



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**MODELAMIENTO DE ACUMULACION DE SEDIMENTOS A LOS  
5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA – PUCARA –  
LAMPA - PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA**

**Bach. DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRICOLA**

**PUNO – PERU**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**MODELAMIENTO DE ACUMULACION DE  
SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS  
EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA  
- LAMPA - PUNO**

AUTOR

**FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA  
DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA**

RECuento DE PALABRAS

**25161 Words**

RECuento DE CARACTERES

**116606 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**147 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 7, 2023 6:44 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 7, 2023 6:46 PM GMT-5**

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 13% Base de datos de Internet
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Mg. Roberta Alfaro Alejo  
INGENIERO AGRICOLA  
Reg. CIP N° 63562

  
  
Ph. D. Isidro Alberto Hualpa  
DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Resumen



## DEDICATORIA

*A nuestro creador por darme el obsequio más  
preciado, la vida en la cual podre desenvolverme  
personal y profesionalmente.*

*A mis padres Leonidas y Lidia, que me dieron la vida,  
educación, apoyo y consejos, para convertirme en una  
persona de bien, inculcándome valores de bien para el  
aporte de nuestra sociedad.*

*A mis hermanas, que directa e indirectamente me  
apoyaron en lograr mis objetivos profesionales.*

*A mi familia, que va creciendo y son mi mayor  
inspiración y motivación para lograr todo aquello que  
me proponga.*

**Didier Mamani**



## DEDICATORIA

*A mis padres Guillermo y María, que me trajeron a este mundo maravilloso lleno de retos y anhelos, habiéndome forjado la calidad de persona que hoy en día soy, este logro se lo debo a ustedes.*

*A mi hermano Agustín, que de donde este estará orgulloso de mi, indudablemente sabe bien que me dio sus sabios consejos, para convertirme en una persona del bien.*

*A mis hermanos(as), que directa e indirectamente me apoyaron en lograr mis objetivos.*

*A mi tíos, padrinos y familiares, por estar ahí siempre presentes en cuando más lo necesitaba su apoyo incondicional y sus sabios consejos para formarme un profesional del bien.*

**Flavia Valeriano**



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, queremos agradecer a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, en específico a la Facultad de Ingeniería Agrícola por brindarnos la oportunidad de estudiar en sus aulas preparándonos para nuestro futuro desenvolvimiento profesional.*

*También agradecer a nuestro asesor Dr. Roberto Alfaro Alejo, quien con su amplia experiencia nos brindó el apoyo oportuno para la culminación de la presente investigación.*

*De igual manera agradecer al Dr. Bernardo Pio Coloma Paxi, quien con sus conocimientos, apoyo y consejos nos guio en las diferentes etapas de nuestra investigación, a quien consideramos un buen profesional y un gran amigo.*

*Así mismo, agradecer a nuestros jurados por la revisión, aporte y recomendación en el desarrollo de nuestro tema de investigación.*

*Finalmente, queremos agradecer a todos nuestros familiares, amigos y conocidos por las palabras de aliento levantándonos el ánimo en los momentos más difíciles. Muy en especial, a nuestros padres, por estar presentes con sus palabras de apoyo y afecto renovando continuamente nuestras energías.*

**Flavia Valeriano.**

**Didier Mamani**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
1.1.1. Planteamiento del problema .....	17
1.1.2. Formulación del problema .....	19
<b>1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
1.2.1. Hipótesis general .....	19
1.2.2. Hipótesis específicas .....	19
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>20</b>
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
1.4.1. Objetivo general .....	21
1.4.2. Objetivos específicos .....	21
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>22</b>



2.1.1.	Nivel internacional .....	22
2.1.2.	Nivel nacional .....	24
2.1.3.	Nivel local .....	26
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>27</b>
2.2.1.	Cuenca hidrográfica .....	27
2.2.1.1.	Características Morfométricas de una cuenca. ....	27
2.2.2.	La presa .....	30
2.2.2.1.	Clasificación de presas .....	30
2.2.3.	Embalse .....	31
2.2.3.1.	Clasificación de los embalses .....	32
2.2.4.	Erosión .....	32
2.2.4.1.	Erosión hídrica.....	33
2.2.4.2.	Suministro de sedimentos en una cuenca .....	34
2.2.5.	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).....	35
2.2.5.1.	Factor agresividad de la lluvia (R). ....	36
2.2.5.2.	Factor erodabilidad del suelo (K). ....	36
2.2.5.3.	Factor de longitud y grado de pendiente (LS). ....	37
2.2.5.4.	Factor de cobertura vegetal (C). ....	37
2.2.5.5.	Factor de prácticas de conservación (P) .....	38
2.2.6.	Determinación de cantidad de erosión .....	39
2.2.6.1.	Coeficiente de entrega de sedimento .....	40
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
<b>3.1.</b>	<b>CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>43</b>
3.1.1.	Ubicación del área de estudio .....	43



3.1.2.	Topografía .....	44
3.1.3.	Caracterización de la cuenca .....	44
3.1.4.	Clima e hidrología.....	46
3.1.5.	Características geológicas .....	46
3.1.6.	Geomorfología de la cuenca.....	48
3.1.6.1.	Valle .....	50
3.1.6.2.	Ríos.....	50
3.1.6.3.	Cerros .....	51
3.1.6.4.	Aluviales de terraza .....	51
3.1.6.5.	Aluviales de cauce .....	51
3.1.7.	Uso de suelo .....	51
<b>3.2.</b>	<b>MÉTODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>53</b>
3.2.1.	Enfoque de investigación .....	53
3.2.2.	Nivel de investigación.....	53
3.2.3.	Diseño de la investigación .....	54
<b>3.3.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>54</b>
3.3.1.	Población.....	54
3.3.2.	Muestra.....	54
<b>3.4.</b>	<b>PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>55</b>
3.4.1.	Recopilación de la información .....	55
3.4.1.1.	Material cartográfico .....	55
3.4.1.2.	Datos climatológicos .....	55
3.4.1.3.	Análisis de suelos .....	55
3.4.2.	Determinación de la tasa de erosión hídrica mediante la aplicación del modelo USLE.....	57



3.4.2.1. Modelo Ecuación Universal de Pérdida de Suelo – USLE .....	57
3.4.3. Determinación del coeficiente de entrega de sedimentos que ingresan al embalse.....	63
3.4.3.1. Ajuste de altura superficie .....	63
3.4.3.2. Ajuste Altura volumen .....	64
3.4.3.3. Tasa y peso erosionado de la presa.....	64
3.4.3.4. Coeficiente de entrega de sedimento .....	65
3.4.4. Determinación del volumen de sedimentos que se generaran en los próximos 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapancota. ....	66
3.4.4.1. Factor de retención de sedimentos (Rs).....	66
3.4.4.2. Grado de compactación de sedimentos .....	66
3.4.4.3. Volumen muerto .....	67

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSION HIDRICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO USLE .....</b>	<b>68</b>
4.1.1. Factor de agresividad de la lluvia R.....	68
4.1.2. Factor de erodabilidad del suelo K.....	72
4.1.3. Factor longitud pendiente e inclinación de pendiente L .....	75
4.1.4. Factor de manejo de cobertura C .....	78
4.1.5. Cálculo de pérdida de suelo por erosión hídrica .....	79
4.1.6. Clasificación de la erosión hídrica .....	80
4.1.7. Tasa de erosión hídrica anual.....	81
<b>4.2. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS QUE INGRESAN AL EMBALSE .....</b>	<b>81</b>



4.2.1. Ajuste de altura superficie.....	84
4.2.2. Ajuste altura volumen .....	86
4.2.3. Tasa y peso erosionado de la presa .....	88
4.2.4. Coeficiente de entrega de sedimento.....	91
4.2.4.1. Coeficiente de Bifurcación .....	92
4.2.4.2. Coeficiente de entrega de sedimentos .....	92
<b>4.3. DETERMINACION DEL VOLUMEN DE SEDIMENTOS QUE SE GENERARAN EN LOS PROXIMOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA .....</b>	<b>93</b>
4.3.1. Factor de retención de sedimentos (RS).....	93
4.3.2. Grado de compactación de sedimentos .....	93
4.3.3. Volumen muerto.....	94
4.3.4. Determinación del volumen de sedimentación para los próximos 5, 10, 20, 50 años. ....	95
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
<b>PANEL FOTOGRAFICO.....</b>	<b>119</b>
<b>CERTIFICADO DE ESTUDIO DE SUELOS .....</b>	<b>123</b>

**Área** : Ingeniería de recursos hídricos

**Tema** : Erosión del Suelo

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de diciembre de 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Valores de factor LS ..... 37
Tabla 2	Valores de factor P..... 39
Tabla 3	Coefficientes generalizados de entrega de sedimentos ..... 42
Tabla 4	Parámetros geomorfológicos de la cuenca..... 45
Tabla 5	Uso actual de tierras en la cuenca del río Sapancota. .... 53
Tabla 6	Análisis de suelos..... 56
Tabla 7	Clasificación de erosión potencial hídrica ..... 63
Tabla 8	Precipitación media mensual (mm) ..... 69
Tabla 9	Cuadrado de precipitación media mensual ..... 70
Tabla 10	Valores de índice de Fournier total ..... 70
Tabla 11	Valores de Reajustado..... 71
Tabla 12	Datos obtenidos del factor K..... 73
Tabla 13	Clasificación del nivel de erosión cuenca Sapancota ..... 80
Tabla 14	Almacenamiento Embalse Sapancota. .... 82
Tabla 15	Ajuste altura y superficie de la presa ..... 85
Tabla 16	Ajuste altura y volumen de la presa ..... 87
Tabla 17	Peso erosionado de la cuenca Sapancota ..... 89
Tabla 18	Tasa de erosión total de 50 años de vida útil de la presa ..... 91
Tabla 19	Coefficiente de efectos de reglas de operación ..... 91
Tabla 20	Coefficiente de Bifurcación ..... 92
Tabla 21	Coefficiente de compactación de sedimentos ..... 93
Tabla 22	Altura y el volumen acumulado de la presa..... 94
Tabla 23	Volumen de sedimentación según la vida útil del embalse Sapancota ..... 95



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1	Esquema del coeficiente de entrega de sedimentos ..... 41
Figura 2	Mapa de ubicación de la Presa Sapancota ..... 43
Figura 3	Distribución puntos para levantamiento fotogramétrico..... 44
Figura 4	Curva hipsométrica de la cuenca ..... 45
Figura 5	Geología de la cuenca Sapancota..... 47
Figura 6	Geomorfología de la cuenca Sapancota ..... 49
Figura 7	Red de drenaje de la cuenca del río Sapancota ..... 50
Figura 8	Uso actual de tierras..... 52
Figura 9	Factor R, agresividad de lluvia ..... 72
Figura 10	Mapa de factor de erodabilidad K del suelo ..... 74
Figura 11	Mapa del factor de longitud de pendiente (L)..... 76
Figura 12	Factor de inclinación de pendiente (S)..... 77
Figura 13	Factor de manejo de cobertura C. .... 78
Figura 14	Pérdida de suelo por erosión hídrica ..... 79
Figura 15	Altura y superficie de la presa ..... 83
Figura 16	Altura y volumen de la presa ..... 84
Figura 17	Ajuste altura y área de la presa ..... 86
Figura 18	Ajuste altura y volumen de la presa..... 88



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>ALOS PALSAR</b>	: Advanced Land Observing Satellite
<b>DEM</b>	: Modelo de elevación digital
<b>FAO</b>	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>IGN</b>	: Instituto Geográfico Nacional
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
<b>K</b>	: Factor de erodabilidad del suelo
<b>MINAM</b>	: Ministerio del Ambiente del Perú
<b>NDVI</b>	: Índice de vegetación estandarizada
<b>P</b>	: Factor de prácticas de conservación de suelos
<b>R</b>	: Factor de Erosividad de lluvia
<b>SAVI</b>	: Índice de vegetación ajustada al suelo
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>SIG</b>	: Sistema de Información Geográfica.
<b>USLE</b>	: Ecuación Universal de Pérdida de Suelo
<b>SDR</b>	: Relación de entrega de sedimento
<b>WGS 84</b>	: World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial).



