa en el campo cercano (5 km) de una falla activa se le puede asignar un valor de peligrosidad sísmica muy alto.

Tabla 7: Evaluación de los factores que definen la peligrosidad asociada al emplazamiento de una presa.

Valoración del factor peligrosidad asociada al emplazamiento (PEM)	
PEM= valor del factor más desfavorable (peligrosidad sísmica/o debido a movimientos del terreno o sobrecargas antrópicas)	
Criterios de valoración	Valoración del factor
Peligrosidad sísmica del emplazamiento (a_b, en función de la aceleración sísmica básica)	
Mayor de 0,16	20
Entre 0,16 y 0,12	16
Entre 0,12 y 0,08	12
Entre 0,04 y 0,08	8
< 0,04	0
Deslizamientos vertientes al vaso de la presa que puedan comprometer la estabilidad (Des)	
SI	20
NO	0
Sobrecargas antrópicas sobre la presa de lodos (Car), en función del % de superficie ocupada por volúmenes apreciables de residuos, instalaciones, etc.	
75% - 100%	20
50% - 75%	16
25% - 50%	12
10% - 25%	8
< 10%	4
Sin sobrecargas	0

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España).

3.3.2. Escala de índice de probabilidad

La evaluación de la probabilidad de ocurrencia de los escenarios de riesgo se realiza a través de lo que han denominado índices de probabilidad (IP) para cada caso, cuya escala propuesta es (ver Tabla 8).

Tabla 8: Escala general de valoración y clasificación de índice de probabilidad.

CALIFICACIÓN	VALOR DE ÍNDICE DE PROBABILIDAD (IP)
MUY ALTO	≥ 4
ALTO	≥ 3 y < 4
MEDIO	≥ 2 y < 3
BAJO	≥ 1 y < 2
MUY BAJO	≥ 0 y < 1

Fuente: Alberruche et al. 2014

3.3.3. Evaluación y escala del índice de la severidad

Cada índice de severidad (I_s) es considerado en función de los tres tipos de receptores: población, medio natural y medio socioeconómico, que se dan en los siguientes escenarios:

- Efectos sobre la población derivados de la rotura del dique de contención (FPREPO).
- Efectos sobre el medio natural derivados del fallo o rotura del dique de contención (FPRENA).
- Efectos sobre el medio socioeconómicos derivados del fallo del dique de contención (FPRESE).

Los índices de severidad también se evalúan a una escala de cero a cinco como se muestra en la (Tabla 9).

Tabla 9: Escala general de valoración y clasificación de índice de severidad.

CALIFICACIÓN	VALOR DE ÍNDICE DE SEVERIDAD (Is)
MUY ALTO	≥ 4
ALTO	≥ 3 y < 4
MEDIO	≥ 2 y < 3
BAJO	≥ 1 y < 2
MUY BAJO	≥ 0 y < 1

Fuente: Alberruche et al. 2014

3.3.4. Matriz de valoración de las probabilidades y severidad del riesgo

La matriz de riesgos propuesta por el IGME, se basa en la valoración conjunta de los dos factores involucrados que son la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias (ver Figura 3).

		SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
PROBABILIDAD DE LA OCURRENCIA	MUY ALTA	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
	ALTA	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	MEDIA	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO
	BAJA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO
	MUY BAJA	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO

GRAVE

NO GRAVE

Figura 3: Matriz de riesgo propuesta por el IGME para la evaluación del riesgo y la clasificación de accidentes.

Fuente: (Alberruche et al. 2014)



3.4. VARIABLES

- Variable independiente. Características geológicas y geotécnicas.
- Variable dependiente. Riesgo por falla de la presa.

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La presa Lagunillas se ubica en el Distrito de Santa Lucia, la Provincia de Lampa y en la Región Puno. Geográficamente se encuentra ubicada en la quebrada Cerrillos, a una altura de 4174 msnm, siendo sus coordenadas geográficas 15°43'16'' de latitud sur y 70°42'17'' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. (Ver anexo C-1).

4.2. ACCESIBILIDAD

Los accesos principales se presentan de la siguiente manera.

Tabla 10: Vías de acceso al embalse Lagunillas.

N°	TRAMO	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (min)	TIPO DE VIA
1	Puno-Mañazo	40	50	Asfaltada
2	Mañazo-Santa Lucia	40	20	Asfaltada
3	Santa Lucia-Lagunillas	20	25	Trocha

Fuente: (PEBLT 2014)

4.3. CLIMA

En el aspecto climático, la zona que se identifica con el altiplano, que corresponde a un medio de ambiente húmedo y frígido con precipitaciones anuales que oscilan de 400 a 1000 mm. Las temperaturas son bajas, su promedio anual está alrededor de 6 grados centígrados, siendo de esperarse en las noches temperaturas de congelación y en el día fuerte insolación, esto determina una alta evaporación que alcanza una media anual de 1750mm.



Es precisamente por estas condiciones técnicas que la comarca no es apropiada para la agricultura, aunque el régimen de lluvias y el grado de efectividad de la humedad son buenas; en cambio, la ganadería de auquénidos, ovinos y vacunos.

4.4. VEGETACIÓN

El proyecto se extiende en un área de con una serie de hondonadas quebradas que se recorren, siendo además un área de cambios de declive, la vegetación de la zona se caracteriza por crecer a altitudes elevadas con respecto al nivel del mar, tales como el ichu, tola, flores silvestres, variedad de cactus, keñua, otros.

4.5. SISMICIDAD

De acuerdo al plano de zonificación sismo tectónica preliminar del sur del Perú, la región Puno - Lagunillas se ubica dentro de la zona 2, de actividad sísmica intermedia, con intensidades máximas probables entre VI y VII grados de la escala de Mercali Modificada. La experiencia en el Perú sobre disertos de presas de concreto tipo gravedad es limitada, sin embargo, considerando que la región se ubica en el Sur del Perú que es una región de fuerte actividad sísmica, en el diseño de la presa se debe un coeficiente sísmico bastante conservador, el que estimamos debe ser 0.20 g. considerando un período de retorno de 75 años (Instituto Geofísico del Perú).

4.6. HIDROLOGÍA

La zona de estudio pertenece a la cuenca del río Cabanillas desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Lampa. La presa Lagunillas permite almacenar los recursos hídricos de 600 kilómetros cuadrados de la subcuenca del río Ichocollo, vertiendo sus aguas bajo régimen regulado en el río Cerrillos y que en confluencia con el río Verde (no regulado) conforman el río Cabanillas (Ver anexo C-2).



El área de estudio hidrográficamente se ubica en la cuenca del río Coata, vertiente del Titicaca y perteneciente al sistema Titicaca, Desaguadero, Poopo y Salar de Coipasa (TDPS).

La cuenca del río Cabanillas, limita por el Norte con las nacientes de la cuenca del río Ayaviri; por el Este con el área circunlacustre del lago Titicaca, por el Sur con la cuenca del río Illpa y las nacientes del río Tambo, y por el Oeste con las nacientes del río Camaná. (Ver figura 4).

Tabla II: Características físicas del embalse Lagunillas

Volumen de almacenamiento	585.13 MMC
Cota máxima de operación	4168.80 msnm
Cota mínima de operación	4157.28 msnm
Año de Inicio de operación	1999
Administración Actual	PEBLT
Demanda actual	10 m ³ /S
Área de espejo de agua antes del embalse	25.31 Km ²

Fuente: (PEBLT 2014)

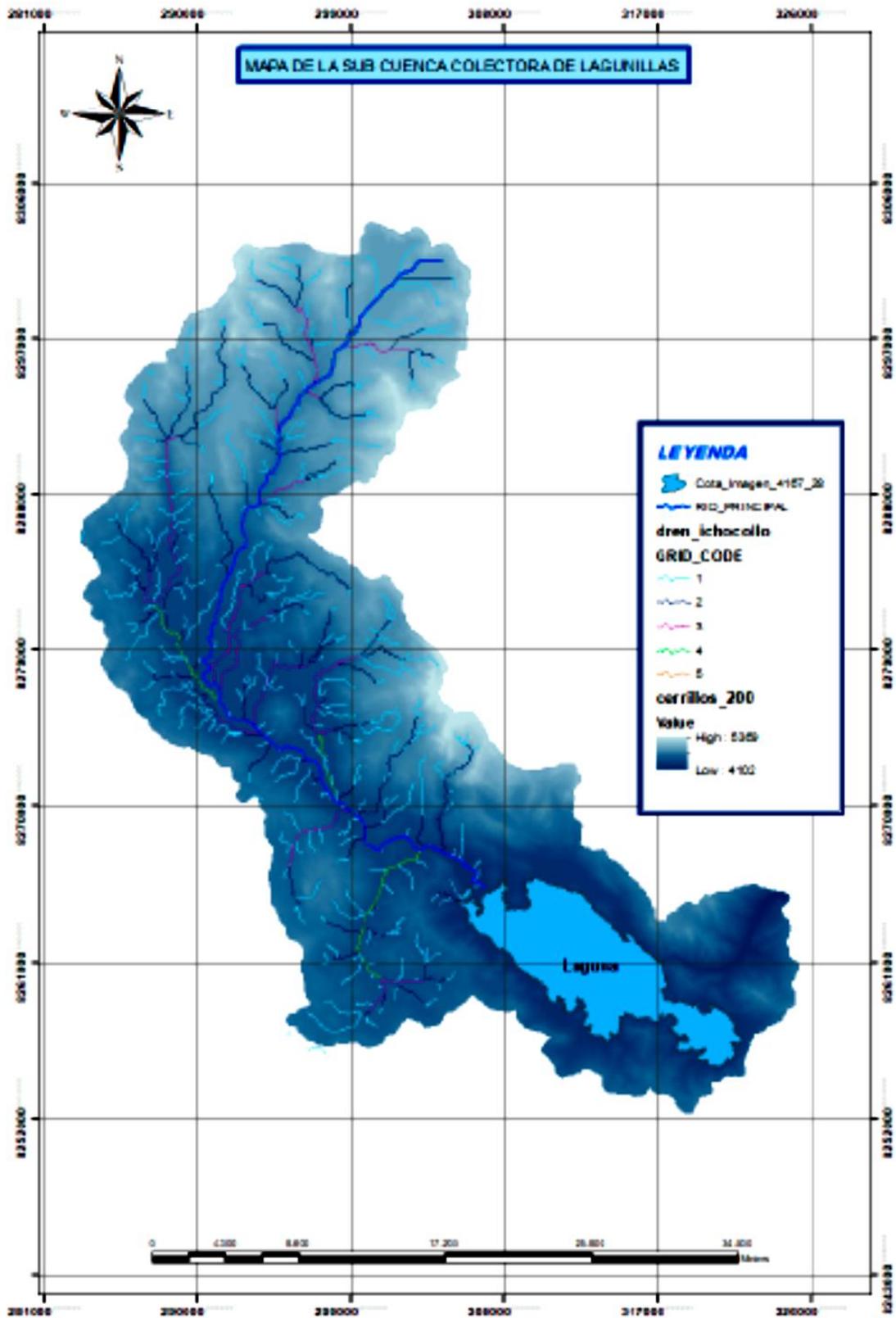


Figura 4: Mapa de subcuena de Lagunillas.

Fuente: Estudio hidrológico (PEBLT 2014)



4.6.1. Niveles y volúmenes hidráulicos del embalse Lagunillas

La subcuenca Lagunillas tiene un área colectora de 821.5 Km², de las cuales la misma laguna Lagunillas tiene un área de 65.95 Km². La identificación y descripción geomorfológica del área circunlacustre del embalse nos ha permitido proyectar acciones de recuperación, protección y conservación. Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un bofedal, como el suelo, agua, plantas y animales, hacen posible que este desempeñe funciones vitales, como el almacenamiento de agua; protección contra inundaciones, control de la erosión, recarga de acuíferos, purificación de aguas mediante retención de nutrientes, sedimentos, contaminantes y estabilización de condiciones climáticas locales, particularmente de precipitación y temperatura.