## RESUMEN

La presente investigación fue realizada dentro de la cuenca del río Sapancota teniendo como punto de control el eje de presa proyectado, en el distrito de Pucará, Perú, siendo la sedimentación del embalse un problema que se genera a lo largo del tiempo, generalmente ocurre en la zona alta de la cuenca y se sedimentan dentro del embalse, por lo que, es imprescindible cuantificar de la pérdida de suelos. Cuyo objetivo general planteado fue determinar el volumen de sedimentos que se acumulará en los próximos 5, 10, 20 y 50 años dentro del embalse Sapancota aplicando el modelo USLE para lo cual se deberá determinar la tasa de erosión hídrica aplicando el modelo USLE dentro de la cuenca de estudio, determinar el coeficiente de entrega de sedimentos que ingresan al embalse Sapancota y determinar el volumen de sedimentos que se generarán en los próximos 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapancota. La metodología empleada consiste en la aplicación del modelo USLE, que considera la agresividad de lluvia, erodabilidad de suelos, longitud de ladera, el grado de pendiente y factor de cobertura vegetal del suelo, determinando además el coeficiente de entrega de sedimento para finalmente calcular el volumen de sedimentación en los próximos 5, 10, 20 y 50 años. Los resultados obtenidos fueron la tasa de erosión de  $1.005 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  calculada mediante la aplicación del modelo USLE, el coeficiente de entrega de sedimentos que ingresa a embalse que es 16.64% y los volúmenes de sedimentos que se generaran en los próximos 5 años es 5,570.58 m<sup>3</sup>, para 10 años es 11,141.15 m<sup>3</sup>, para 20 años es 22,282.30 m<sup>3</sup> y para 50 años es 55705.76 m<sup>3</sup>, indicando una tendencia lineal de sedimentación en el tiempo.

**Palabras clave:** Tasa de erosión, sedimentación, cobertura vegetal, embalse, coeficiente de entrega de sedimento.



## ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Sapancota River basin with the projected dam axis as a control point, in the district of Pucará, Peru, with the sedimentation of the reservoir being a problem that is generated over time, generally occurring in the upper area of the basin and sediment within the reservoir, therefore, it is essential to quantify the loss of soil. Whose general objective was to determine the volume of sediments that will accumulate in the next 5, 10, 20 and 50 years within the Sapancota reservoir by applying the USLE model, for which the water erosion rate must be determined by applying the USLE model within the study basin, determine the delivery coefficient of sediments entering the Sapancota reservoir and determine the volume of sediments that will be generated in the next 5, 10, 20 and 50 years in the Sapancota reservoir. The methodology used consists of the application of the USLE model, which considers the aggressiveness of rainfall, soil erodibility, slope length, the degree of slope and the soil vegetation cover factor, also determining the sediment delivery coefficient to finally calculate the sedimentation volume in the next 5, 10, 20 and 50 years. The results obtained were the erosion rate of  $1,005 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$  calculated by applying the USLE model, the sediment delivery coefficient that enters the reservoir, which is 16.64%, and the volumes of sediments that will be generated in the next 5 years is  $5,570.58 \text{ m}^3$ , for 10 years it is  $11,141.15 \text{ m}^3$ , for 20 years it is  $22,282.30 \text{ m}^3$  and for 50 years it is  $55705.76 \text{ m}^3$ , indicating a linear trend of sedimentation over time.

**Keywords:** Erosion rate, sedimentation, vegetation cover, reservoir, sediment delivery coefficient.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Desde la primera civilización, la gente ha notado la necesidad de construir infraestructura para protegerse de las inundaciones, mitigar las sequías y utilizar el agua en diversas actividades, incluso en zonas alejadas de los cuerpos de agua. Sin lugar a dudas, las presas han demostrado ser las obras hidráulicas que mejor permiten aumentar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones (Arreguin, 2021).

El agua es un recurso importante del que depende la vida en la Tierra, es vital para el bienestar de nuestra civilización, un elemento indispensable del crecimiento, el desarrollo y una condición fundamental para la buena salud del medio ambiente. La demanda de agua debido al crecimiento de la población mundial y al crecimiento económico ha aumentado la necesidad de construir represas capaces de almacenar grandes cantidades de agua. Hoy en día, las represas y embalses continúan sirviendo a estos mismos objetivos, satisfaciendo las necesidades sociales y económicas del mundo. Además, son compatibles con el entorno natural de cada región. Las ventajas que se pueden obtener de las presas en lo que concierne el abastecimiento de agua, el regadío, el control de avenidas, la energía hidroeléctrica y también la navegación fluvial (Berga, 2018).

Así mismo, los bajos ingresos económicos de los países de desarrollo y de regiones aisladas del desarrollo económico crea la necesidad de la construcción de infraestructura hidráulica mayor para mejorar las preocupaciones de la seguridad hídrica y el cambio climático (Theron et al., 2021).

Siendo el altiplano peruano una zona semiárida, con época lluviosa de enero a marzo y el resto sin lluvias o lluvias escasas, lo que provoca una escasez de agua, sobre



todo cuando se trata de una región con bajos niveles de productividad y se requiere incrementar los beneficios. Los que ha conllevado a la construcción de infraestructura hidráulica mayor como presas que deben ser adecuadamente diseñadas, tal es el caso del embalse Sapancota que es un sistema hidráulico con énfasis para el uso agrícola.

Por lo cual, es indispensable la evaluación de los sedimentos generados, que podrían disminuir la capacidad de almacenamiento de agua en un embalse. Por ello, la finalidad de la presente investigación es determinar el volumen de sedimentos acumulados a los 5, 10, 20 y 50 años dentro del embalse Sapancota aplicando el modelo USLE.

En ese sentido se crea la estructura necesaria para el desarrollo correcto de la presente investigación, en el capítulo 1 se presenta la introducción de la investigación incluyendo el planteamiento, formulación del problema, hipótesis y objetivos. En el capítulo 2 se presenta la revisión de literatura incluyendo los antecedentes y el marco teórico. El capítulo 3 y 4 presenta la metodología, diseño del estudio, la población y la muestra, el procedimiento metodológico, la presentación y respectiva discusión de resultados. Finalmente, las conclusiones, las recomendaciones y los anexos.

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Las represas de control son las estructuras más extendidas para retener agua y controlar la erosión en las partes semiáridas de la meseta. Sin embargo, en el proceso de planificación y construcción de represas de contención, las dificultades para identificar el peso de los factores influyentes y tomar decisiones son problemas comunes que restringen seriamente el rápido desarrollo socioeconómico (Gao et al., 2022).



Por otro lado, la disminución de la cubierta vegetal, que, combinada con períodos posteriores de intensas lluvias, provoca un aumento de la erosión y las inundaciones (Starks et al., 2023).

Siendo la erosión del suelo transmitida por el agua es el principal factor de degradación de la tierra y representa el 56 % de la degradación total de la tierra en el mundo (Halder, 2023). Además, las altas tasas de erosión pueden provocar la disminución severa de el volumen útil de un embalse (De Araujo et al., 2006).

Así mismo, es posible estimar la erosión neta y la tasa de entrega de sedimentos utilizando un ancho rectangular equivalente y un índice de humedad topográfico respectivamente, sin embargo, todavía no existen metodologías precisas (Sedighi et al., 2021)

Además, el embalse Sapancota es un proyecto que se encuentra en proceso de formulación que tiene por objetivo abastecer de agua para el riego en las localidades del Distrito de Pucara que se dedican a la actividad agropecuaria y ganadera, la cual podría estar sujeta a la disminución del volumen útil de su embalse debido a la erosión que se presenta en la zona.

El embalse Sapancota carece de estudios específicos en cuanto a la sedimentación, siendo necesario cuantificar la cantidad de sedimentos para diferentes periodos de vida útil a fin de proponer soluciones en una posible disminución del volumen útil embalsado.



### 1.1.2. Formulación del problema

- **Problema general**

¿Qué cantidad de sedimentos se acumulará en el embalse Sapancota en los próximos 5, 10, 20 y 50 años?

- **Problemas específicos**

¿Cuál será la tasa de erosión hídrica anual estimado por el modelo USLE dentro de la cuenca en estudio?

¿Cuál será el coeficiente de entrega de sedimentos que ingresan al embalse Sapancota?

¿Qué cantidad de sedimentos se generarán en los próximos 5, 10,20 y 50 años en el embalse Sapancota?

## 1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. Hipótesis general

Según las características de relieve, erodabilidad del suelo, erosividad de la lluvia y el factor de cultivo de la zona, se acumulará en los próximos 5, 10, 20 y 50 años, un aproximado de 9643, 13886, 27772, 69430 m<sup>3</sup> respectivamente, dentro del embalse Sapancota.

### 1.2.2. Hipótesis específicas

- La tasa de erosión hídrica anual estimado por el modelo USLE dentro de la cuenca de estudio será 1.00 ton/ha/año
- El coeficiente de entrega de sedimentos que ingresan al embalse Sapancota será 20.00%.



- La cantidad de sedimentos que se acumularán en los próximos 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapancota, será de 9643, 13886, 27772, 69430 m<sup>3</sup> respectivamente.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la región de Puno, la erosión hídrica del suelo es alta por las fuertes precipitaciones, es así que el acarreo de materiales por ríos y canales tiene implicaciones en condiciones tanto naturales como intervención antrópica. Embalses artificiales ven reducida su vida útil por la acumulación de sedimentos (Aguirre-Pe, 1980).

La sedimentación en el embalse de la presa es un proceso complejo que varía con la producción de sedimentos de la cuenca, la velocidad de transporte y el modo de deposición. La sedimentación reduce la capacidad de almacenamiento de la presa para la regulación del flujo y con ella todos los beneficios de control de inundaciones y suministro de agua, además de los beneficios de energía hidroeléctrica, navegación, recreación y ambientales que dependen de la liberación del almacenamiento. Además de la pérdida de almacenamiento, también pueden ocurrir muchos tipos de problemas relacionados con los sedimentos tanto aguas arriba como aguas abajo de las presas. La combinación de retención de sedimentos y regulación del flujo también tiene impactos dramáticos en la ecología, la transparencia del agua, el balance de sedimentos, los presupuestos de nutrientes y la morfología de los ríos.

La sedimentación en un embalse llega a reducir rápidamente los beneficios del proyecto de una presa, lo cual, trae pérdidas innecesarias para el estado. La gravedad del asunto se puede ver a nivel mundial, donde las presas interceptan 4-5 G-toneladas de sedimentos por año; esto es entre el 25% y 30% de la carga global de sedimento fluvial (Doyle & Havlick, 2009). Incluso, se estima que la tasa de sedimentación en los embalses varía entre el 1%-2%; donde los países en desarrollo presentan una tasa más alta



(Boroujeni; World Commission on Dams, 2000). Basado en estos argumentos se debe contemplar el manejo adecuado de sedimentos en un embalse a futuro, tal es el caso del embalse Sapancota y por ende es necesario el modelamiento de la acumulación de sedimentos en el embalse.

La presa en estudio, posee un embalse de aproximadamente 6,943.00 ha de extensión y será una de las presas más importantes de la región Puno, la misma que incorporará 1200 hectáreas de riego, así podrá incrementar la producción agropecuaria en el ámbito de riego en el distrito de Pucara.

Con este estudio de cuantificación de la cantidad de sedimentos que son depositados en el embalse obtendremos los niveles máximos de sedimentación, para así tener un volumen max de la cantidad de sedimentos, y prever posteriores efectos de la sedimentación.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el volumen de sedimentos que se acumulará en los próximos 5, 10, 20 y 50 años dentro del embalse Sapancota aplicando el modelo USLE

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la tasa de erosión hídrica aplicando el modelo USLE dentro de la cuenca en estudio.
- Determinar el coeficiente de entrega de sedimentos que ingresa al embalse Sapancota.
- Determinar el volumen de sedimentos que se generarán en los próximos 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapancota.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Nivel internacional

Ortiz, E. (2015) en su tesis “Definición de las reglas de operación hidráulica del embalse la Esperanza” en su definición demuestra que los embalses de Ecuador tienen varios años de existencia, pero carecen de un sistema de alerta temprana para detectar fuertes lluvias en la cuenca y evitar la operación inadecuada de los proyectos de control, recomendando la incorporación dichos sistemas para evitar riesgos que conlleven a la inoperatividad de estos proyectos.

Haregeweyn et al., (2006) en el norte de Etiopía, estudió varios embalses, también indica que el rendimiento de sedimentos específicos (SSY) varía significativamente entre cuencas de captación: es decir, de 237 a 1817 t km<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> con un promedio de 909 (± 500) t km<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>. La alta variabilidad espacial se asocia principalmente con diferencias en litología, cobertura, extensión de la red de barrancos y actividades humanas. Por lo tanto, no se recomienda adaptar un valor SSY promedio para toda la región para propósitos de planificación futura. El problema de la deposición de sedimentos es significativo: es decir, el por ciento de los embalses del estudio tienen 83 importantes problemas de sedimentación, por lo que terminarán su vida útil mucho antes del período de diseño de la presa. Por lo tanto, la gestión de sedimentos en los embalses podría ser un enfoque eficaz para mantener la capacidad de almacenamiento existente.

Así mismo, Moges et al., (2018) utilizaron las tasas de acumulación de sedimentos promedio a largo plazo calculadas para estimar la vida útil restante.



Los resultados de los sonares de profundidad y los análisis GIS sugieren una vida útil proyectada de 7 años para el embalse Shina, en comparación con una vida útil proyectada de 22 años para el embalse Selamko. También indicó que la tasa de sedimentación promedio anual para ambos embalses era mayor que el promedio mundial del uno por ciento (1,67% para el embalse de Shina; 2,295% para el embalse de Selamko). El rendimiento de sedimentos específicos (SSY) es relativamente mayor para ambas cuencas (2.499,93 y 4.333,6 t km<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> para Shina y Selamko, respectivamente) indicando que las cuencas hidrográficas están degradadas por cualquier estándar global. La magnitud de la erosión generada por el modelo de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE) fue solo ligeramente mayor en las cuencas hidrográficas de ambos embalses, en comparación con las estimaciones batimétricas.

Por otro lado, Millares & Moñino, (2018) analizaron los depósitos de fondo y deltaicos de un embalse (110 hm<sup>3</sup>) en el sur de España, midiendo y comparando con la erosión de la cuenca y el seguimiento del transporte fluvial durante un período de 12 años. El volumen de sedimento almacenado muestra una coincidencia relativa con las predicciones paramétricas basadas en los modelos de ladera de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada / Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Modificada y las curvas de calificación, estimadas entre 7 y 13 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. De manera similar, el volumen medido del depósito deltaico se ajusta al valor promedio de las simulaciones estocásticas de diferentes ecuaciones de transporte de carga de lecho. Estos aportes representan el 50-65% del volumen total medido con respecto a las entradas de sedimentos en suspensión, muy por encima de lo descrito en trabajos anteriores



Además, Kasuki (2023) determinó las influencias hidrológicas y las prácticas de uso de la tierra que han llevado a la acumulación de sedimentos en el embalse de Kalundu en el período 2000-2021. Conjuntos de datos utilizados en este estudio, que incluyó: (i) datos hidrológicos que se obtuvieron de tres (3) estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del río Kalundu y tres (3) estaciones en el embalse; (ii) muestras de sedimentos de varios lugares del embalse; (iii) levantamiento batimétrico del yacimiento; (iv) datos satelitales sobre el cambio en el uso y la cobertura del suelo (LULC) y (v) datos sobre el uso del agua en los hogares que se obtuvieron a través de una encuesta por cuestionario. Se utilizaron herramientas de teledetección y el modelo de ecuación universal modificada de pérdida de suelo (MUSLE) en el análisis espacial y la estimación de la pérdida de suelo, respectivamente.

Empleando el modelo USLE y la relación de entrega de sedimento (SDR), Alemaw et al. (2013) para un embalse en Botswana encontraron que la tasa de sedimentación promedio y la tasa de entrega de sedimento fueron de  $1.74 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y 81%, respectivamente. Estos son parámetros útiles para estimar la vida útil de las presas y planificar medidas correctivas relacionadas con los problemas de sedimentación.

### **2.1.2. Nivel nacional**

Velasquéz (2019), en su Tesis “Análisis de los potenciales problemas de sedimentación y medidas de mitigación en la presa Palo redondo” determina que, la sedimentación es un proceso natural en los embalses, por lo tanto, en el diseño se debe considerar un volumen de azolves acorde a las características de la presa y de la cuenca en que está ubicada. Los embalses de las presas Gallito Ciego y Poechos, ubicadas en el frente de un río costero peruano, vieron excedidos sus



volúmenes muertos de diseño después del fenómeno de El Niño de 1998, respectivamente, 11 y 22 años después de que entraron en funcionamiento. Si los embalses de estas presas son laterales, se pueden implementar sistemas de depuración aguas arriba para que una menor proporción de los sedimentos generados en la cuenca llegue al embalse. Por lo tanto, se concluye que los embalses frontales no pueden funcionar adecuadamente en condiciones de alto riesgo de sedimentación, como en la costa peruana. Se recomienda construir la siguiente cisterna en un lateral para que el sistema de recogida y depuración se pueda implementar con suficiente eficiencia y diseño. La presa Palo Redondo puede recibir sedimentos resultantes de la activación del arroyo Palo Redondo y la descarga continua de los canales de alimentación. Estos se descargan del canal de alimentación dependen de la cuenca del río Santa y del sistema de captación Chavimochic. Por un lado, el mayor riesgo en la Quebrada Palo Redondo sería la activación por causa de un Niño severo que ocasione una gran entrada de lodos a la presa. Por otra parte, la cuenca del Santa ha sido identificada como una de las más erosivas en el Perú, con una degradación específica anual de  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (ANA,2015) y una erosión que llega a  $57.13 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para años de fuertes lluvias. Para ilustrar la naturaleza alarmante de esta situación, se informa que la erosión específica en la cuenca Catamayo-Chira (que contribuye a los flujos sólidos y líquidos de la presa Poechos) es de  $13 \text{ tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Además, según INADE (2002) el 80% de las partículas suspendidas en el Río Santa son menores a 0.15 mm, por lo que el arenero del Proyecto Chavimochic es completamente funcional para sólo el 20% del material entrante. Por lo tanto, para la tercera fase del proyecto, la propia PECH estima la eficiencia del estanque de arena en un 50%, y Rocha la estima en un 32%. Se concluyó que el sistema de recolección y



remoción del proyecto presentaba fallas, lo que dejaría a la presa vulnerable a las grandes cantidades de sedimentos producidos en la Cuenca del Santa.

De igual manera, Nomberto, O. (2015) en su tesis “Evaluación del volumen de los sedimentos del embalse de la Presa Gallito Ciego durante su vida útil para estimar la proyección del volumen sedimentado”, se describen los sedimentos acumulados en el embalse Gallito Ciego entre 1988 y 2013, que aproximadamente son  $104.56 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, siendo reducidos en un 17.69% del volumen total embalsado. La vida útil de la presa, para 50 años de proyección (horizonte económico), viene siendo reducida a menos de 2/5. Se tiene deficiencia del estudio hidrológico, en lo referente a sedimentología, conllevando a subestimar la tasa de diseño del volumen muerto. Todo ello, unido a la carencia de programas de control de sedimentos y manejo de cuenca, provocaron el colapso prematuro de la presa. La cuenca del Pacífico Norte del Perú es altamente susceptible a la erosión y al transporte de sedimentos, por lo que la construcción de grandes represas en esta cuenca de menor pendiente no es razonable. El embalse finalizó su vida útil alrededor de 2008 y actualmente contiene 27 mmc más de sedimento de lo diseñado. En la última batimetría se observó que el 60% 120 del volumen de sedimento se encuentra entre los niveles de agua 404.0 – 361.0 m.s.n.m., es decir, en el volumen útil, exactamente en la cola del embalse.

### **2.1.3. Nivel local**

Pérez Rivera y Salazar Quisocala (2019) emplearon técnicas de levantamiento mediante batimetría con ecosonda, para determinar el volumen útil del embalse Lagunillas y comparar los resultados con los datos obtenidos en el proyecto Sistema Integral Lagunillas (SIL). Para ello, se realizó una batimetría utilizando técnicas de posicionamiento geodésico relativamente estáticas y un

receptor GNSS sincronizado con un ecosonda. Concluye que se tiene calculado un volumen útil (578 hm<sup>3</sup>) que es superior al volumen del parámetro que asumido en el proyecto Sistema Integral Lagunillas (500 hm<sup>3</sup>).

Cueva Alaguia, (2018), en su tesis “Propuesta de estructura de disipación de energía para el control de la pérdida de suelo por erosión hídrica en cárcava en la microcuenca Sonocco Juli – Puno” aplicando la metodología de USLE tomando en cuenta los factores que intervienen en la erosión hídrica, verifica que se genera una erosión anual de 26.9502 tn/ha/año, además estima que la estructura más adecuada para controlar la erosión hídrica considerando un caudal de diseño de 1.57m<sup>3</sup>/s, es el dissipador de energía de mampostería con dimensiones de 2.00 m de altura, 0.87 de base y 0.40 de coronación.

## **2.2. MARCO TEORICO**

### **2.2.1. Cuenca hidrográfica**

Se han observado cambios de régimen funcional y estructural entre muchos ecosistemas. Comprender los cambios de régimen en los ecosistemas de cuencas hidrográficas es crucial para la gestión del paisaje y el desarrollo sostenible (Zhao et al., 2023).