Los niveles y volúmenes hidráulicos del embalse Lagunillas, fueron extraídos de estudios anteriormente ejecutados, entre los documentos revisados se tiene: Diseño definitivo a nivel ejecutivo y el estudio hidrológico del sistema integral Lagunillas, de acuerdo con los estudios revisados, los niveles y volúmenes operativos del embalse Lagunillas, se presentan en la (Tabla N°12).

Tabla 12: Relación Altura – Área – Volumen del embalse Lagunillas

CALCULO DE AREAS Y VOLUMENES EMBALSE LAGUNILLAS								
Nº	COTA	ALTURA	AREA	AREA	AREA	AREA	VOLUMEN	VOLUMEN
	(m.s.n.m.)	Acumul (m)	NETA (m2)	ACUMULADA (m2)	NETA (km2)	ACUMULADO (km2)	PARCIAL (MMC)	ACUMULADO (MMC)
1	4111		2855.04	2855.04	0	0	0	0
2	4112	1	78707.24	81562.28	0.08	0.08	0.04	0.04
3	4113	2	90887.72	172450	0.09	0.17	0.13	0.17
4	4114	3	133584.78	306034.78	0.13	0.31	0.24	0.41
5	4115	4	179981.03	486015.81	0.18	0.49	0.4	0.8
6	4116	5	201588.15	687603.96	0.2	0.69	0.59	1.39
7	4117	6	242705.91	930309.87	0.24	0.93	0.81	2.2
8	4118	7	281470.96	1211780.83	0.28	1.21	1.07	3.27
9	4119	8	242831.97	1454612.8	0.24	1.45	1.33	4.6
10	4120	9	204029.47	1658642.27	0.2	1.66	1.56	6.16
11	4121	10	189635.36	1848277.63	0.19	1.85	1.75	7.91
12	4122	11	160296.8	2008574.43	0.16	2.01	1.93	9.84
13	4123	12	175701.25	2184275.68	0.18	2.18	2.1	11.94
14	4124	13	166495.95	2350771.63	0.17	2.35	2.27	14.21
15	4125	14	166097.93	2516869.56	0.17	2.52	2.43	16.64
16	4126	15	160580.59	2677450.15	0.16	2.68	2.6	19.24
17	4127	16	153613.41	2831063.56	0.15	2.83	2.75	21.99
18	4128	17	147532.6	2978596.16	0.15	2.98	2.9	24.9
19	4129	18	145210.55	3123806.71	0.15	3.12	3.05	27.95
20	4130	19	143891.29	3267698	0.14	3.27	3.2	31.14
21	4131	20	145965.08	3413663.08	0.15	3.41	3.34	34.48
22	4132	21	143331.13	3556994.21	0.14	3.56	3.49	37.97
23	4133	22	134759.55	3691753.76	0.13	3.69	3.62	41.59
24	4134	23	129054.83	3820808.59	0.13	3.82	3.76	45.35
25	4135	24	124187.43	3944996.02	0.12	3.94	3.88	49.23
26	4136	25	119358.58	4064354.6	0.12	4.06	4	53.24
27	4137	26	114557.57	4178912.17	0.11	4.18	4.12	57.36
28	4138	27	122728.41	4301640.58	0.12	4.3	4.24	61.6
29	4139	28	134044.96	4435685.54	0.13	4.44	4.37	65.97
30	4140	29	148280.31	4583965.85	0.15	4.58	4.51	70.48
31	4141	30	167712.8	4751678.65	0.17	4.75	4.67	75.15
32	4142	31	178107.85	4929786.5	0.18	4.93	4.84	79.99
33	4143	32	186265.22	5116051.72	0.19	5.12	5.02	85.01
34	4144	33	168703.44	5284755.16	0.17	5.28	5.2	90.21
35	4145	34	165168.86	5449924.02	0.17	5.45	5.37	95.58
36	4146	35	210428.2	5660352.22	0.21	5.66	5.56	101.13
37	4147	36	282622.84	5942975.06	0.28	5.94	5.8	106.93
38	4148	37	384251.7	6327226.76	0.38	6.33	6.14	113.07
39	4149	38	699907.27	7027134.03	0.7	7.03	6.68	119.75
40	4150	39	641228.07	7668362.1	0.64	7.67	7.35	127.09
41	4151	40	785864.96	8454227.06	0.79	8.45	8.06	135.16
42	4152	41	2101866.66	10556093.7	2.1	10.56	9.51	144.66
43	4153	42	1870307.11	12426400.8	1.87	12.43	11.49	156.15
44	4154	43	2971135.75	15397536.6	2.97	15.4	13.91	170.06
45	4155	44	2678459.6	18075996.2	2.68	18.08	16.74	186.8
46	4156	45	1883599.78	19959596	1.88	19.96	19.02	205.82
47	4157	46	1707099	21666695	1.71	21.67	20.81	226.63
48	4157.26	46.26	538973	22205668	0.54	22.21	5.7	232.34
49	4158	47	1649167.23	23854835.2	1.65	23.85	17.04	249.38
50	4159	48	4132218.41	27987053.6	4.13	27.99	25.92	275.3
51	4160	49	13015943.9	41002997.5	13.02	41	34.5	309.79
52	4161	50	7955432.42	48958429.9	7.96	48.96	44.98	354.77
53	4162	51	4891208.2	53849638.1	4.89	53.85	51.4	406.18
54	4163	52	2761515.74	56611153.9	2.76	56.61	55.23	461.41
55	4164	53	1978252.72	58589406.6	1.98	58.59	57.6	519.01
56	4165	54	1487743.74	60077150.3	1.49	60.08	59.33	578.34
57	4166	55	1419696.74	61496847.1	1.42	61.5	60.79	639.13
58	4167	56	1644528.08	63141375.2	1.64	63.14	62.32	701.45
59	4168	57	1645532.15	64786907.3	1.65	64.79	63.96	765.41
60	4168.8	57.8	548623.15	65335530.5	0.55	65.34	52.05	817.46

Fuente: Estudio hidrológico (PEBLT 2014).

Gráficamente la relación Altura – Área – Volumen del embalse Lagunillas, se representa de la siguiente manera (ver Figura 5).

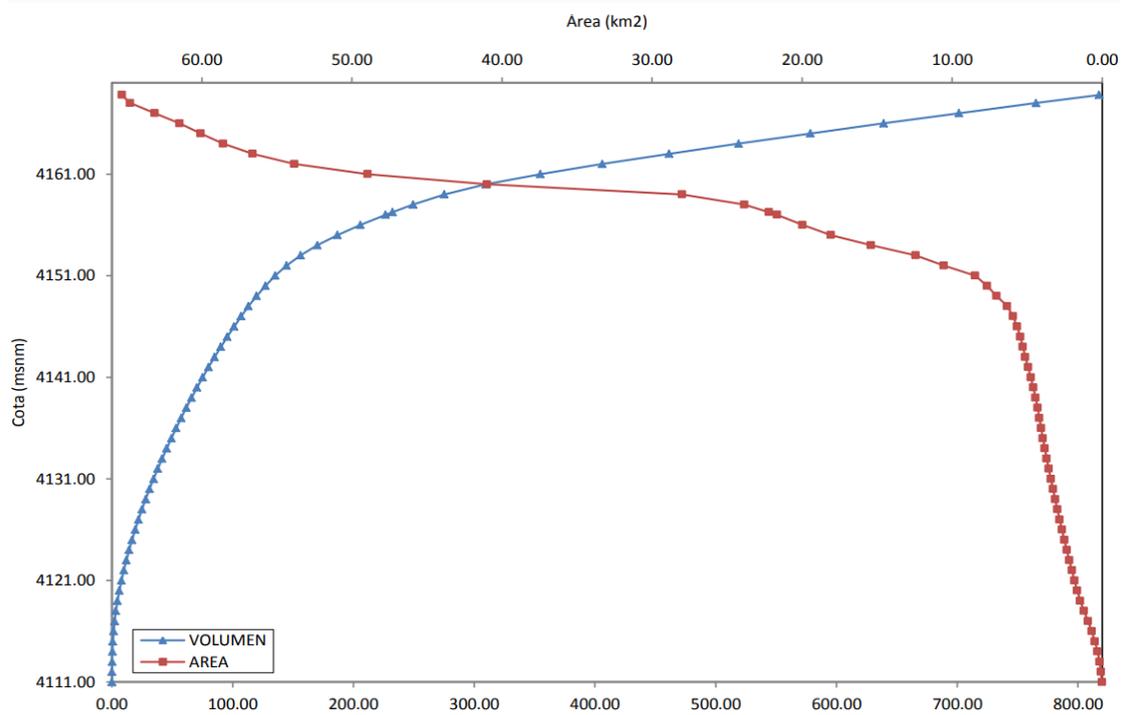


Figura 5: Curva altura – Área – volumen del embalse Lagunillas.

Fuente: Estudio hidrológico (PEBLT 2014).

En la (Tabla 13) se resume, el caudal máximo en periodo de retorno de los niveles y volúmenes hidráulicos del embalse Lagunillas.

Tabla 13: Caudal máximo según el periodo de retorno

Nivel y Volúmenes operativos de embalse			
Nivel de agua mínima	MANI	4157.26	m.s.n.m
Nivel de agua máximo ordinario	NAMO	4168.8	m.s.n.m
Nivel de agua máximo extraordinario	NAME	4171.2	m.s.n.m
Cota de coronación de la presa	Hf	4171.8	m.s.n.m
Volumen total	VT	817.46	MMC
Volumen Útil	VU	585.13	MMC
Volumen muerto	VM	232.34	MMC

Fuente: Estudio hidrológico (PEBLT 2014).



4.7. GEOLOGÍA LOCAL

La geología local de la presa Lagunillas corresponde al flanco oriental de la cordillera occidental de los andes del sur del Perú y parte occidental del altiplano peruano. La litología local predominante consta de rocas del Oligoceno - Mioceno del Grupo Tacaza, representado por brechas andesíticas de color gris a azul grisáceo que se alteran a color marrón, con alternancias de lavas andesíticas, una textura porfírica.

Litológicamente predomina las brechas andesíticas, rocas volcánicas cubierto con material cuaternario (Ver anexo C-3).

4.7.1. Brecha andesítica

Depósito de material volcánico constituido por clastos angulosos. Las brechas se generan en erupciones explosivas por rotura de la roca de caja y/o de tapones de lava que obturan los conductos de emisión. También se asocian a la extrusión de domos y a la formación de algunos diques. El enfriamiento de la superficie de las coladas de lava, unido al desplazamiento diferencial de las zonas más calientes da lugar a procesos de brechificación en dicha superficie.

Próxima a la zona de la presa en el estribo derecho ,izquierdo en la parte superficial grietas pequeñas rellenas con carbonatos, muy alteradas lo que se considera como una roca mala para cimentar construcciones, a medida que se va profundizando ,esto mejora se considera como la roca regular, según estudios realizados con perforaciones se determinó la calidad de roca (RQD) , lo que la cimentación de la presa está en una roca de calidad buena para diferentes cimentaciones en este caso para la presa Lagunillas y las características principales de los afloramientos muy próximos a la presa.



Figura 6: Brechas totalmente alteradas y erosionadas en la parte superficial.

4.7.2. Características de las rocas volcánicas

Tabla 14: Características de las rocas volcánicas.

Litología	:Brecha andesítica.
Granularidad	:Grano fino a medio.
Fragmentos	:Heterométricos, varía de 2 a 10 cm. y principalmente corresponden a andesitas gris verdosas.
Textura	:Porfirítica y brechoide.
Minerales esenciales	:Plagioclasas, piroxenos y volcánico.
Minerales accesorios	:Plagioclasas, piroxenos y volcánico.
Minerales secundarios	:Clorita y calcita.
Alteraciones	:Devitrificación y carbonatación.
Observaciones	: Venillas y venas de carbonatos, incluso carbonatos diseminados. que engloban los fragmentos de roca.

Fuente: (Elaboración propia).