La clasificación de cuencas hidrográficas se considera necesaria para varios propósitos, incluida la mejora de la capacidad de transferencia de la información sobre caudales y la generalización de teorías hidrológicas (Yang & Olivera, 2023; Gonzales & Alejo, 2008).

#### **2.2.1.1. Características Morfométricas de una cuenca.**

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin



embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado, por otra parte no se puede garantizar que toda la información morfo métrica de las cuencas utilizadas para el estudio se pueda obtener en una misma escala, lo cual aumenta el grado de incertidumbre sobre la confiabilidad de los parámetros (Rojo, 2008; Ponce, 1989).

#### **A. Perímetro de la cuenca.**

Como ocurre con las superficies y todas las medidas lineales que se pueden medir en representaciones en mapas topográficos, al calcular la longitud de una línea perimetral lo que realmente estamos midiendo es la proyección sobre el plano horizontal, que es una medida diferente. Línea depende de la ondulación o pendiente de dicha línea. De todas formas, el error que se comete es de una magnitud muy inferior a la de la medida en sí y, por tanto, totalmente despreciable (Jarri, 1985).

#### **B. Área de la cuenca**

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva perimetral (P). Esta línea suele trazarse ya sea a partir de la interpretación fotográfica de una fotografía aérea en la que se ve el terreno (y por tanto la cuenca) o de los contornos representados en un mapa topográfico. Probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía-características morfológicas (Ramón et al., 2011). En ocasiones, debido a que los métodos de estimación de escurrimiento sólo son válidos en áreas con características similares, es necesario dividir grandes cuencas



con redes de drenaje muy complejas en subcuencas o subsistemas de drenaje, con menos entidades, pero mayor homogeneidad.

### **C. Pendiente de la cuenca**

Según (Rojo, 2008), es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca.

Se calcula como media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo (Ramón et al., 2011).

### **D. Factor de Forma de Horton (Kf)**

La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico (cuencas con la misma área pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas – hidrogramas diferentes por tanto- ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo), de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes. Los parámetros de forma principales son: Coeficiente de Gravelius y Rectángulo equivalente y coeficiente de Horton (Ramón et al., 2011).

### **E. Análisis hipsométrico**

La curva de altimetría representa el cambio en el área de drenaje con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye tomando como eje de abscisas el valor esperado de la superficie de drenaje (en kilómetros cuadrados o porcentajes) hasta un determinado nivel y como eje de

ordenadas (normalmente en metros) este valor. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas (Ramón et al., 2011).

### **2.2.2. La presa**

Es una estructura hidráulica construida en el tramo fluvial del río, tiene dos propósitos: uno es aumentar permanente o variablemente el nivel del agua del río para que pueda pasar por la tubería; el otro es almacenar agua para su uso en tiempos de escasez de agua. En general, los usos más importantes son: la generación de energía eléctrica, el abastecimiento de agua para acueducto y riego, la regulación de caudales, control de crecientes, y usos derivados como la recreación, el deporte, y la piscicultura (Santaella & Morales, 2001).

Una presa se puede definir como una barrera o estructura colocada a través de un curso de agua o río para retener agua y controlar el flujo. Las presas varían de tamaño, pudiendo ser un pequeño terraplén de tierra, a menudo para el uso de una granja, y otras pueden llegar a ser altas estructuras macizas de hormigón que sirven generalmente para el abastecimiento de agua, la energía hidroeléctrica y el riego (Berga, 2018).

#### **2.2.2.1. Clasificación de presas**

Según (Martinez, 2019), las presas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

##### **A. Presas de fábrica:**

- PG: Presa de gravedad.
- RCC: Presa de hormigón compactado con rodillo.



- BVD: Presa de bóveda.

### **B. Presas de materiales sueltos:**

- CFRD: Presa de escollera con pantalla de hormigón.
- PMS-H: Presa de materiales sueltos homogénea.

Existen muchas más tipologías de presa con múltiples variantes, pero a efectos del presente trabajo el problema se ha limitado a cinco de las tipologías que con más frecuencia suelen aparecer en los proyectos que se realizan en el mundo.

### **2.2.3. Embalse**

Es la acumulación de agua producto de la obstrucción parcial o total de un río, quedando un volumen de agua retenido dentro del vaso topográfico ya sea de forma natural o por intervención del hombre. Generalmente se forma artificialmente por la construcción de una represa o dique, formándose un lago artificial, siendo aprovechado para la producción de energía hidroeléctrica o almacenaje el abastecimiento de agua para riego o consumo humano. (Cordova Carmen, 2015)

El término a menudo suele confundirse con estructuras de presas, que incluyen la estructura física y la masa de agua que retiene. Un embalse es un volumen de agua formado por actividades humanas con el propósito específico de proporcionar y controlar recursos hídricos (The British Dam Society; Thornton, Steel, & Rast, 1996).



### **2.2.3.1. Clasificación de los embalses**

Según (Cordova Carmen, 2015), los embalses se clasifican de la siguiente manera:

#### **A. Por su ubicación en el río**

Se diferencian dos tipos, los laterales que se ubican fuera del cauce y los frontales que se encuentran ubicados sobre el mismo cauce, pudiéndose verificar adicionalmente dos tipos en este último, los que requieren un volumen adicional producto de la sedimentación con la finalidad de conservar su volumen útil y los que por las condiciones favorables en que se encuentran, tienen incorporado dispositivos de control y eliminación de sedimentos depositados.

#### **B. Por su función**

De acuerdo a la función que realizan se tiene, los de acumulación que almacenan agua en épocas de avenida para su uso en pocas de estiaje, los de distribución que son utilizados para la alimentación y funcionamiento de sistemas de agua potable, estaciones de bombeo o sistemas de riego.

### **2.2.4. Erosión**

Según MIDAGRI, (2014) la erosión es la separación y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro debido a la lluvia, el viento o las malas prácticas humanas en las fincas. Estas pérdidas disminuyen de a poco la profundidad del suelo perdiendo su fertilidad. Esta pérdida del suelo es permanente.

El suelo es un recurso natural fundamental que sustenta los ecosistemas terrestres, ya sean naturales o productivos. La importancia de proteger suelos de



alta calidad es particularmente evidente en los sistemas agrícolas, cuya productividad depende en gran medida de qué tan bien se conserva el suelo. Esto fue especialmente cierto en las zonas mediterráneas extensivamente agrícolas, donde las propias condiciones climáticas constituían una importante limitación de la productividad. La erosión del suelo implica la remoción, desarraigo y transporte de los materiales que componen la capa superior del suelo, independientemente de la causa: agua, viento, hielo, actividad humana, etc. En este capítulo se va a incidir expresamente en los efectos on site de la erosión, es decir los efectos directos sobre la degradación del suelo en los campos de cultivo; y no se consideran los posibles efectos off site de dicha erosión, tales como el aterramiento de embalses o la acumulación de sedimentos en infraestructuras viales (Alcázar et al., 2011).

#### **2.2.4.1. Erosión hídrica**

La erosión hídrica, con énfasis en su valoración y representación cartográfica. Abarca los aspectos históricos básicos y más relevantes y explica las diversas categorías metodológicas utilizadas en su investigación y evaluación, así como algunas experiencias aplicadas. Resalta la importancia en el uso de los sensores remotos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sobre los primeros se discute el uso de las imágenes satelitales, de importante apoyo cualitativo y cuantitativo para investigaciones y evaluaciones de los procesos de erosión, modalidades que permiten visualizar y hacer un seguimiento de dichos procesos en tiempo y espacio (Camargo et al., 2017).



Teniendo en cuenta el carácter perecedero de las obras, la importancia histórica y turística del lugar y la importante inversión económica que supone la restauración de la zona, es necesario establecer un sistema de seguimiento y control del comportamiento de las obras y de los suelos en relación con variables climáticas e influencias antropogénicas para prolongar su vida útil y verificar el funcionamiento efectivo de las medidas adoptadas. Se recomienda: Controlar la efectividad del repoblamiento vegetal, principalmente en el periodo de arraigamiento, y reponer las plantas que hayan perecido, también llevar a cabo el cuidado y hacer modificaciones y arreglos menores cuando la vegetación está en desarrollo, para que la obra tenga éxito (Niz et al., 2010).

#### **2.2.4.2. Suministro de sedimentos en una cuenca**

La erosión y la retención de sedimentos por tierra son procesos naturales que rigen la concentración de sedimentos en las corrientes. La dinámica de los sedimentos a escala de la cuenca viene determinada principalmente por el clima (en particular la intensidad de las lluvias), las propiedades del suelo, la topografía y la vegetación, así como por factores antropogénicos como las actividades agrícolas o la construcción y explotación de presas. Las principales fuentes de sedimentos presentes en una cuenca incluyen la erosión terrestre (partículas del suelo desprendidas y transportadas por la lluvia y el flujo terrestre), la erosión en cárcavas (de los canales que concentran el flujo), la erosión de las orillas y la erosión en masa. Los sumideros incluyen la deposición en la ladera, en la llanura de inundación o en la corriente, y la retención en embalses o reservorios artificiales, como se resume en la Figura 1. La conversión del uso del suelo



y los cambios en las prácticas de manejo de la tierra pueden modificar drásticamente la cantidad de sedimento que escurre por una cuenca. La magnitud de este efecto depende principalmente de: i) las principales fuentes de sedimentos (el cambio de uso del suelo tendrá un efecto menor en las cuencas en las que los sedimentos no proceden principalmente del flujo terrestre, sino, por ejemplo, de la erosión glaciar); y ii) la distribución espacial de las fuentes y los sumideros de sedimentos (Natural Capital Project, 2023).

#### **2.2.5. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)**

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y sus actualizaciones son los modelos más utilizados para la evaluación de la erosión del suelo. La USLE incluye varios parámetros que describen las precipitaciones y las características del suelo. La aplicación de la USLE es un reto debido a la variabilidad de la precisión y la resolución de los datos necesarios para cada parámetro de una región a otra (Helmi, 2022).

La nomografía de Wischmeier et al. (1971) mencionado por (Corral-Pazos-de-Provens et al., 2023), para calcular el factor K en la USLE fue extremadamente útil cuando había poco acceso a las calculadoras. Sin embargo, el cálculo generalizado de este factor requiere el desarrollo de procedimientos analíticos. En este artículo se presenta un análisis detallado del nomograma y su ecuación subyacente, que sólo es aplicable cuando la fracción de limo más arena muy localizada no supera.



### **2.2.5.1. Factor agresividad de la lluvia (R).**

Uno de los componentes de la EUPS es la erosividad (factor R), que corresponde a la capacidad de la lluvia de remover partículas del suelo. El factor R se estima por medio de datos pluviográficos y reportes diarios de la duración y cantidad de agua de los eventos de precipitación. Razón por la cuál es indispensable la existencia de una buena red de estaciones climáticas (Calvo-Alvarado & Jimenez, 2009).

El término factor de erosividad de la lluvia significa una evaluación numérica de un evento de lluvia que describe su capacidad para erosionar el suelo en campos desprotegidos. Las diferencias en la erosión potencial por lluvia no están necesariamente relacionadas con las cantidades de lluvia, la intensidad de los eventos, la historia climática y las condiciones de la superficie. La interacción de los efectos y otras variables, influyen de manera más relevante dentro del proceso de erosión (Pérez & Mesa Sánchez, 2020).