4.7.3. Afloramiento de rocas volcánicas andesíticas

La andesita es una roca volcánica caracterizada normalmente por una textura hipocrystalina con abundantes fenocristales de plagioclasa entre los félsicos y anfíbol, biotita o piroxenos entre los máficos. Aunque normalmente el QAPF proyecta andesitas y basaltos en el mismo campo composicional, el índice de color (mayor de 35 habitualmente en los basaltos) y la presencia de vidrio abundante (no muy habitual en basaltos), permite diferenciar ambos tipos litológicos.

4.7.4. Afloramiento de material cuaternario

En la geología del cuaternario de la zona de estudio se diferenciaron los tipos de depósitos y materiales cuaternarios. Las unidades cuaternarias que conforman el valle fluvial del río Cerrillos, intercalaciones aluviales, avalancha volcánica, terrazas fluviales, suelo residual y coluviales. La mayor potencia de relleno ubicado en terrazas fluviales de acumulación es más o menos menores de 0.3- 0.8 metros de potencia.

4.8. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La presa Lagunillas está, dentro del dominio morfo estructural de la cordillera occidental del Perú, la cual se encuentra disectada por los cauces de los ríos y quebradas. En la zona, los valles con vertientes fuertes están modeladas en rocas volcánicas. Los cauces de los ríos tienen pendiente moderada y descienden hacia la vertiente del lago Titicaca. La evolución geomorfológica de la zona de estudio está ligada al levantamiento andino, que determinó el afloramiento de las rocas mesozoicas, la acción climática, esencialmente glacial, han contribuido a configurar la expresión topográfica actual (Ver anexo C-4)

Para esta clasificación de las unidades geomorfológicas se tomó en cuenta la

fuentes propias en situ ver (Tabla 8).

Tabla 15: Unidades Geomorfológicas.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS			
SISTEMA	UNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
FLUVIAL	Lecho Fluvial	SF – LF	Son angostos y compuestos principalmente de gravas y cantos, forman los ejes de las quebradas
	Valles “V”	SF – VV	Por la naturaleza topográfica de la zona estos son de tipo juvenil cuyo perfil presenta típicas formas en “V”.
MONTAÑOSO	Farallones	SM – FA	Medios Rocosos con pendientes muy fuertes a verticales.
	Montañas bajas	SM – MB	Montañas con laderas suaves con erosión laminar de formas redondeadas.
	Montañas Altas Moderadas	SM – MAM	Montañas de laderas con pendientes moderadas a fuertes, presentan débil cobertura cuaternaria.
	Montañas Altas Abruptas	SM – MAA	Montañas rocosas de pendientes abruptas, con presencia de picos elevados y nieves perpetuas.

Fuente: (Elaboración propia)

4.9. CARACTERIZACIÓN ESTEREOGRÁFICA

El área donde se encuentra construida la presa Lagunillas presenta signos de tectonismo intenso manifestado por microfisuración y zonas milonitizadas. Un tipo de roca similar son las brechas, pero estas se distinguen de los conglomerados por estar compuestas de clastos angulosos. Los conglomerados componen menos del 1% de las rocas sedimentarias del mundo en cuanto refiere su peso.

El estribo derecho litológicamente está conformado por brechas andesíticas, en los espacios del macizo rocoso completando material cuaternario (conglomerados), muy fracturados con presencia de varias familias de discontinuidades ver (Figura 8). El estribo izquierdo las características litológicas son similares al estribo derecho con la diferencia que hay más presencia de macizo rocoso y presenta menos cantidad de discontinuidades ver (Figura 7).

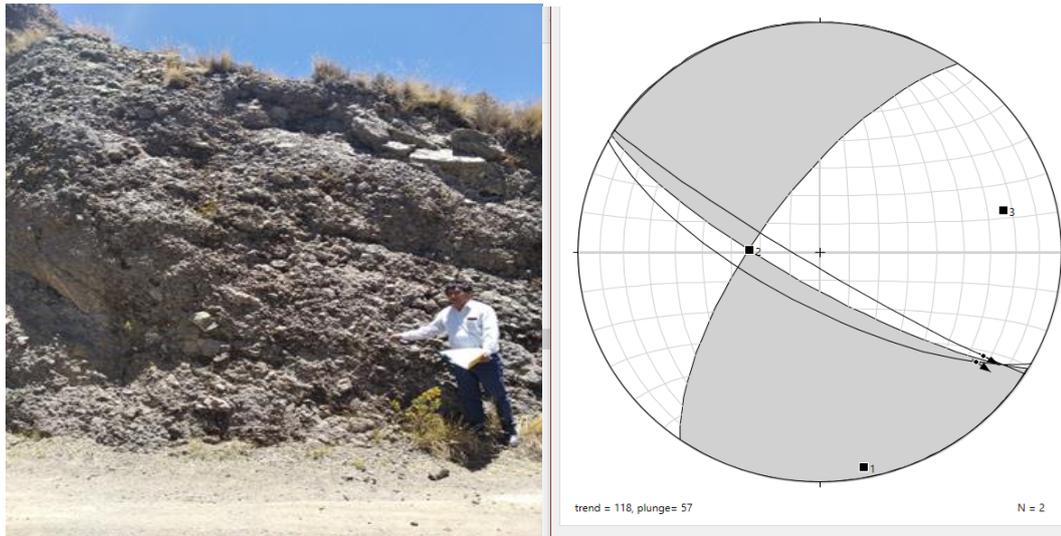


Figura 7: Estribo izquierdo, (Brecha andesita fracturada con ligera meteorización la calidad de roca regular).

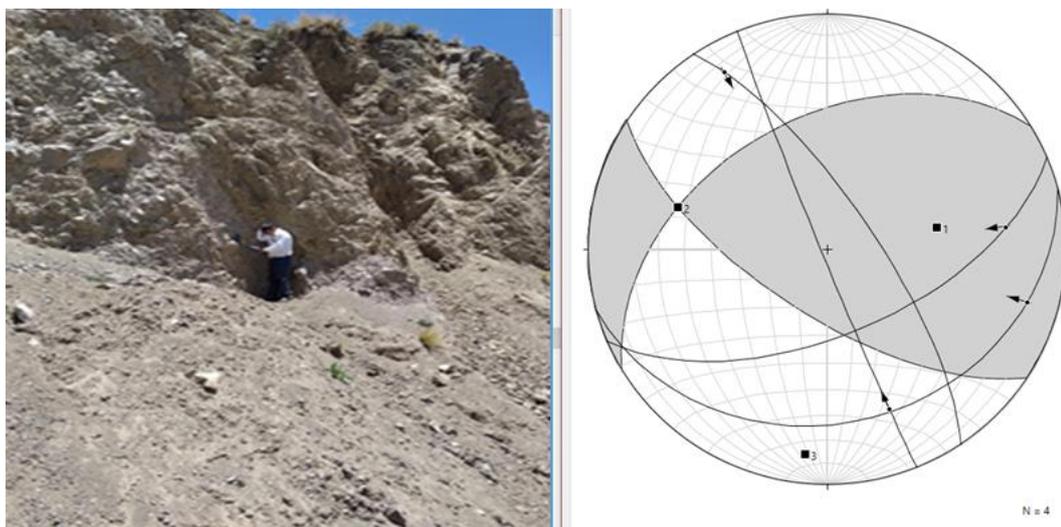


Figura 8: Estribo derecho (brecha andesítica muy fracturada e intemperizada la calidad de roca mala).

En la zona de estudio no existe presencia de arcilla, o sea la plasticidad, hace que el material en la parte de la superficie no sea expansible.



CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS DE LA PRESA LAGUNILLAS.

5.1.1. Características geológicas

Se tomó como base la información del INGEMMET, se hizo un resumen de la geología regional del área de la presa y en base a ello se pudo realizar lo correspondiente a la geología local, lo cual comprende el eje y los estribos del cuerpo de presa en esta misma base se elaboró el mapa geomorfológico e hidrogeológico correspondientes (ver anexos), así como los mapeos estructurales microtectónicos en la zona de los estribos.

Estructuralmente uno de los principales elementos estructurales y paleotectónicos del Sur del Perú es el CELALA, cuya orientación N150 muestra una interesante oblicuidad de 20° con la dirección andina regional. Este gran sistema de desgarre dextral tiene 40 a 80 Km de ancho y muestra una variedad de características tectónicas magmáticas y sedimentarias.

La presa Lagunillas se encuentra emplazada en el Grupo Tacaza, las relaciones de contacto entre las unidades pre y post Tacaza son observadas claramente, es discordante con el Grupo Puno y para conforme con las tobas del grupo Palca. El CELALA fue el área de emplazamiento de las rocas ígneas del grupo Tacaza, el cual incluye principalmente rocas volcánicas básicas alcalinas datadas en 30-40 Ma; (Fornari et al., 2002) e intrusiones básicas a félsicas que también presentan afinidades alcalinas (Mamani & Ibarra, 2000) su geometría y características geoquímicas muestran que este corredor magmático no se relacionaba directamente con la subducción pero más bien funcionó



como un sistema de desgarre litosférico que permitió que líquidos mantélicos alcanzaran la superficie. El plegamiento de las coladas básicas del Tacaza en el CELALA está sellado por estratos de edad mioceno superior o más reciente.

5.1.2. Características geotécnicas

Los suelos adyacentes a la estructura de la presa Lagunillas, está conformado por suelos areno limosos de poco espesor, hasta una profundidad aproximado de 0.90 metros, puesto que más abajo es de material compacto, en este caso de material rocoso (brecha andesítica).

Conjunto de grano y partículas que se encuentran en la parte superior de la corteza terrestre y surgen de la desintegración física y descomposición química de las rocas.

El tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus propiedades físicas textura, estructura, porosidad y el color.

Según a los resultados obtenidos del laboratorio y su textura que presentan podemos distinguir y clasificar variedades de suelos:

- Areno.
- Limosos.
- Grava.

Se realizó cuatro calicatas en la zona de estudio en la (Tabla 16) se resumen los resultados según J&C LABORATORIOS:

Tabla 16: Resumen de calicatas

CALICATA	CLASIFICACIÓN DE SUELO
1	La clasificación de suelo según resultado de J&C LABORATORIOS, AASHTO (A-1-b (0)) Y SUCS (SM) presenta un suelo superficialmente cubierto por vegetación de la zona, gravas limosas con raíces y en profundidad de 0.10m - 0.80m conformado por mezcla grava-arena, limo de color verdoso oscuro, presencia de gravas de T.M. 1 ½” de cantos angulosas en matriz limo arenoso, suelo compacto (Ver anexo A-1 y B-1).
2	La clasificación de suelo según resultado de J&C LABORATORIOS, AASHTO (A-1-a (0)) Y SUCS (SP-SM) presenta un suelo superficialmente cubierto por vegetación de la zona, gravas limosas con raíces y en profundidad de 0.10m – 1.00m conformado por arena limosa, mezcla arena-limo, arena gravosa, poco o ningún fino de color verdoso oscuro. presencia de gravas de T.M. 1 ½” de cantos angulosas en matriz limo arenoso, suelo compacto (Ver anexo A-2 y B-2).
3	La clasificación de suelo según resultado de J&C LABORATORIOS, AASHTO (A-1-b (0)) Y SUCS (SM) presenta un suelo superficialmente cubierto por vegetación de la zona, gravas limosas con raíces y en profundidad de 0.10m – 1.20m conformado por arena limosa, mezcla arena - limo de color verdoso oscuro, presencia de gravas de T.M. 1 ½” de cantos angulosas en matriz limo arenoso, suelo medianamente compacto (Ver anexo A-3 y B-3).
4	La clasificación de suelo según resultado de J&C LABORATORIOS, AASHTO (A-1-a (0)) Y SUCS (SM) presenta un suelo superficialmente cubierto por vegetación de la zona, gravas limosas con raíces y en profundidad de 0.10m – 0.80m conformado por mezcla grava - arena - limo de color amarillo claro, gravas limosas, gravas de T.M. 2” de cantos angulosas en matriz limo arenoso, suelo muy compacto (Ver anexo A-4 y B-4).

5.2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGO DE FALLA DE LA PRESA LAGUNILLAS

La identificación de riesgo es una técnica que sirve para identificar, caracterizar, cuantificar y evaluar peligros. Presenta dos fases distintas: una cualitativa de identificación, caracterización y ordenamiento; y otra cuantitativa que incluye tanto la valoración de la probabilidad y severidad como las consecuencias de la ocurrencia del

peligro.