### **2.2.5.2. Factor erodabilidad del suelo (K).**

La erosión hídrica del suelo es una fuente de graves problemas ambientales en todo el mundo. El factor de erosionabilidad del suelo es uno de los parámetros más importantes en la estimación de la erosión hídrica utilizando el modelo USLE. Este análisis demanda de un estudio costoso y prolongado en campo. Sin embargo, es posible utilizar datos basados en programas satelitales (Fernández et al., 2023).

### 2.2.5.3. Factor de longitud y grado de pendiente (LS).

Laderas de inclinación uniforme < 20% y longitud < 1000 pies  
(Ibañez et al., 2020).

**Tabla 1**

*Valores de factor LS*

Valores del factor LS												
( $\%$ )	Longitud de la ladera (pies)											
	25	50	70	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
0.2	0.060	0.069	0.075	0.080	0.086	0.092	0.099	0.105	0.110	0.114	0.121	0.126
0.5	0.073	0.083	0.090	0.096	0.104	0.110	0.119	0.126	0.132	0.137	0.145	0.152
0.8	0.086	0.098	0.107	0.113	0.123	0.130	0.141	0.149	0.156	0.162	0.171	0.179
2	0.133	0.163	0.185	0.201	0.227	0.248	0.280	0.305	0.326	0.344	0.376	0.402
3	0.190	0.233	0.264	0.287	0.325	0.354	0.400	0.437	0.466	0.492	0.536	0.573
4	0.230	0.303	0.357	0.400	0.471	0.528	0.621	0.697	0.762	0.820	0.920	1.010
5	0.268	0.379	0.464	0.536	0.656	0.758	0.928	1.070	1.200	1.310	1.520	1.690
6	0.336	0.476	0.583	0.673	0.824	0.952	1.170	1.350	1.500	1.650	1.900	2.130
8	0.496	0.701	0.859	0.992	1.210	1.410	1.720	1.980	2.220	2.430	2.810	3.140
10	0.685	0.968	1.190	1.370	1.680	1.940	2.370	2.740	3.060	3.360	3.870	4.330
12	0.903	1.280	1.560	1.800	2.210	2.550	3.130	3.610	4.040	4.420	5.110	5.710
14	1.150	1.620	1.990	2.300	2.810	3.250	3.980	4.590	5.130	5.620	6.490	7.260
16	1.420	2.010	2.460	2.840	3.480	4.010	4.920	5.680	6.350	6.950	8.030	8.980
18	1.720	2.430	2.970	3.430	4.210	3.860	5.950	6.870	7.680	6.410	9.710	10.900
20	2.040	2.880	3.530	4.080	5.000	5.770	7.070	8.160	9.120	10.000	11.500	12.900

Fuente: (Ibañez et al., 2020).

### 2.2.5.4. Factor de cobertura vegetal (C).

Cuando la cobertura se pierde o se degrada, la erosión se intensifica y el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo aumenta, provocando una grave degradación ambiental y problemas de calidad del suelo que obstaculizan el desarrollo agrícola y social. Con el fin de reducir estos problemas se pueden adoptar prácticas de conservación sostenibles, lo que



implica la comprensión en profundidad de la medida del riesgo y la distribución espacial de los procesos de erosión del suelo (Pacheco et al., 2019).

Los bosques existentes en la cuenca, aunque reducidos a riberas fragmentadas y áreas protegidas, siguen siendo vitales por sus funciones de estabilización, protección del suelo y regulación hidrológica. De ahí la importancia de su conservación y el fomento de la superficie forestal (Lianes et al., 2009).

#### **2.2.5.5. Factor de prácticas de conservación (P)**

Según (Mancilla Escobar, 2008), muchas veces la presencia de vegetación no evita la producción de escurrimiento superficial. En este sentido, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo de agua. Al respecto, USLE incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno)
- El empleo de fajas de cultivo en contorno
- El empleo de terrazas.

De igual manera menciona que, la plantación en curvas de nivel es quizás la más adecuada para el sector forestal, dado que las plantaciones generalmente se establecen a lo largo de curvas de nivel. De todos modos, su efectividad disminuye cuanto más empinado es el terreno y la longitud de la pendiente involucrada. Por el contrario, el efecto protector es mayor si los residuos de la cosecha anterior se amontonan a lo largo de los

contornos. Los valores de P para esta condición constan en la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Valores de factor P*

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curvas de nivel		P para cultivo en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
021 - 025	0.900	15	0.18
017 - 020	0.800	18	0.16
013 - 016	0.700	24	0.14
09 - 012	0.600	37	0.12
06-08	0.500	61	0.1
03-05	0.500	91	0.1
01-02	0.600	122	0.12

\*Se pondera por 0.8 si considera contornos realizados con pilas de residuos

Fuente: (Mancilla Escobar, 2008)

#### **2.2.6. Determinación de cantidad de erosión**

Los modelos de erosión junto con las aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG) constituyen una herramienta eficaz para estudiar la pérdida de suelo por erosión, que provoca graves problemas ambientales. Este trabajo tiene como objetivo demostrar el gran potencial de los SIG para estudios de erosión en los tramos superiores de la cuenca del río Siguas en Arequipa mediante la implementación de una aplicación práctica. Se utilizó el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) como método para el cálculo de las tasas de pérdida de suelo, posibilitando la elaboración de una cartografía de estados erosivos, que permite la identificación de las áreas de especial sensibilidad a la erosión (Portuguez M., 2015).



### 2.2.6.1. Coeficiente de entrega de sedimento

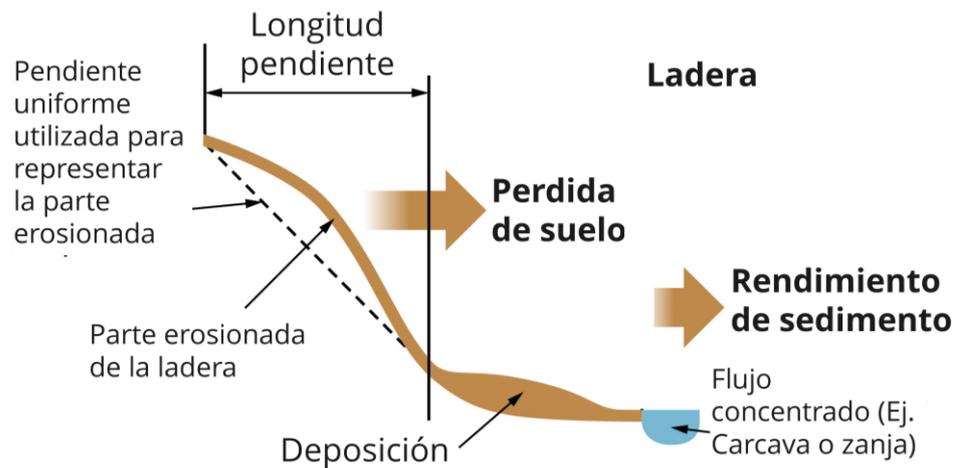
Una parte de los sedimentos producidos en las laderas llega a los sistemas fluviales. Sólo una pequeña proporción de los sedimentos producidos por la erosión del suelo llega a los grandes sistemas fluviales aguas abajo, y gran parte del suelo erosionado queda atrapado detrás de las presas (Colman et al., 2018). La diferencia entre la producción de sedimentos y el rendimiento de sedimentos (cantidad que sale de la cuenca hidrográfica) se expresa como la "relación de entrega de sedimentos o coeficiente de entrega de sedimentos" (SDR: Sediment Delivery Ratio):

$$SDR = SY / SP$$

Donde SY es el rendimiento de sedimentos medido a la salida de una cuenca y SP es la producción de sedimentos, normalmente calculada a partir de estimaciones de la erosión del suelo y sin incluir la erosión fluvial de canales y llanuras de inundación. Así, el SDR refleja la cantidad del suelo erosionado de las tierras altas llega a la salida de la cuenca (Figura 4). Esta relación suele ser mucho menor que la unidad, lo que indica que el almacenamiento de sedimentos es considerable, aunque esto es muy variable en función de los factores que controlan el transporte de sedimentos y el espacio de alojamiento. La SDR depende mucho de la escala, variando de >50% en cuencas pequeñas de menos de 1 km<sup>2</sup> de superficie hasta el 10% o menos en cuencas mayores de 100 km<sup>2</sup> (James et al., 2022).

**Figura 1**

*Esquema del coeficiente de entrega de sedimentos*



**Nota.** En esta figura se puede apreciar la relación de entrega de sedimentos generados en toda la cuenca. Alfaro (2011) y USDA-ARS (2008).

Para la entrega de sedimentos se desarrollaron diversas curvas o ecuaciones para describirlas (Ecuación a) USDA (1975), Boyce (1975), y USSCS (1971) produjo más curvas SDR, que están representadas por la ecuación b y d.

$$SDR = 0.4724A^{-0.125} \quad (a)$$

$$SDR = 0.3750A^{-0.2382} \quad (b)$$

$$SDR = 0.5656A^{-0.11} \quad (c)$$

$$SDR = A^{-0.2} \quad (d)$$

Donde:

A = Área de recolección (km<sup>2</sup>)

Las curvas SDR para una sola cuenca son necesarias si se quiere obtener una estimación precisa de la producción de sedimentos, pero los



valores SDR para cuencas específicas son casi difíciles de obtener (ver tabla 03).

**Tabla 3**

*Coefficientes generalizados de entrega de sedimentos*

área de recolección (km <sup>2</sup> )	Coefficiente de entrega de sedimentos (adimensional)
0.05	0.58
0.10	0.52
0.50	0.39
1	0.35
5	0.25
10	0.22
50	0.15
100	0.13
500	0.08
1000	0.06

Fuente: Tesis Luvai, A. K. (2022).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

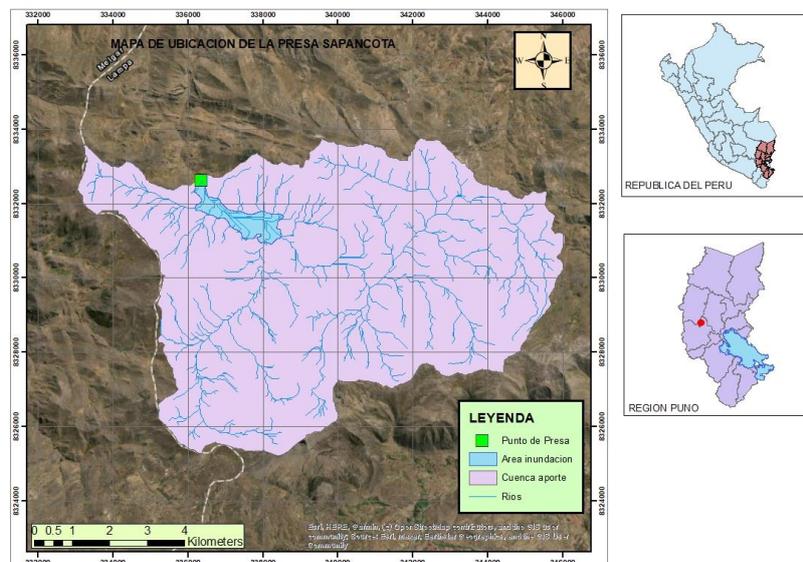
#### 3.1. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación del área de estudio

El embalse Sapancota, políticamente se encuentra ubicada en la Comunidad campesina de Sapancota, del distrito de Pucara, provincia de Lampa de la región de Puno. La represa Sapancota se encuentra en proceso de formulación del proyecto la cual se ubica dentro de la cuenca Sapancota, la misma que se encuentra ubicada geográficamente dentro de las coordenadas UTM: a 332000 a 350000 Oeste y 8324000 a 8336000 Norte, estando el eje de presa proyectado para su construcción en las coordenadas 336183 Oeste y 8332537 Norte que se muestra en la figura 2.