5.2.1. Valoración de la probabilidad de rotura del dique de la presa Lagunillas

Para calcular la probabilidad de rotura de una presa se toma en consideración varios factores o parámetros, todos los factores descritos y calculados a continuación se valorarán según las tablas del manual de riesgos del IGME y los rangos de puntuación se califica con la (Tabla 2). Dichos factores considerados son:

5.2.1.1. Diseño y características constructivas de la presa Lagunillas (DC)

Para valorar este factor se considera un conjunto de subfactores los cuales se valoran de acuerdo a la (Tabla 2).

Tabla 17: Valoración del factor de diseño y características constructivas del dique(DC) para la presa Lagunillas.

Valoración del factor y características constructivas de la presa Lagunillas (DC)	
Criterio de valoración	valoración del factor
Material de construcción de dique (Mat)	
Material de concreto	00
Método de recrecimiento del dique (Mc)	
Aguas arriba	16
Angulo en grados del dique principal o talud general si existen bermas(θ)	
La presa es mayor a 35°	24
Altura de la presa o de la suma de los diques (H)	
La altura de la presa Lagunillas 15.80	08
Longitud del dique de coronación (LD)	
La longitud de la coronación del dique de la presa Lagunillas mide 90m	02
DC=Mat+Mc+ θ +H+LD	50

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.1.2. Volumen de agua almacenado en la presa Lagunillas (VOL)

De acuerdo a la información obtenida del “plan de prevención de desastres, usos del suelo y medidas de mitigación” realizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI, 2004) la presa Lagunillas almacena un volumen total 585MMC aproximadamente asume el valor máximo que es **20** (Ver Tabla 3).

5.2.1.3. Factor de emplazamiento presa Lagunillas (EMP)

Se valora el factor de emplazamiento en función de los siguientes criterios y se da una puntuación de acuerdo los rangos de la (Tabla 4):

Tabla 18: Valoración del factor de emplazamiento (EMP) para la presa Lagunillas.

Valoración del factor emplazamiento (EMP)	
Criterio de valoración	Valoración de Factor
Tipología de presa según lugar del emplazamiento (Temp)	
Junto a cursos de agua (valley-bottom) en resto de tipologías de valle	64
Material del sustrato o cimentación (Sus)	
Suelo poco o nada consolidado	20
EMP=Temp+Sus	84

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.1.4. Integridad física de la presa Lagunillas (IF)

Se obtiene directamente mediante la (Tabla 5) en la que se relacionan, por un lado, las inestabilidades observadas en la presa, y por el otro el grado de erosión del dique. La presa lagunillas por estar ubicado en una zona de fallamiento debido al tectonismo, clara evidencia de bechas andesíticas, por lo tanto, es considerado el valor máximo 80.

5.2.1.5. Balance de humedad y materiales que conforma la presa Lagunillas (BH)

Para hallar el factor se tomó en cuenta una serie de subfactores y se da una

valoración de acuerdo a la (Tabla 6).

Tabla 19: Valores a los subfactores de balance hídrico (BH) laguna de decantación, nivel freático, aspectos climáticos, entradas y salidas de agua de la presa Lagunillas.

Valoración del factor balance de humedad de los residuos que conforman la presa (agua freática)	Valoración de Factor
Laguna de decantación (Ld)	
Ausencia de laguna de decantación	0
Posición de nivel freático en el dique (Fr)	
En el pie o base del dique	8
Índice de Aridez de Martonne (Ia)	
Zonas climáticas	Ia=P/(T+10)
Húmeda promedio 55% (Instituto Nacional de Recursos Naturales)	30 - 60
Precipitación en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años (P24)	
Lagunillas presenta una precipitación de 60.91mm (Instituto Nacional de Recursos Naturales)	2
Caudal de escorrentía que ingresa a la presa(QE)	
Caudal de escorrentía muy alto debido al ingreso del río Ichocollo	10
Sistema de drenaje interno y otras infraestructuras de evacuación, retención y desvío de las aguas de escorrentía (DE)	
Ausencia o sistema de drenaje interno no operativos / presencia de aliviaderos y/o canales perimetrales operativos.	12
Grado de revegetación (Rv)	
Vegetación de bajo, medio y elevado porte con cobertura entre 50 y 75%	2
BH=Ld+Fr+Ia+P24+QE+DE+Rv	42

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.1.6. Peligrosidad asociada al emplazamiento (PEM)

El Perú considerado como una de las regiones de más alta actividad sísmica, la presa Lagunillas se ubica dentro de la zona 2, de actividad sísmica intermedia, la mayor aceleración de sismo extremo es de 0.20 g. considerando un período de retorno de 75 años, según la (Tabla 7) tiene una puntuación máxima de **20**.

5.2.2. Resultado del valor de la posible rotura de la presa Lagunillas

Sumando todos los factores que han sido descritos, se obtiene el valor de la peligrosidad (P_{ePRE}), entendida como la susceptibilidad ante la posible rotura del dique de la presa. La suma máxima teórica puede alcanzar el valor de 400 puntos. En este caso la suma total alcanza 296 lo cual se considera de alta peligrosidad.

Tabla 20: Valor de factor de peligrosidad ante la rotura de P_{ePRE} Para la presa Lagunillas

Puntuación P_{ePRE}	
MUY ALTO	>300
ALTO	225-300
MEDIO	150-225
BAJO	75-150
MUY BAJO	<75

Fuente: (Instituto Geológico Minero de España).

El valor del índice de probabilidad de rotura del dique I_P (FPRE), se obtiene del siguiente gráfico:

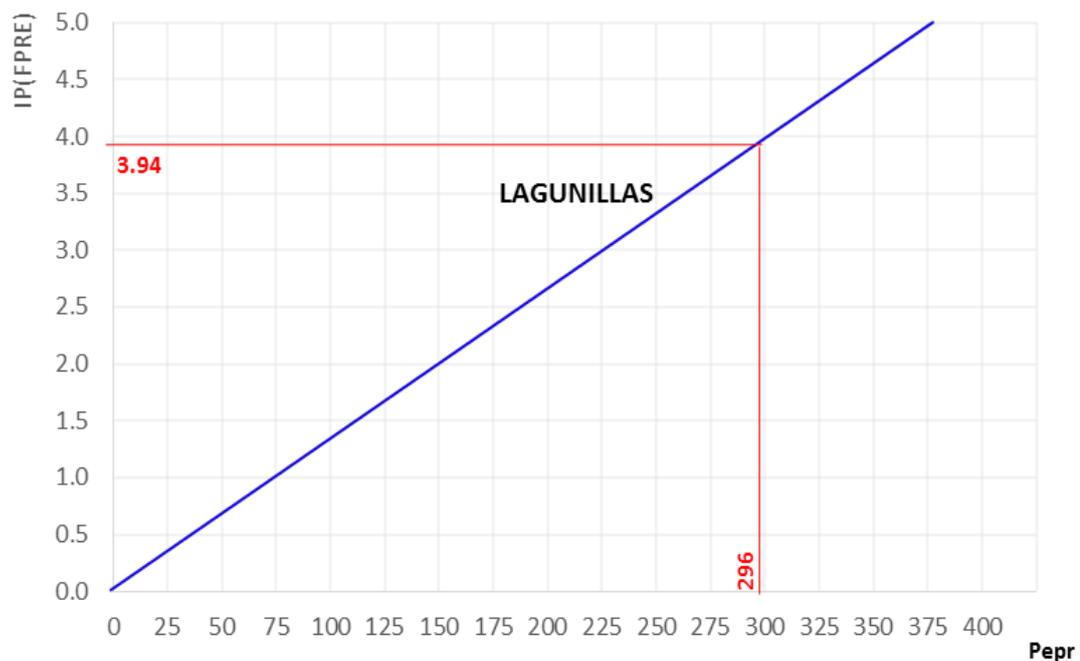


Figura 9: Valor de Índice de probabilidad de ocurrencia (I_{pFPRE}) en función de la peligrosidad (P_{ePRE}) para la presa lagunillas.



5.2.3. Índice de severidad de los efectos sobre las personas y la población derivado del fallo o rotura del dique de contención de la presa Is(FREPO).

En cuanto a la severidad del fallo o rotura del dique de contención de la presa, dependerá en primer lugar del posible recorrido de flujo de agua con sedimentos en situación de rotura. Para su determinación se usa la siguiente formula empírica:

$$D_{\max} = 1.61 \times (H \times V_F)^{0.66}$$

Donde:

D_{\max} es la distancia máxima recorrida del flujo.

H es la altura de la presa, la presa Lagunillas 15.80.

V_F es el volumen vertido que a su vez puede ser estimado por la expresión:

$V_F = 0.354 \times (V_T^{1.01})$ la cantidad de millones de metros cúbicos de material vertido.

Aplicando la formula y con los datos resulta:

$$D_{\max} = 1.61 \times (15.80 \times (0.354 \times (585^{1.01})))^{0.66}$$

$$D_{\max} = 350.64 \text{ Km}$$

Con los datos de las características de la presa, resulta una distancia de unos 350.64 km de recorrido.

Para el caso de la severidad sobre la población, el Is (FPREPO) se asignará en función: del valor del factor población expuesta (P_{EX}) en el peor de los escenarios, la ecuación para el cálculo es la siguiente:

$$I_s (\text{FPREPO}) = P_{EX}$$

Utilizando la (Tabla N°21) de valoración del manual de riesgo del IGME resulta 4.75 puntos, si ocurriera un evento de tal magnitud afectaría directamente a la población de Santa Lucía, la cual se encuentra a 10 Km aguas debajo de la presa Lagunillas y dicha población cuenta con más de 8000 habitantes.

Tabla 21: Criterios de valoración del factor de población expuesta (P_{ex}) en núcleos de población y viviendas aisladas ante el fallo del dique de contención del talud de la presa.

Valoración de la vulnerabilidad de los núcleos de población y viviendas aisladas ante el fallo o rotura del dique	
Criterios de valoración	PEX
Núcleos urbanos Población de >10000 habitantes	5
Núcleos urbanos Población entre 5001 y 10000 habitantes	4.75
Núcleos urbanos Población entre 2001 y 5000 habitantes	4.5
Núcleos urbanos Población entre 1001 y 2000 habitantes	4.25
Núcleos urbanos Población entre 501 y 1000 habitantes	4
Núcleos urbanos Población entre 101 y 500 habitantes	3.75
Núcleos urbanos Población entre 50 y 100 habitantes	3.5
Núcleos de población < 50 habitantes o viviendas aisladas	3

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.4. Índice de severidad de los efectos sobre medio natural derivado del fallo o rotura del dique de contención de la presa Is (FPRENA).

En el caso de elementos del medio natural, la severidad de los daños será en función de los valores de conservación de los ecosistemas afectados y de su vulnerabilidad (V_E), su fórmula es la siguiente:

$$I_s (\text{FPRENA}) = V_E$$

Los efectos sobre el medio natural la zona está expuesta en áreas de interés piscícola

(criadero de peces), masas de agua (aprovechado como agua potable), cultivos etc. por tanto asume un valor de 4 (ver Tabla 22).

Tabla 22: Valoración de la vulnerabilidad ecológica de ecosistemas y elementos naturales expuesto en zona de riesgo derivado de fallo del dique o el talud de la presa

Valoración de la vulnerabilidad ecológica de ecosistemas y elementos naturales expuesto en zona de riesgo derivado de fallo del dique o el talud de la presa	
Criterios de valoración	V_E
Áreas sensibles objeto de protección ambiental.	5
Tramos de ríos declaradas y/o valorados como zonas de interés Piscícola, masas de agua superficiales con estado ecológico buenos, arbolado forestal bien conservados.	4
Matorrales, dehesas, cultivos herbáceos (olivar, frutales, viñedo, etc.) masas de agua superficiales con estado ecológico moderado.	3
Prados pastizales; cultivos herbáceos, cursos fluviales, láminas de agua con ecosistemas fluviales degradados y estado ecológico deficiente.	2
Espacios urbanos y ecosistemas muy degradados por acción antrópica	1

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.5. Índice de severidad de los efectos sobre el medio socioeconómico derivado del fallo del dique o el talud de la presa (FPRESE).