#### Figura 2

*Mapa de ubicación de la Presa Sapancota*



Nota. Esta figura muestra la ubicación de la presa Sapancota, dentro de la región Puno y el país.

### 3.1.2. Topografía

La información cartográfica obtenida es la siguiente, levantamiento topográfico de la zona de la Presa Sapancota proporcionada a solicitud del Programa Regional de Riego y Drenaje – PRORRIDRE, el cual fue realizado mediante fotogrametría.

La información utilizada en la gran mayoría para los cálculos respectivos fue, imágenes de ALOS PALSAR con una resolución espacial de 12.50 m.

#### Figura 3

*Distribución puntos para levantamiento fotogramétrico*

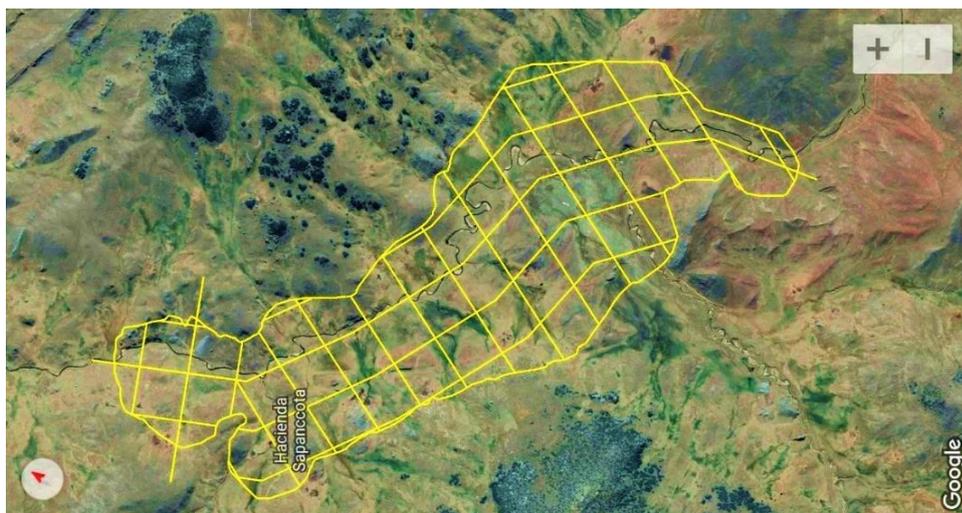


Figura 03, se muestra el mapa de distribución de los puntos para levantamiento fotogramétrico con dron y distribución según el plan de trabajo realizado por el PRORRIDRE.

### 3.1.3. Caracterización de la cuenca

Mediante el procesamiento SIG con el apoyo del ArcGis 10.3 y la utilización de los DEM, cartas nacionales de los cuadrantes OCUVIRI (31-u) y

JULIACA (31-v), se obtienen los parámetros geomorfológicos de la cuenca como se muestra a continuación.

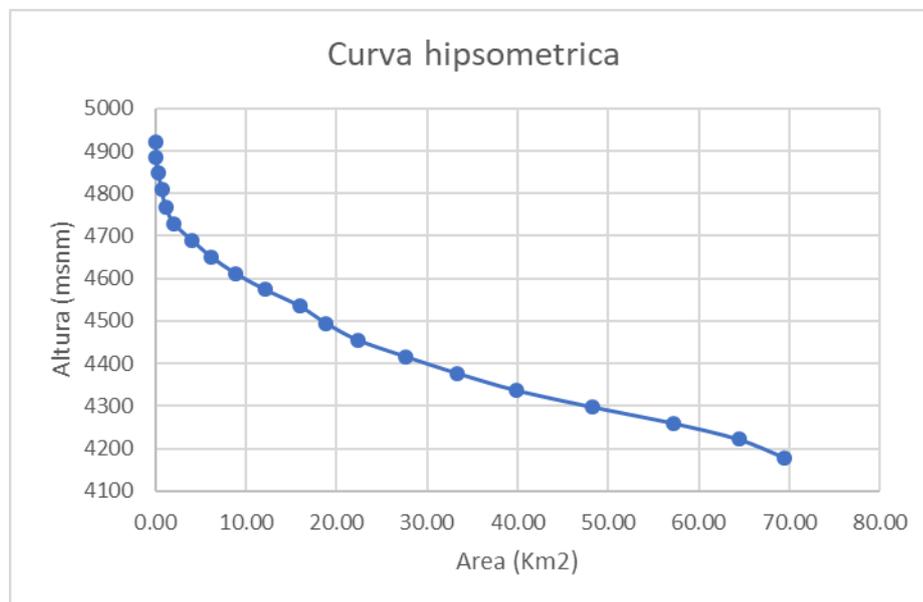
**Tabla 4**

*Parámetros geomorfológicos de la cuenca*

Parámetro	Unidades	Valor
Área	Km <sup>2</sup>	69.428
Perímetro	km	43.428
Altura Max	m	4946.990
Altura Min	m	4160.988
X centroide	m	339623.463
Y centroide	m	8329690.005
Long Rio	m	16628.000
Densidad de drenaje	m-1	3.010
Pendiente rio principal	m/m	0.008
Pendiente media de la cuenca	%	24

**Figura 4**

*Curva hipsométrica de la cuenca*



Nota. En la figura, se muestra la curva hipsométrica de la cuenca, superponiendo la altura y el área acumulada.



#### **3.1.4. Clima e hidrología**

El clima de esta región se caracteriza por un clima templado frío con cambios de temperatura frecuentes e inestables. (la temperatura media anual es de 7° y la mínima de -16°C).

La vegetación se clasifica en dos tipos, el primero consiste en una vegetación silvestre propias del altiplano como pastos naturales, la chilligua Ichu (stipa Obtusa).

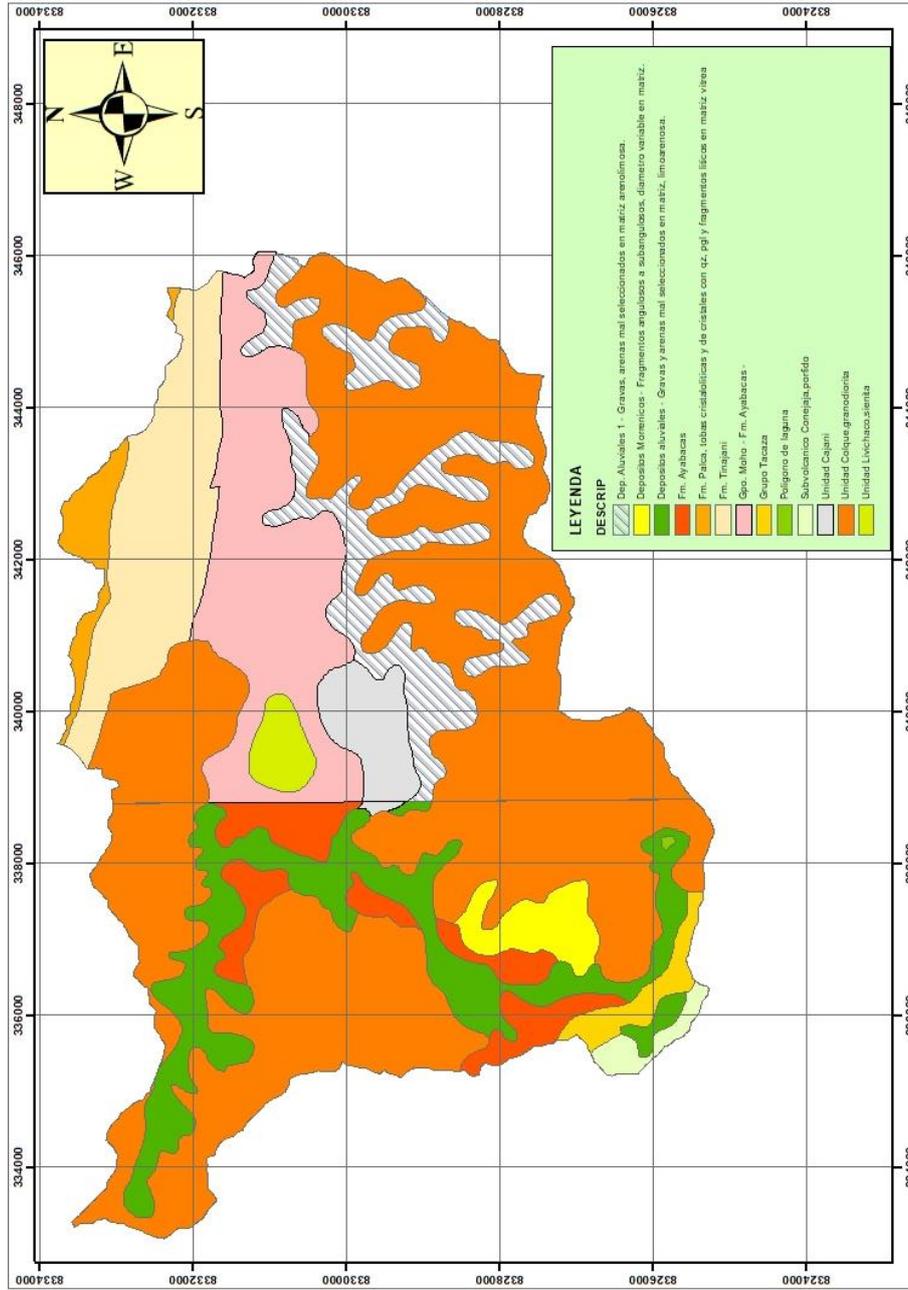
La época con presencia de precipitación se encuentra entre los meses de enero a marzo, con una precipitación promedio anual de 62.01mm y el resto sin lluvias o lluvias escasas

#### **3.1.5. Características geológicas**

Según la información geológica de INGEMET, dentro de la cuenta en estudio se puede identificar como más influyentes las formaciones Ccolque Granodiorita, el Grupo Moho-formación Ayabacas y formación Tinajani; así mismo, la tectónica, la acción de los agentes erosivos y la glaciación han contribuido a configurar la expresión de la superficie actual, que no es más que una constante de las geoformas existentes, repitiéndose con singularidad.

**Figura 5**

*Geología de la cuenca Sapancota*



Nota. En la figura, se muestra las principales unidades geológicas de la cuenca Sapancota.