Este índice se valora según al servicio esencial más vulnerable expuesto (V_{SE}), que viene a ser una “media del valor” de los elementos expuestos, en función de su valor patrimonial y carácter prioritario desde el punto de vista social y económico, la fórmula para determinar este índice es la siguiente:

$$I_s (\text{FPRESE}) = V_{SE}$$

El resultado que se obtiene de la valoración es 4, porque existe una carretera

principal de suma importancia en el cual hay bastante movimiento ya sea por motivos de trabajo, negocio, alimentos de primera necesidad entre otros y a 10 km se encuentra el distrito de Santa Lucia afectaría las instalaciones infraestructuras (casas, instituciones, centros de salud, municipio, mercados, plazas etc.).

Tabla 23: Valoración de la vulnerabilidad económica del medio socioeconómico expuesto en zona de riesgo derivado del fallo del dique o el talud de la presa.

Valoración de la vulnerabilidad económica del medio socioeconómico expuesto en zona de riesgo derivado del fallo del dique o el talud de la presa	
Criterios de valoración	VSE
Patrimonio cultural protegido.	5
Actividad económica prioritaria en la zona de estudio. Servicios especiales (Hospitales, colegios, institutos, etc) Infraestructura vitales (abastecimiento agua y energía), vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles de interconexión, etc).	4
Otras actividades económicas secundarias, vías de comunicación red secundaria no vitales y servicios no esenciales.	3
Afección a servicios, infraestructura y actividades económicas de escasa importancia.	2
Afección a elementos sin ningún valor cultural, productivo o de escaso a aprovechamiento.	1

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.6. Matriz de valoración del riesgo de la presa Lagunillas

Para la aplicación de la matriz se usó información según el método desarrollado por el IGME, a partir de ello, se pudo deducir según la matriz de valoración de riesgos que, los peores escenarios son la posible rotura por falla de la presa, a partir de las precipitaciones altas, movimientos sísmicos, que afectan al pie del dique y la generación de inundaciones debido al volumen de agua que se tiene acumulados en la presa Lagunillas, en la siguiente (Figura 10) se muestra la valoración en la matriz, desarrollada según el método IGME.

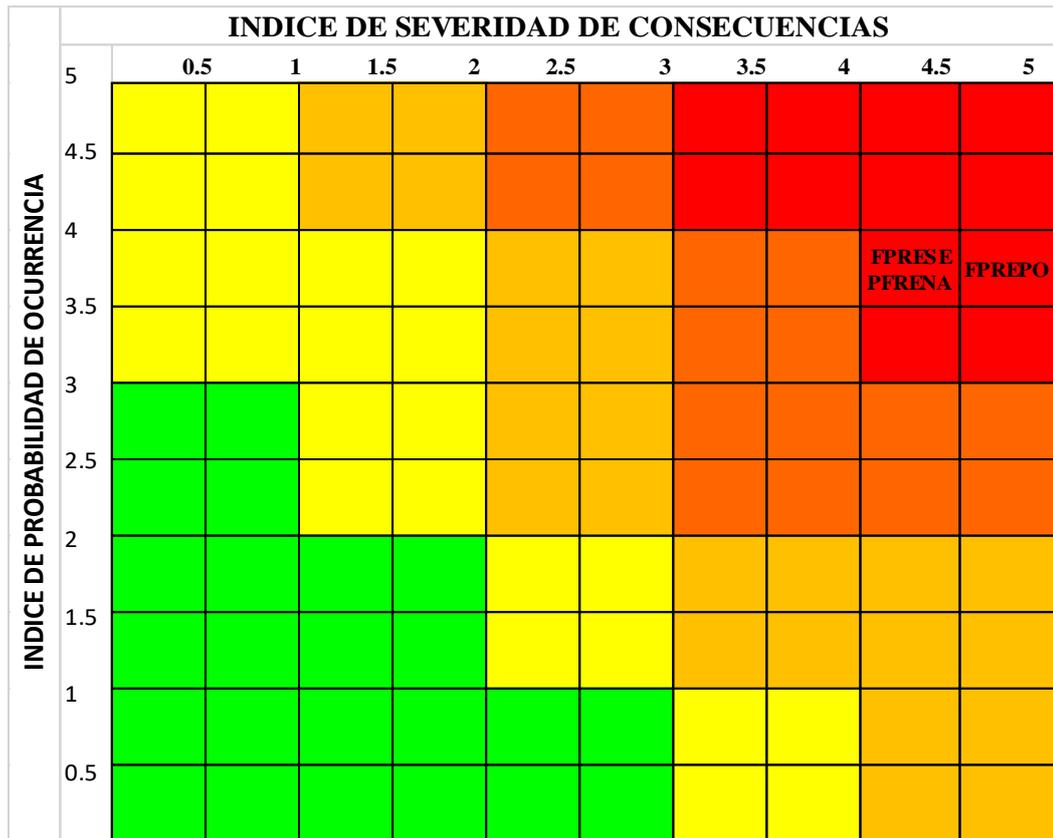


Figura 10: Matriz de riesgo de valoración de la presa Lagunillas.

Fuente: (Elaboración propia).

De acuerdo a la matriz de riesgos propuesta por el IGME (figura 3), se tiene el índice de probabilidad de ocurrencia de falla del dique es de 3.5 a 4 el cual es alto y el índice de severidad de consecuencias esta 4 a 5, por lo que los niveles de riesgos son muy altas, la evaluación se realizó en los diferentes escenarios: efectos sobre la población (FPREPO), efectos sobre el medio natural (FPRENA) y el medio socioeconómico (FPRESE).



VI. CONCLUSIONES

- La presa Lagunillas está emplazado en rocas volcánicas (brecha volcánica), por intemperismo y erosión generan suelos areno arcillosos (SM, SP-SM, GP-GM) lo cual no es favorable en la ubicación que se encuentra la presa Lagunillas.
- Luego de haber aplicado el método del IGME, para el análisis de riesgo, se concluye que se encuentra en niveles muy altos, teniendo valores del índice de probabilidad de falla de la presa es de 3.5 a 4 y el índice de severidad de consecuencias esta 4 a 5 para la ocurrencia de riesgo por falla de la presa Lagunillas.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio geológico, geotécnico detallado mediante sondajes diamantinos en el área de estudio.
- Se recomienda implementar el sistema de gestión de riesgo de acuerdo a la evaluación realizada por método IGME.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURRITT, R. L., & CHRIST, K. L. (2018). Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. *Journal of Cleaner Production*, 178, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.042>.
- CARLOTTO. V, ACOSTA H, MAMANI M, CERPA L, RODRÍGUEZ R, JAIMES F, NAVARRO P, CUEVA E Y CHACALTANA C. (2000) Los Dominios Geotectónicos del Territorio Peruano. INGEMMET Lima
- CLARK, A.H., FARRAR, E., KONTAK, D.J., LANGRIDGE, R.J., ARENAS, M.J., FRANCE, L.J., MCBRIDE, S.L., WOODMAN, P.L., WASTENEYS, H. SANDERMAN, H.A. & DOUGLAS, D.A., 1990 – Geologic and Geochronologic Constraints on the Metallogenic Evolution of the Andes of Southeastern Peru. *Econ. Geology*, 85: 1520-1583, Lancaster.
- DÁVILA BURGA JORGE, edición, 1999 tercer Diccionario Geológico.
- DE JONG K. A. (1974). - Mélange (olistostrome) near Lago Titicaca, Peru. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 58, p. 729-741.
- ENRIQUE VALDIVIA. & RILDO RODRIGUEZ (2001d) Mapa Geológico del Cuadrángulo de Puno, hoja 32- v-VI (versión digital). INGEMMET.
- ELLISON, R, A., KLINCK, B.A. & HAWKINS, M.P., 1989 – Deformation events in the Andean orogenic cycle in the Altiplano and Western Cordillera, Southern Peru. *J. South American Earth Sciences*, 2: 263-276.
- FORNARI M., MAMANI M., IBARRA I. & CARLIER G. (2002). - Datación del periodo volcánico "Tacaza" en el Altiplano de Perú y Bolivia. Resumen, XI Congreso Peruano de Geología, Lima, p. 21.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L., & OTEO, C. (2002). *Ingeniería geológica* (1 ed.). Madrid, España: Pearson Prentice Hall.



- KLINCK B.A., ALLISON R.A., HAWKINS M. P. (1986). - The geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West of Lake Titicaca. Southern Peru. British Geological Survey, Nollingham, e INGEMMET. Lima. 353 p.
- KONTAK D.j., CLARK A.H., FARRAR E. & STRONG D.F. (1985).- The rifl associaled Permo-Triassic magmalism of Ihe Eastern Cordillera: a precursor 10 the Andean orogeny. III: W.S. Pitcher, M.P. Alhenon, J. Cobbing y R.O. Beckinsale (Editores), Maglllalism al a plaie edge: The Pert/viall AI/des. Blackie. Glasgow. y Halsled Press, New York, p. 36-44.
- ICOLD. 1995. Bulletin 99: Dam Failures - Statistical Analysis, Paris.
- IGME. 1986. Manual para el diseño y construcción de escombreras y presas de residuos mineros. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 182 p.
- JAILLARD, E., & SEMPERE, T., 1989 – Cretaceous sequence stratigraphy of Peru and Bolivia. In: contribuciones de los Simposios sobre el Cretacico de America Latina (L.A. Spalleti, ed.): A1-A27, Buenos-Aires.
- JAILLARD E., CAPPETTA H., ELLENBERGER P., FEIST M., GRAMBAST-FESSARD N., LEFRANC j.-P & SIGÉ B. (1993). - Sedimentology. paleontology, biostratigraphy and correlation of the Late Cretaceous Vilquechico Group of Southern Peru. Cretaceous Research. v. 14. p. 623-661.
- MAMANI M. & IBARRA I. (2000). - Magmatismo y tectonica meso-cenozoica del Altiplano y del borde noreste de la Cordillera Occidental de la región de Puno. Tesis de grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 82 p.
- NEWELL, N.D., 1949 – Geology of the Titicaca region, Peru and Bolivia. Geol. Soc. Am Bull., 102:1105-1113.
- PALACIOS O. & ELLISON R. (1986). - El sistema cretácico en la región del Lago Titicaca. 1 Simposio del Proyecto PICG 242. La Paz. p. 32-51.
- PALACIOS O., DE LA CRUZ J., DE LA CRUZ N., KLINCK B.A., ALLISON R.A. &



- HAWKINS M.P. (1993)- Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca. Sur del Perú. 130letín del INGEMMET. serie A, v. 42, 257 p.
- PORTUGAL, J., 1974 – Mesozoic and Cenozoic Stratigraphy and Tectonic events of Puno –Santa Lucia Area, Department of Puno, Peru. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., 58: 982-999.
- SEMPERE T., ACOSTA H. & CARLOTTO V. (2000). - Estratigráfica del Mesozoico y Paleógeno en la región del Lago Titicaca: ¿hacia una solución? X Congreso Peruano de Geología. Lima, p. 52 (abs.) and CD-ROM file GR50A (41 p.)
- SEMPERE T., CARLIER G., SOLER P., FORNARI M., CARLOTTO V., JACAY J., ARISPE O., NÉRAUDEAU D., CARDENAS J., ROSAS S. & JIMÉNEZ N. (2002). - Late Permian - Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia. and its bearing on Andean-age tectonics. Tectonophysics, v. 345, p. 153-181.
- VEZZOLI, G., GARZANTI, E., LIMONTA, M., & RADEFF, G. (2020). Focused erosion at the core of the Greater Caucasus: Sediment generation and dispersal from Mt. Elbrus to the Caspian Sea. EARTH-SCIENCE REVIEWS, 200 [10.1016/j.earscirev.2019.102987].
- VICENTE-SERRANO, S.M., QUIRING, S.M., PEÑA-GALLARDO, M., YUAN, S., DOMÍNGUEZ-CASTRO, F., 2020b. A review of environmental droughts: Increased risk under global warming? Earth-Sci. Rev. 201, 102953. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102953>



ANEXOS



ANEXO A-1

Informe de ensayos de calicata N°01

PROYECTO : PRES A LAGUNILLAS

UBICACIÓN : DIST. S. SANTA LUCIA, PROV. DEL AMP. REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019

RALIZADO POR : F.J. C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019

ING. RESP. LAB : H.Ñ. B.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(Norma MTC E 107 - ASTM D 422)

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA

MUESTRA : Disturbada de Suelos

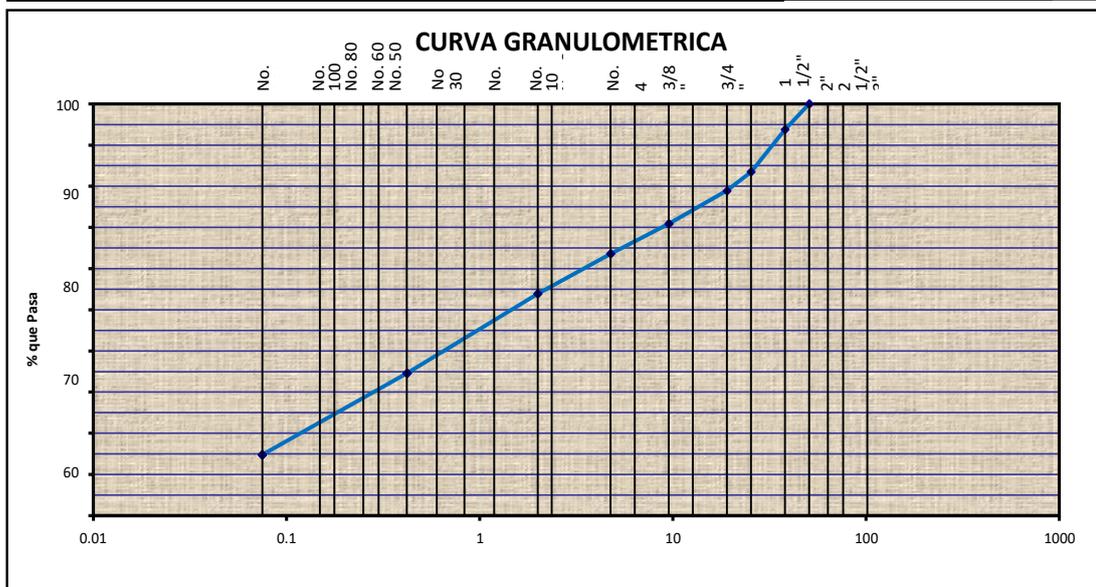
CALICATA N° : C - 1, M - 1, E - 2

CANTIDAD : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 0:100 m.

PRESENTACIÓN : Bolsa de Polietileno

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra	
				Parcial	Acumulado				
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600						Peso Inicial : 3217.00 (gr)	
	3"	76.200						Peso Lavado : 2744.00 (gr)	
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500					Peso Perdido : 473.00 (gr)	
		2"	50.800			100.0			
		1 1/2"	38.100	201.0	6.2	6.2	93.8		Humedad Natural : 7.27 %
		1"	25.400	332.0	10.3	16.5	83.5		LIMITES DE CONSISTENCIA
	FINA	3/4"	19.050	147.0	4.6	21.1	78.9		Limite Liquido : NPLL %
		1/2"	12.700	142.0	4.4	25.5	74.5		Limite Plastico : NP %
		3/8"	9.525	117.0	3.6	29.1	70.9		I.P : NP %
		1/4"	6.350						
		No. 4	4.760	236.0	7.3	36.4	63.6		CLASIFICACION
ARENA	GRUESA	No. 8	2.360					SUCS (ASTM-D-2487) : SM	
		No. 10	2.000	312.0	9.7	46.1	53.9		DESCRIPCION DE MUESTRA
	MEDIA	No. 16	1.190						- Arena limosa con grava
		No. 20	0.834						PROPIEDADES
		No. 30	0.600						Grava > 3" :
		No. 40	0.420	621.0	19.3	65.4	34.6		Grava : 36.40 %
	FINA	No. 50	0.300						Arena : 48.80 %
		No. 60	0.250						Finos : 14.80 %
		No. 80	0.177						Finos : 100.00 %
		No. 100	0.149						
	No. 200	0.075	636.0	19.8	85.2	14.8			
	-200	----	473.0	14.8	100.0				



Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.



J&C LABORATORIOS

JR. MANUEL PINO N° 120

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS



ANEXO A-1

Informe de ensayos de calicata N°01

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. SANTA LUCIA, PROV. DE LAMPAREJÓN PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.N.B.

ENSAYO DE CONSTANTES FISICAS

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos

CALICATA N° : C - 1, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 0100 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110 ASTM D - 4318)

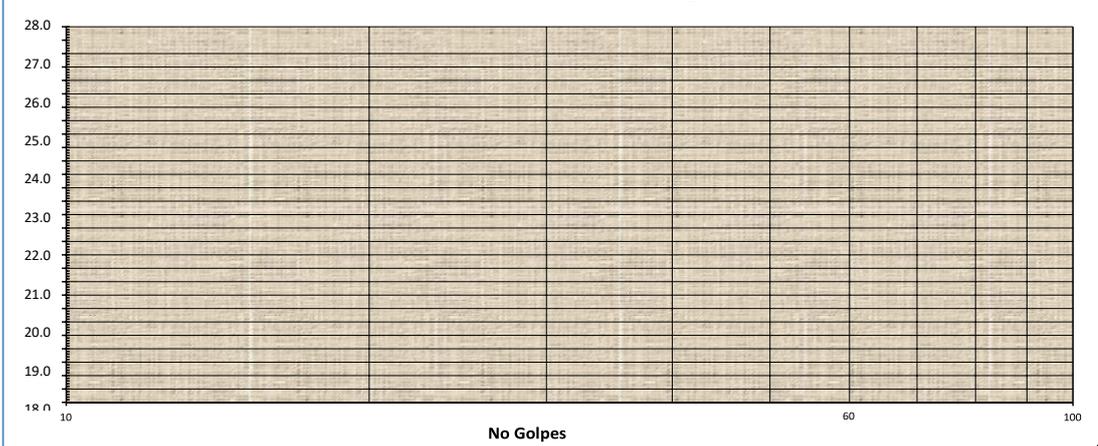
Prueba Nro.					
Tarro Nro.					
Peso de la Capsula (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)			N P L L		
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)					
Peso del agua (g)					
Peso del Suelo Seco (gr)					
Contenido de Humedad (%)					
Numero de Golpes					

LIMITE PLASTICO (MTC E 111 ASTM D - 4318)

Tarro Nro.					PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)					
Peso del Agua (gr)	N	P			
Peso del Suelo Seco (gr)					
Contenido de Humedad (%)					

L.L. : L.P. : NP I.P. : NP

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio





ANEXO A-1

Informe de ensayos de calicata N°01

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIS T. SANTALUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J. C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H. N. B.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL					
ASTM D 2216 - MTC E-108					
Muestra N°	C - 1, M - 1, E - 2				
Profundidad m.	00:10 - 01:00 m.				
Tarro N°	24	9			
Peso del Tarro	gr	23.21	23.65		
Peso del tarro + Suelo Húmedo	gr	238.62	257.32		
Peso del tarro + Suelo Seco	gr	223.9	241.6		
Peso del Agua	gr	14.72	15.72		
Peso del suelo seco	gr	200.69	217.95		
Contenido de Humedad	%	7.33	7.21		
Promedio		7.27			

Observaciones : La Muestra fue identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.

REGISTRO DE PROSPECCIÓN POR HORIZONTES (PERFIL ESTRATIGRAFICO)

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019

REFERENCIAS

PROSPECCION : A cielo abierto - Pala, Barreta y Pico

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA

PROFUNDIDAD TOTAL : 100 m.

CALICATA N° : C - 01

NIVEL FREATICO : No Existe a -



JRC LABORATORIOS RIOS

JR. MANUEL PINO N° 120

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS



ANEXO A-1

Nivel (m)	PROFUNDIDAD (m)	MUESTRAS	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO	PROPIEDADES MECÁNICAS	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
						SUCS	AASHTO	
0.00 0.10	0.10 m.	E - 1		00.00 - 00.10 m. Superficialmente por cobertura vegetal de la zona, gravas limosa con raíces..				Exploración de Calicata a cielo abierto. Obtención de muestras en forma manual e integral (alterado)
0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00	0.90 m.	E - 2 M - 1		00.10 - 01.00 m. Perfil estratigráfico conformado por Arena limosa, mezcla arena - limo de color verdoso oscuro. Presencia de gravas de T.M. 1 1/2" de cantos angulosas en matriz limo arenoso. Suelo compacto.	L. L. : NPLL I. P. : NP Nº 200 : 14.80	SM	A-1-b(0)	
1.10 1.20 1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00								

Observaciones : No se continuo con la excavación debido a la presencia de suelo compacto y rocas.



ANEXO A-2

Informe de ensayos de calicata N°02

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. S. SANTALUCÍA, PROV. DEL AMP. A REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGOTITICACA **RALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

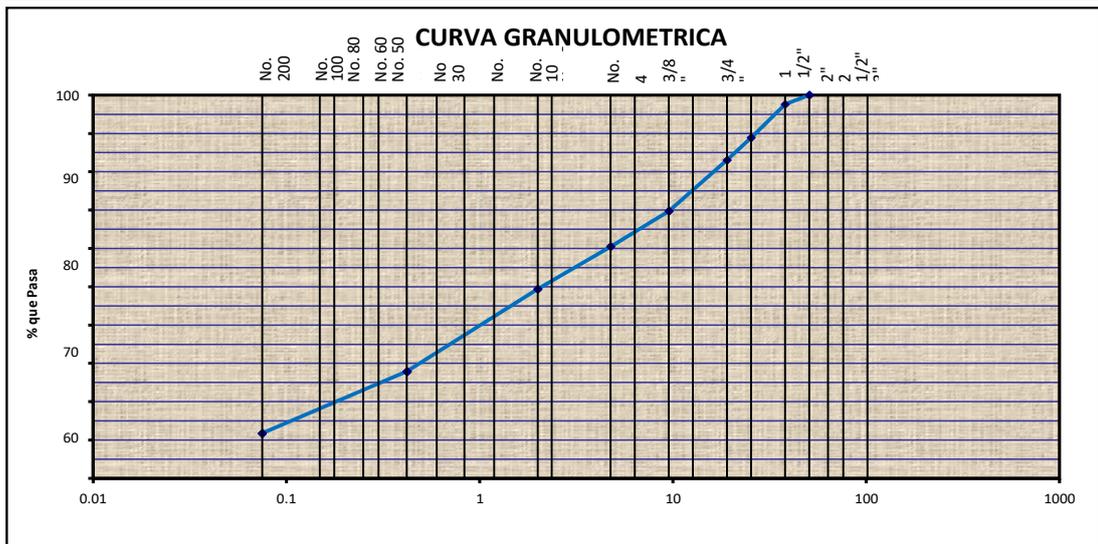
(Norma MTC E 107 - ASTM D 422)

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos

CALICATA N° : C - 2, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 01:00 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra	
				Parcial	Acumulado				
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600						Peso Inicial : 3420.00 (gr)	
	3"	76.200						Peso Lavado : 3015.00 (gr)	
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500					Peso Perdido : 405.00 (gr)	
		2"	50.800			100.0			
		1 1/2"	38.100	83.0	2.4	2.4	97.6		Humedad Natural : 8.21 %
		1"	25.400	296.0	8.7	11.1	88.9		
		3/4"	19.050	202.0	5.9	17.0	83.0		
	FINA	1/2"	12.700	263.0	7.7	24.7	75.3		LIMITES DE CONSISTENCIA
		3/8"	9.525	191.0	5.6	30.3	69.7		Limite Liquido : NPLL %
		1/4"	6.350						Limite Plastico : NP %
		No. 4	4.760	315.0	9.2	39.5	60.5		I.P : NP %
ARENA	GRUESA	No. 8	2.360					AASHTO (ASTM D-3282) : A-1-a(0)	
		No. 10	2.000	379.0	11.1	50.6	49.4	SUCS (ASTM-D-2487) : SP-SM	
	MEDIA	No. 16	1.190						DESCRIPCION DE MUESTRA
		No. 20	0.834						- Arena pobremente graduada con
		No. 30	0.600						limo y grava
		No. 40	0.420	736.0	21.5	72.1	27.9		PROPIEDADES
	FINA	No. 50	0.300						Grava > 3" : 39.50 %
		No. 60	0.250						Grava : 48.70 %
		No. 80	0.177						Arena : 11.80 %
		No. 100	0.149						Finos : 100.00 %
	No. 200	0.075	550.0	16.1	88.2	11.8			
	-200	---	405.0	11.8	100.0				



Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.