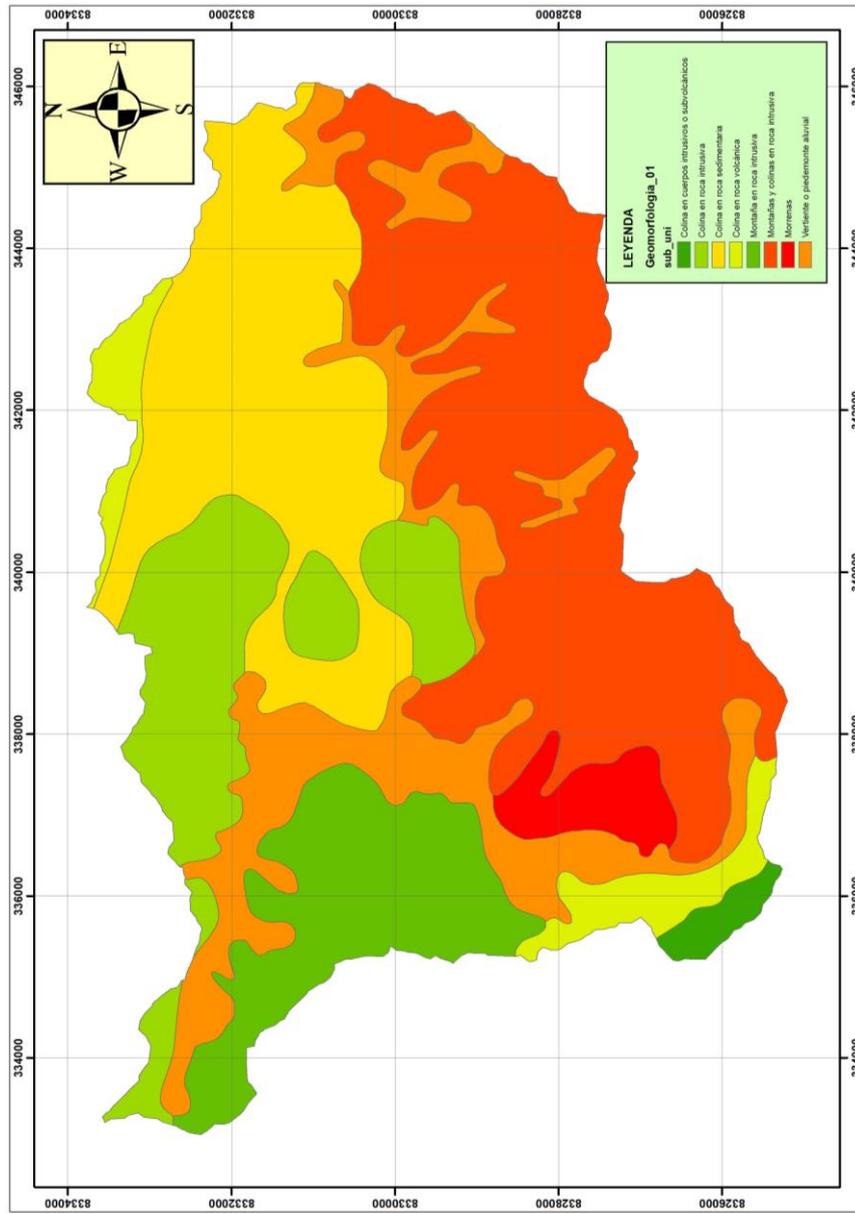


### 3.1.6. Geomorfología de la cuenca

Las unidades geomorfológicas de la cuenca hidrográfica se determinaron a partir de imágenes Landsat en 2018, se empleó método de clasificación geomorfológica para ríos y su desarrollo por SIG flexibilidad e información concisa y rápida. La caracterización y la ramificación de la red fluvial se basan en la topografía del valle, las pendientes y la morfología de los canales. En este se distinguen estratos hidrogeológicos, dominados por valles moderadamente inundados y profundos con canales aluviales serpenteantes (Horacio & Ollero, 2011). Para la cuenca en estudio se basó en los estudios de la geomorfología de ZEE de la región Puno.

**Figura 6**

*Geomorfología de la cuenca Sapancota*



Nota. En la figura, se muestra las principales unidades geomorfológicas de la cuenca del río Sapancota.

### 3.1.6.1. Valle

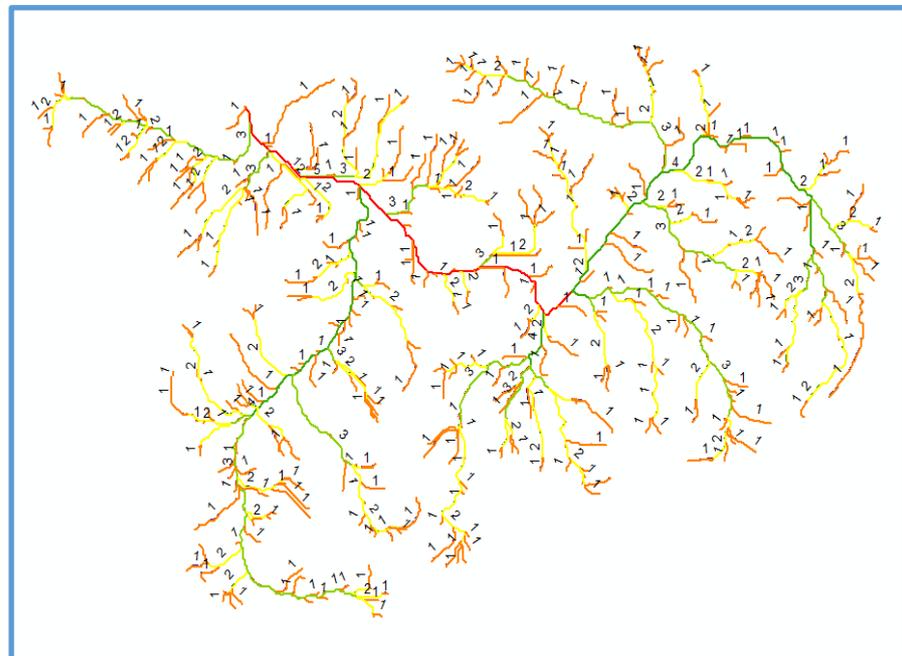
Como unidad geomorfológica, el valle del río Condorpuquio es (superior a los 500m.) con una sección transversal en forma de V, cuyos flancos están constituidas en forma de terrazas e ínterestratificadas con tobas, areniscas y conglomerados, en la llanura del valle se registran, arenas y limos, pertenecientes al cuaternario aluvial y fluvial

### 3.1.6.2. Ríos

El colector principal el río Condorpuquio, recibe los aportes de las quebradas de su trayecto y los ríos emplazados en la zona del proyecto como: Ccollce, Pumatira y Sorapampa.

### Figura 7

*Red de drenaje de la cuenca del río Sapancota*



Nota. Esta figura muestra el sistema de red de drenaje de la cuenca del río Sapancota y sus afluentes.



### **3.1.6.3. Cerros**

Destacan elevaciones que alcanzan altitudes de 4,600 m.s.n.m. que circundan la zona del área con flancos de pendientes mayores a 30°, entre los que destacan los cerros Sapancota, Ccolque, Unotocana, Llallahua, azulccacca, Yuracapacheta, Suacamaña, Livitaca, etc.

### **3.1.6.4. Aluviales de terraza**

Son los depósitos más antiguos y se localizan en ambas márgenes del río Condorpuquio, constituido por rodados, gravas en el tramo inicial y en la zona de desarrollo arenas, con inclusiones de guijarros, arenas y limos, superficialmente predominan arenas limosas.

### **3.1.6.5. Aluviales de cauce**

Corresponden a los depósitos asociados al cauce actual del río Condorpuquio, donde se puede apreciar acumulaciones de guijarros y gravas, que presentan superficialmente en su composición cantos y bolones.

### **3.1.7. Uso de suelo**

El mapa de uso de suelo, se realizó mediante la recolección de datos de campo y apoyo de imágenes satelitales de Landsat 8 y 9, haciendo una clasificación de imágenes se obtuvo el mapa de uso actual de tierra, como menciona en la figura 6 que representa el uso actual de tierras dentro de la cuenca.



**Tabla 5***Uso actual de tierras en la cuenca del río Sapancota.*

N°	Uso actual	Area (has)	Area (%)
1	Bofedal	375	5.4
2	Bosque relicto altoandino	250.6	3.6
3	Lagunas, lagos y cochas	15.6	0.2
4	Pajonal andino	6337.7	90.8

En la tabla 05 se aprecia, el uso actual de tierras que los bofedales tiene una extensión de 375 ha que representa el 5.4% de la superficie total, seguido por bosques y áreas mayormente naturales con 250.6 ha que representa el 3.6% y superficie de agua de 15.6 ha que es el 0.2% del área total y por último pajonal andino con 6337.7 ha que representa el 90.8% del área total.

### 3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.2.1. Enfoque de investigación

Para esta investigación se optó por un enfoque cuantitativo, es decir, una investigación basada en mediciones numéricas. según Escamilla (2020) menciona que se usa la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

#### 3.2.2. Nivel de investigación

El nivel correspondiente a este estudio: descriptivo-correlacional. El nivel descriptivo de la investigación requiere una comprensión del campo de estudio



además de proporcionar probabilidad predictiva. Describir un fenómeno o situación en una circunstancia temporal-espacial (Condori-Ojeda, 2020).

### **3.2.3. Diseño de la investigación**

Se tiene un diseño no experimental ya que se partirá de la observación de los fenómenos naturales que ocurren en nuestro entorno, las variables no se pueden controlar por lo que no se verán afectadas. Así, el alcance de la investigación es transaccional o transversal, en cuanto que la observación y registro de datos ocurre en algún un momento determinado.

## **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.3.1. Población**

Según, (Sanchez, 2018), “es la suma de un grupo de elementos o casos, ya sean personas, objetos o hechos, que tienen ciertas características o criterios; y pueden ser identificados en el área de interés a estudiar.”

En ese sentido, la presente investigación tendrá como una población, la cuenca en estudio considerada como zona en la que se ubica el embalse.

### **3.3.2. Muestra**

Según, Tamayo (2003), dice que “Se determina la muestra a partir de una población cuantificada para la investigación, cuando no es posible medir cada entidad poblacional; esta muestra se considera representativa.”

En ese sentido, en la presente investigación consideramos como muestra los factores de erosión dentro del área delimitada al embalse Sapancota.



### **3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.4.1. Recopilación de la información**

##### **3.4.1.1. Material cartográfico**

La información cartográfica obtenida es la siguiente, levantamiento topográfico de la zona de la Presa Sapancota proporcionada a solicitud del Programa Regional de Riego y Drenaje – PRORRIDRE, el cual fue realizado mediante fotogrametría.

Además, se utilizó imágenes de ALOS PALSAR con una resolución espacial de 12.5 m, imágenes satelitales de Sentinel 2<sup>a</sup> con una resolución espacial de 10m para la cobertura vegetal de la cuenca y Landsat 9 con una resolución espacial de 30 m.

##### **3.4.1.2. Datos climatológicos**

Los datos climatológicos se obtuvieron de SENAMHI, con los datos de lluvia media mensual.

##### **3.4.1.3. Análisis de suelos**

Los análisis de suelos para una mayor veracidad fueron realizados por el laboratorio de suelos DEIMOUNT S.A.C., los parámetros físicos que se obtuvieron son los porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica, los que se muestran en la tabla 06.