JRC LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

JR. MANUEL PINO Nº 120

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS



ANEXO A-2

Informe de ensayos de calicata N°02

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. S. SANTA LUCIA, PROV. DEL AMPARA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

ENSAYO DE CONSTANTES FISICAS

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos

CALICATA N° : C - 2, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 01:00 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110 ASTM D - 4318)

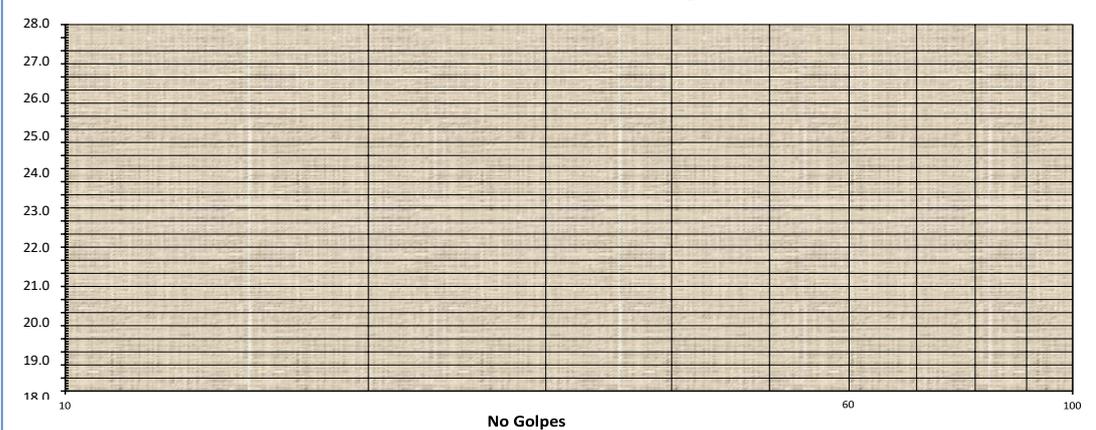
Prueba Nro.					
Tarro Nro.					
Peso de la Capsula (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)			N P L L		
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)					
Peso del agua (g)					
Peso del Suelo Seco (gr)					
Contenido de Humedad (%)					
Numero de Golpes					

LIMITE PLASTICO (MTC E 111 ASTM D - 4318)

Tarro Nro.						PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)						
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)						
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)						
Peso del Agua (gr)		N	P			
Peso del Suelo Seco (gr)						
Contenido de Humedad (%)						

L.L. : **L.P.** : **NP** **I.P.** : **NP**

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio



I&G LABORATORIOS

JR. MANUEL PINO N° 120

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS

ANEXO A-2

Informe de ensayos de calicata N°02

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIS T. SANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL					
ASTM D 2216 - MTC E-108					
Muestra N°	C - 2, M - 1, E - 2				
Profundidad m.	00:10 - 01:00 m.				
Tarro N°	24	9			
Peso del Tarro	gr	24.72	24.8		
Peso del tarro + Suelo Húmedo	gr	283.11	300		
Peso del tarro + Suelo Seco	gr	263.65	278.96		
Peso del Agua	gr	19.46	21.04		
Peso del suelo seco	gr	238.93	254.16		
Contenido de Humedad	%	8.14	8.28		
Promedio		8.21			

Observaciones : La Muestra fue identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.

REGISTRO DE PROSPECCIÓN POR HORIZONTES (PERFIL ESTRATIGRAFICO)

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019

REFERENCIAS

PROSPECCION : A cielo abierto - Pala, Barreta y Pico

PROCEDECIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA

PROFUNDIDAD TOTAL : 100 m.

CALICATA N° : C - 02

NIVEL FREATICO : No Existe a - 100m



JBC LABORATORIOS

JR. MANUEL PINO Nº 120

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS



ANEXO A-2

Nivel (m)	PROFUNDIDAD (m)		MUESTRA S	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO	PROPIEDADES MECÁNICAS	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
							SUCS	AASHTO	
0.00	0.10 m.		E - 1		00.00 - 00.10 m. Superficialmente por cobertura vegetal de la zona, gravas limosa con raíces..				Exploración de Calicata a cielo abierto. Obtención de muestras en forma manual e integral (alterado)
0.10									
0.20	0.90 m.		E - 2 M - 1		00.10 - 01.00 m. Perfil estratigráfico conformado por Arena limosa, mezcla arena - limo, arena gravosa, poco o ningún fino de color verdoso oscuro. Presencia de gravas de T.M. 1 1/2" de cantos angulosas en matriz limo arenoso. Suelo compacto.	L. L. : NPLL I. P. : NP Nº 200 : 11.80	SP-SM	A-1-a(0)	
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									

Observaciones : No se continuo con la excavación debido a la presencia de suelo compacto y rocas.



ANEXO A-3

Informe de ensayos de calicata N°03

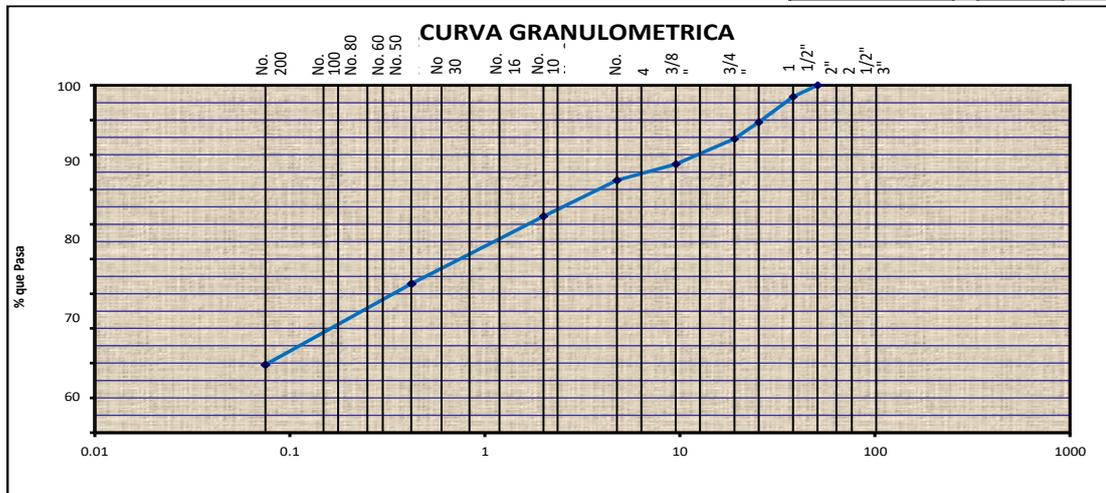
PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. S. ANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO
SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA
FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.
FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.N.B.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(Norma MTC E 107 - ASTM D 422)

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos
CALICATA N° : C - 3, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.
PROFUNDIDAD : 00:10 - 0:140 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra	
				Parcial	Acumulado				
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600						Peso Inicial : 2896.00 (gr)	
	3"	76.200						Peso Lavado : 2327.00 (gr)	
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500					Peso Perdido : 569.00 (gr)	
		2"	50.800			100.0			
		1 1/2"	38.100	96.0	3.3	3.3	96.7		Humedad Natural : 9.63 %
		1"	25.400	211.0	7.3	10.6	89.4		LIMITES DE CONSISTENCIA
		3/4"	19.050	138.0	4.8	15.4	84.6		Limite Liquido : NPLL %
	FINA	1/2"	12.700	114.0	3.9	19.3	80.7		Limite Plastico : NP %
		3/8"	9.525	98.0	3.4	22.7	77.3		I.P : NP %
		1/4"	6.350						
		No. 4	4.760	132.0	4.6	27.3	72.7		CLASIFICACION
ARENA	GRUESA	No. 8	2.360					SUCS (ASTM-D-2487) : SM	
		No. 10	2.000	302.0	10.4	37.7	62.3		DESCRIPCION DE MUESTRA
		No. 16	1.190						- Arena limosa con grava
	MEDIA	No. 20	0.834						PROPIEDADES
		No. 30	0.600						Grava > 3" : %
		No. 40	0.420	562.0	19.4	57.1	42.9		Arena : 53.10 %
		No. 50	0.300						Finos : 19.60 %
	FINA	No. 60	0.250						100.00 %
		No. 80	0.177						
		No. 100	0.149						
	No. 200	0.075	674.0	23.3	80.4	19.6			
	-200	---	569.0	19.6	100.0				



Observaciones : La Muestra fue identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.



J&C LABORATORIOS S.A.S

JR. MANUEL PINO N° 120

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS



ANEXO A-3

Informe de ensayos de calicata N°03

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. SANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

ENSAYO DE CONSTANTES FISICAS

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos

CALICATA N° : C - 3, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 01:00 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110 ASTM D - 4318)

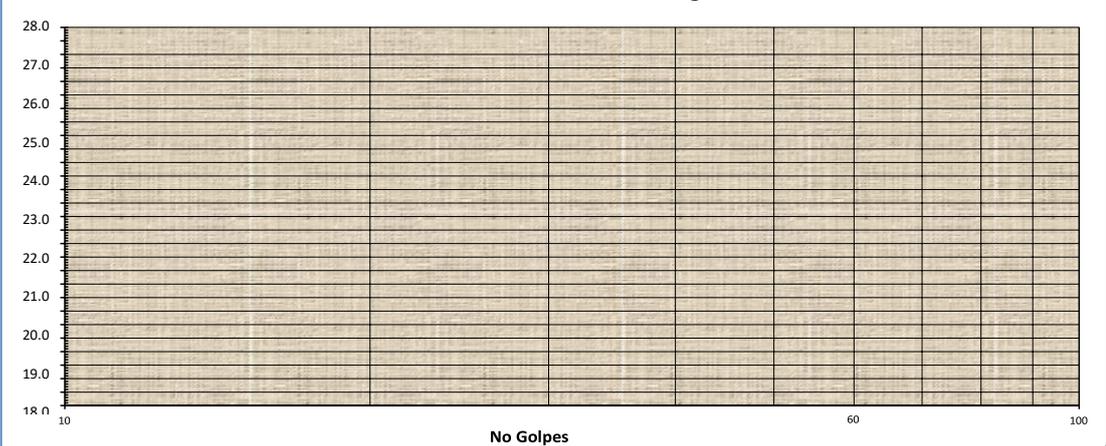
Prueba Nro.					
Tarro Nro.					
Peso de la Capsula (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)			N P L L		
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)					
Peso del agua (g)					
Peso del Suelo Seco (gr)					
Contenido de Humedad (%)					
Numero de Golpes					

LIMITE PLASTICO (MTC E 111 ASTM D - 4318)

Tarro Nro.						PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)						
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)						
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)						
Peso del Agua (gr)	N	P				
Peso del Suelo Seco (gr)						
Contenido de Humedad (%)						

L.L. : **L.P.** : NP **L.P.** : NP

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio



J&C LABORATORIOS

JR. MANUEL PINO Nº 120

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS

ANEXO A-3

Informe de ensayos de calicata N°03

PROYECTO	: PRES A LAGUNILLAS	UBICACIÓN	: DIST. SANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO
SOLICITA	: PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA	RALIZADO POR	: F.J.C.P.
FECHA RECEP.	: 07 DE OCTUBRE DEL 2019	ING. RESP. LAB	: H.Ñ.B.
FECHA ENS	: 09 DE OCTUBRE DEL 2019		

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL					
ASTM D 2216 - MTC E-108					
Muestra N°	C - 3, M - 1, E - 2				
Profundidad m.	00:10 - 01:40 m.				
Tarro N°	3	5			
Peso del Tarro	gr	24.55	24		
Peso del tarro + Suelo Húmedo	gr	279.34	298.32		
Peso del tarro + Suelo Seco	gr	256.96	274.21		
Peso del Agua	gr	22.38	24.11		
Peso del suelo seco	gr	232.41	250.21		
Contenido de Humedad	%	9.63	9.64		
Promedio		9.63			

Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.

REGISTRO DE PROSPECCIÓN POR HORIZONTES (PERFIL ESTRATIGRAFICO)

PROYECTO	: PRES A LAGUNILLAS
SOLICITA	: PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA
FECHA RECEP.	: 07 DE OCTUBRE DEL 2019
FECHA ENS	: 09 DE OCTUBRE DEL 2019

REFERENCIAS

PROSPECCION	: A cielo abierto - Pala, Barreta y Pico
PROCEDENCIA	: SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA
PROFUNDIDAD TOTAL	: 120 m.
CALICATA N°	: C - 03
NIVEL FREATICO	: No Existe a - 120m



I&C LABORATORIOS
JR. MANUEL PINO N° 120

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES SERIALES

SERVICIO DE MECANICA DE SUELOS

CONCRETO, ASFALTO Y PAVIMENTOS



ANEXO A-3

Nivel (m)	PROFUNDIDAD (m)		MUESTRA S	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO	PROPIEDADES MECÁNICAS	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
							SUCS	AASHTO	
0.00	0.10 m.		E - 1		00.00 - 00.10 m. Superficialmente por cobertura vegetal de la zona, gravas limosa con raíces..				
0.10									
0.20	1.10 m.		E - 2 M - 1		00.10 - 01.20 m. Perfil estratigráfico conformado por Arena limosa, mezcla arena - limo de color verdoso oscuro. Presencia de gravas de T.M. 1 1/2" de cantos angulosas en matriz limo arenoso. Suelo Medianamente compacto.	L. L. : NPLL I. P. : NP Nº 200 : 19.60	SM	A-1-b(0)	Exploración de Calicata a cielo abierto. Obtención de muestras en forma manual e integral (alterado)
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									

Observaciones : No se continuo con la excavación debido a la presencia de suelo compacto y rocas.



ANEXO A-4

Informe de ensayos de calicata N°04

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. S. ANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGOTITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(Norma MTC E 107 - ASTM D 422)

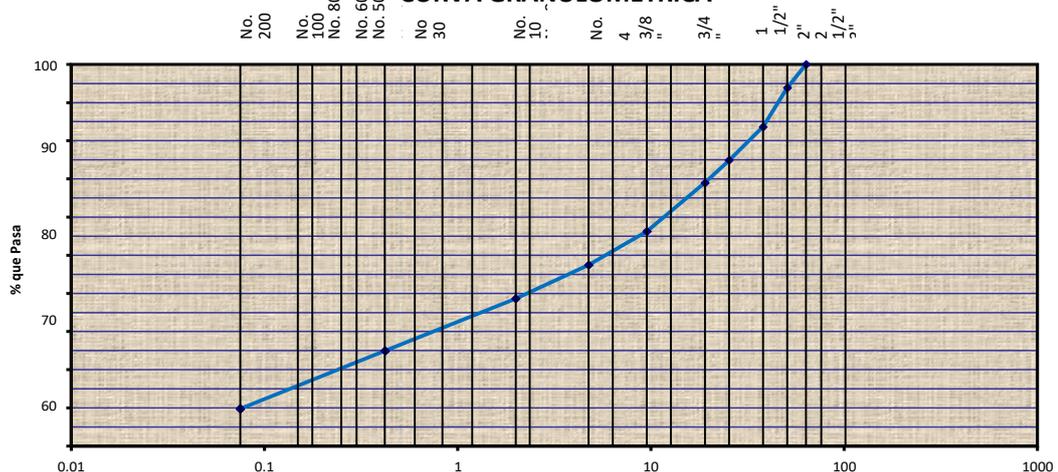
PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos

CALICATA N° : C - 4, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 0.80 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

	Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa	Especificaciones Obra	Descripción de Muestra
				Parcial	Acumulado			
PIEDRA O CANTOS	4"	101.600						Peso Inicial : 3561.00 (gr)
	3"	76.200						Peso Lavado : 3215.00 (gr)
GRAVA	GRUESA	2 1/2"	63.500			100.0		Peso Perdido : 346.00 (gr)
		2"	50.800	218.0	6.1	6.1	93.9	
		1 1/2"	38.100	364.0	10.2	16.3	83.7	
		1"	25.400	312.0	8.8	25.1	74.9	
		3/4"	19.050	211.0	5.9	31.0	69.0	
	FINA	1/2"	12.700	254.0	7.1	38.1	61.9	
		3/8"	9.525	201.0	5.6	43.7	56.3	
		1/4"	6.350					
		No. 4	4.760	312.0	8.8	52.5	47.5	
LIMITES DE CONSISTENCIA								
								Limite Liquido : NPLL %
								Limite Plastico : NP %
								I.P : NP %
CLASIFICACION								
								AASHTO (ASTM D-3282) : A-1-a(0)
								SUCS (ASTM-D-2487) : GP-GM
DESCRIPCION DE MUESTRA								
								- Grava pobremente graduada con limo y arena
PROPIEDADES								
								Grava > 3" : %
								Grava : 52.52 %
								Arena : 37.70 %
								Finos : 9.78 %
								100.00 %

CURVA GRANULOMETRICA





ANEXO A-4

Informe de ensayos de calicata N°04

PROYECTO : PRESA LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. SANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

ENSAYO DE CONSTANTES FISICOS

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA **MUESTRA** : Disturbada de Suelos

CALICATA N° : C - 4, M - 1, E - 2 **CANTIDAD** : 07 Kg.

PROFUNDIDAD : 00:10 - 01:00 m. **PRESENTACIÓN** : Bolsa de Polietileno

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110 ASTM D - 4318)

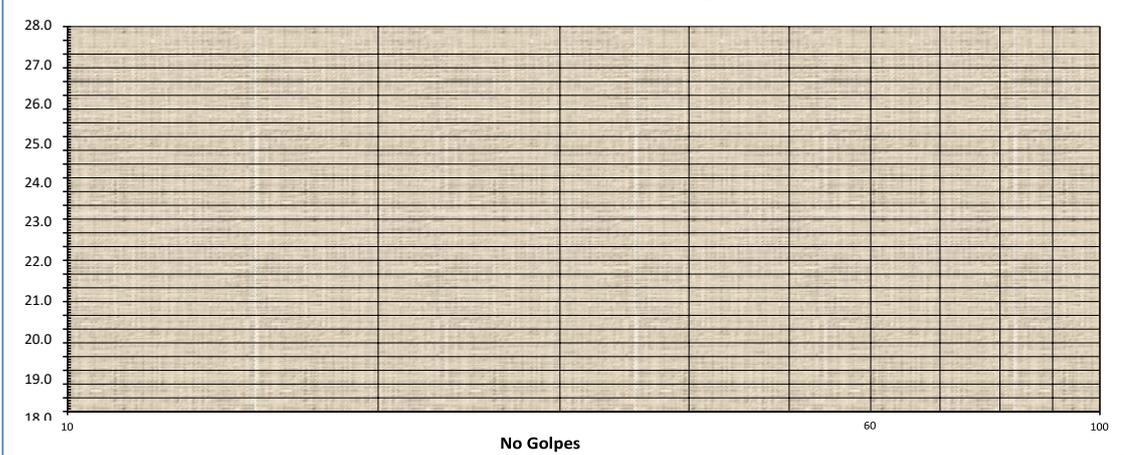
Prueba Nro.					
Tarro Nro.					
Peso de la Capsula (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)			N P L L		
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)					
Peso del agua (g)					
Peso del Suelo Seco (gr)					
Contenido de Humedad (%)					
Numero de Golpes					

LIMITE PLASTICO (MTC E 111 ASTM D - 4318)

Tarro Nro.					PROMEDIO
Peso de la Capsula (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)					
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)					
Peso del Agua (gr)	N	P			
Peso del Suelo Seco (gr)					
Contenido de Humedad (%)					

L.L. : L.P. : NP I.P. : NP

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio



ANEXO A-4

Informe de ensayos de calicata N°04

PROYECTO : PRES A LAGUNILLAS **UBICACIÓN** : DIST. S. SANTA LUCIA, PROV. DELAMPA REGION PUNO

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019 **REALIZADO POR** : F.J.C.P.

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019 **ING. RESP. LAB** : H.Ñ.B.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL					
ASTM D 2216 - MTC E-108					
Muestra N°	C - 4, M - 1, E - 2				
Profundidad m.	00:10 - 00:80 m.				
Tarro N°	32	31			
Peso del Tarro	gr	22.6	24.56		
Peso del tarro + Suelo Húmedo	gr	312.68	306.85		
Peso del tarro + Suelo Seco	gr	296.32	292.41		
Peso del Agua	gr	16.36	14.44		
Peso del suelo seco	gr	273.72	267.85		
Contenido de Humedad	%	5.98	5.39		
Promedio		5.68			

Observaciones : La Muestra fue Identificada, muestreada, etiquetada y puesto en laboratorio por el Personal de Laboratorio.

REGISTRO DE PROSPECCIÓN POR HORIZONTES (PERFIL ESTRATIGRAFICO)

PROYECTO : PRES A LAGUNILLAS

SOLICITA : PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA

FECHA RECEP. : 07 DE OCTUBRE DEL 2019

FECHA ENS : 09 DE OCTUBRE DEL 2019

REFERENCIAS

PROSPECCION : A cielo abierto - Pala, Barreta y Pico

PROCEDENCIA : SUELO DE FUNDACION - ADYACENTE A LA PRESA

PROFUNDIDAD TOTAL : 0.80m.

CALICATA N° : C - 04

NIVEL FREATICO : No Existe a - 0.80m





ANEXO A-4

Nivel (m)	PROFUNDIDAD (m)		MUESTRAS	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO	PROPIEDADES MECÁNICAS	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
							SUCS	AASHTO	
0.00	0.10 m.		<i>E - 1</i>		00.00 - 00.10 m. Superficialmente por cobertura vegetal de la zona, gravas limosa con raíces..				Exploración de Calicata a cielo abierto. Obtención de muestras en forma manual e integral (alterado)
0.10									
0.20	0.70 m.		<i>E - 2</i>		00.10 - 00.80 m. Perfil estratigráfico conformado por mezcla grava - arena - limo de color Amarillo claro, gravas limosas. Gravas de T.M. 2" de cantos angulosas en matriz limo arenoso. Suelo muy compacto.	L. L. : NPLL I. P. : NP Nº 200 : 9.78	GP-GM	A-1-a(0)	
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80			<i>M - 1</i>						
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									

Observaciones: No se continuo con la excavación debido a la presencia de suelo compacto y rocas.

ANEXO B-1



Foto 01. - Vista Exterior y Excavación de la Calicata N° 01 - Adyacente a la presa.



Foto 02. - vista Interior de calicata N° 01, al fondo se aprecia las paredes firmes y estables.

ANEXO B-2



Foto 03. - Vista Exterior y Excavación de la Calicata N° 02 - Adyacente a la presa.



Foto 04.- Vista Interior de calicata N° 02, al fondo se aprecia las paredes firmes y

Estables

ANEXO B-3



Foto 05.- Vista Exterior y Excavación de la Calicata N° 03 - Adyacente a la presa.



Foto 06.- Vista Interior de calicata N° 03, al fondo se aprecia las paredes firmes y

ANEXO B-4



Foto 07. - Vista Exterior y Excavación de la Calicata N° 04 - Adyacente a la presa.



Foto 08.- Vista Interior de calicata N° 04, al fondo se aprecia las paredes firmes y estables.