**Tabla 6**

*Análisis de suelos*

CALICATA	COORDENADAS UTM	UBICACIÓN		GRANULOMETRIA							HUMEDAD NATURAL (%)	DESCRIPCION DEL SUELO	
		ESTR.	Prof. (m)	% QUE PASA			% ARENA			AASHTO			
				# 200	# 40	# 4	2"	D50 (mm)	% GRAVA	% ARENA	% FINOS		
<b>C-01 EM.</b>	337527.19 - 8331721.16 - EMBALSE	E-2	0.30 - 3.50	23.27	44.59	96.97	100	0.6	3.03	73.71	23.27	15.05	ARENA ARCILLOSA
<b>C-02 EM.</b>	337176.66 - 8331799.48 - EMBALSE	E-2	0.35 - 3.50	25.26	48.65	97.36	100	0.47	2.64	72.1	25.26	16.29	ARENA LIMOSA
<b>C-03 EM.</b>	336924.37 - 8331963.76 - EMBALSE	E-2	0.25 - 3.45	30.46	52.62	81.77	100	0.37	18.23	51.31	30.46	28.67	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
<b>C-04 EM.</b>	336294.45 - 8332555.56 - EJE DE PRESA	E-2	0.25 - 3.45	16.68	36.27	97.04	100	0.76	2.96	80.36	16.68	9.66	ARENA LIMO ARCILLOSA
<b>C-05 EM.</b>	336623.14 - 8332150.21 - EMBALSE	E-2	0.30 - 3.40	21.77	51.62	98.29	100	0.4	1.71	76.51	21.77	9.07	ARENA LIMO ARCILLOSA
<b>C-06 EM</b>	336483.26 - 8332336.46 - EMBALSE	E-2	0.35 - 3.40	74.03	82.59	94.2	100	0	5.8	20.17	74.03	22.66	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
<b>C-07 EM.</b>	336302.35 - 8332463.03 - EMBALSE	E-2	0.30 - 3.50	68.74	94.27	100	100	0	0	31.26	68.74	61.36	LIMO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD

Fuente: Certificado de Laboratorio de suelos DEIMOUNT (2023)



### **3.4.2. Determinación de la tasa de erosión hídrica mediante la aplicación del modelo USLE**

El trabajo de investigación se basará en el empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), para la determinación de la pérdida de suelo en la cuenca por procesos naturales y antrópicos.

#### **3.4.2.1. Modelo Ecuación Universal de Pérdida de Suelo – USLE**

Para calcular la pérdida de suelo en la cuenca se calculará los factores que intervienen en el cálculo.

Además, según (Mancilla, 2008) la representación matemática de la Ecuación de USLE es:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

- A : Pérdida media anual de suelo (tn/ha\*año).
- R : Factor erosividad de la lluvia (MJmm/ha\*año).
- K : Factor erodabilidad del suelo (tn/ha)/ (MJmm/ha\*h)
- L : Longitud de la pendiente (m)
- S : Pendiente del terreno (m.m<sup>-1</sup>).
- C : Factor cobertura y manejo de la vegetación.
- P : Factor prácticas de conservación del suelo.

## A. Cálculo del factor de erosividad de lluvia

Este factor representa la energía potencial de la lluvia y su escurrimiento asociado, que, debido al impacto de las gotas de lluvia en el suelo, genera un rompimiento en partículas que son fácilmente transportables por su escurrimiento.

Para su cálculo será necesario la utilización de la fórmula presentada por (Renard & Freimund, 1994). Para lo cual se utiliza el Índice Modificado de Fournier presentado por (Arnoldus, 1977), así mismo, será necesario la utilización del software ArcGis para la generación de mapas con los datos meteorológicos.

Para este caso el Factor R se deducirá a partir de la siguiente expresión:

$$R = \sum EI_{30}$$

Donde:

E : Energía cinética liberada por la lluvia

$I_{30}$  : Intensidad máxima de precipitación durante un intervalo de 30 min

Debido a que no se dispone de registros pluviográficos lo suficientemente detallados como lo pide esta fórmula, se debe calcular mediante los datos de precipitación total mensual y anual. En este contexto, es necesario efectuar ajustes de regresión entre el factor R calculado por el método USLE y el correspondiente IMF (Renard y Freimund, 1994) presentaron la ecuación de regresión siguiente para distintas regiones climáticas:



$$R = 0.07397xIMF^{1.847}$$

Donde:

R : Índice de erosión de la lluvia

IMF: Índice de Modificado de Fournier.

Para lo cual se utiliza el Índice Modificado de Fournier presentado por (Arnoldus, 1977), que se especifica como:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

P<sub>i</sub> : Precipitación mensual del mes “i” (mm)

P : Precipitación anual. (mm)

## **B. Cálculo de Factor de erodabilidad del suelo (K)**

El factor K representa la erosionabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos, que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también del manejo que 234 de ellos se haga, (Montes M., Uribe E., 2011).

Según Mancilla (2008) el factor de erodabilidad del suelo puede ser estimado de manera directa a través de una ecuación, o bien de manera gráfica, será necesario la utilización del software ArcGis la generación de los mapas correspondientes.

La estimación de este factor será mediante el método de la ecuación, propuesta por (Wischmeier, W. H., and Smith, 1978)

$$K = 1.313x \frac{[2.1x10^{-4}x(12 - MO)xM^{1.14} + 3.25x(S - 2) + 2.5x(P - 3)]}{100}$$

Donde:

MO : Contenido en materia orgánica (%).

S : Código de la estructura del suelo.

P : Código de permeabilidad.

M : Factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la Suma de los porcentajes de arena y limo. En términos matemáticos M corresponde a (%limo + %arena muy fina) \*(100-%arcilla).

Para lo cual fue necesario realizar visitas a campo, para realizar las pruebas necesarias (análisis de caracterización de suelo y pruebas de infiltración) y la identificación de las unidades geomorfológicas.

Cálculo del factor K utilizando la fórmula de Williams & Berndt (1977).

$$K = 0.1317f_{sand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand} \quad (01)$$

$$f_{sand} = \left(0.2 + 0.3EXP \left[-0.0256(m_s) \left(1 - \frac{m_{silt}}{100}\right)\right]\right) \quad (02)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}}\right)^{0.3} \quad (03)$$

$$f_{orgc} = \left[1 - \frac{0.25orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95orgC]}\right] \quad (04)$$



$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0.70 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + EXP \left[ -5.51 + 22.9 \left( 1 + \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right] \quad (05)$$

Teniendo como resultado el factor K.

### C. Cálculo de Factor de longitud pendiente e inclinación pendiente

#### (LS)

Según (Wischmeier & Smith, 1978) este factor representa el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo.

Para obtener el mapa de Factor de longitud se utilizará la relación propuesta por Montenegro y Malagon (1990). Según Flores (2009). Así mismo, será necesario la utilización del software ArcGis para su cálculo y generación de mapas. Teniendo en cuenta la aplicación de la siguiente ecuación:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde:

$\lambda$  : Longitud de la pendiente (m).

s : Pendiente del terreno (%)

m : exponente del factor de la longitud de la pendiente

El procesamiento para el cálculo del factor L, con la ayuda del ArcGis 10.3, se utilizó la siguiente expresión:

Para el factor F:



$$\left( \frac{\sin(\text{"slope"} * 0.01745)}{0.0896} / (3 * \text{Power}(\sin(\text{"slope"} * 0.01745), 0.8) + 0.56) \right)$$

Para el factor m:

$$\text{FACTOR F}^{\frac{1}{1 + \text{FACTOR F}}}$$

Para el factor L:

$$\left( \text{Power}(\text{"flow acum"} + 900, (\text{"Factor M"} + 1)) - \text{Power}(\text{"Flow acum"}, (\text{"Factor M"} + 1)) \right)$$

El procesamiento para el cálculo del factor S, con la ayuda del ArcGis 10.3, se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Con}(\text{Tan}(\text{"slope"} * 0.017745) < 0.09), (10.8 * \sin(\text{"slope"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \sin(\text{"slope"} * 0.01745) - 0.5))$$

#### **D. Cálculo de Factor de manejo de cobertura (C)**

Se determinará el índice de vegetación normalizado (NDVI) utilizando la relación de bandas del satélite Landsat 8. Las relaciones propuestas por Bastianssen (1998) y Van Dijk (2002), Seran usadas para determinar el NDVI, índice de área foliar (IAF) y la fracción de la superficie del terreno cubierto por vegetación.

#### **E. Cálculo de factor de prácticas de control (P)**

Se realizará visita de campo en la zona de la cuenca para verificar la existencia de practica de conservación de suelos.

**Tabla 7***Clasificación de erosión potencial hídrica*

Nivel - erosión	Rango EPH tn / ha / año
Catastrófica	>200
Muy alto	50-200
Severa	15-50
Moderada	5-15
Ligera	0.5-5
Normal	<0.5

*Fuente: (Álvarez, 2020)*

### 3.4.3. Determinación del coeficiente de entrega de sedimentos que ingresan al embalse

#### 3.4.3.1. Ajuste de altura superficie

Para el ajuste de la curva de altura - superficie se empleará el método de regresión logarítmica que se muestra a continuación:

$$H = aA^b$$

$$\log H = \log a + b * \log A$$

La cual será ajustada mediante el método de mínimos cuadrados como se muestra a continuación:

$$\sum \log H = n * \log a + b * \sum \log A$$
$$\sum \log A * \log H = \log a * \sum \log A + b * \sum (\log A)^2$$



Lográndose ajustar la altura del embalse con respecto al área acumulada.

### 3.4.3.2. Ajuste Altura volumen

Para el ajuste de la curva de Altura - volumen se empleará el método de regresión logarítmica que se muestra a continuación:

$$H = cV^d$$
$$\log H = \log c + d * \log V$$

La cual será ajustada mediante el método de mínimos cuadrados como se muestra a continuación:

$$\sum \log H = n * \log c + d * \sum \log V$$
$$\sum \log V * \log H = \log c * \sum \log V + d * \sum (\log V)^2$$

Lográndose ajustar El volumen acumulado del embalse con respecto a la altura.

### 3.4.3.3. Tasa y peso erosionado de la presa

La determinación de la tasa de erosión se consideró el método de USLE, para toda la cuenca, determinándose factores como erosividad, erodabilidad, longitud de pendiente, inclinación de pendiente, cobertura vegetal y conservación de suelos, los resultados se obtendrán en toneladas por hectárea por año ( $tn*ha^{-1}año^{-1}$ ), considerándose un tiempo de vida útil de 50 años.

#### 3.4.3.4. Coeficiente de entrega de sedimento

El coeficiente de entrega de sedimentos se consideró de la cuenca, el perímetro, la pendiente del río principal y el coeficiente de bifurcación.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$CES = 36 * A^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \log BR$$

Donde:

CES : Coeficiente de entrega de sedimentos (%)

A : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

BR : Coeficiente de bifurcación

#### A. Coeficiente de bifurcación (BR)

Se determina en función del número de los cauces de la zona de estudio y la relación de bifurcación de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$BR = \frac{\sum (R_B * N_{ci})}{\sum N_{ci}}$$

$$R_B = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Donde:

N<sub>ci</sub> : número de cauces involucrados en el cálculo

RB : relación de bifurcación

N<sub>n</sub> : número de cauces de orden “n”

N<sub>n+1</sub> : número de cauces de orden “n+1”

### 3.4.4. Determinación del volumen de sedimentos que se generaran en los próximos 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapancota.

#### 3.4.4.1. Factor de retención de sedimentos (Rs)

Para la determinación del factor de retención de sedimentos se utiliza el método de Brown, que relaciona la capacidad del embalse y el área de la cuenca. De acuerdo a la siguiente formula:

$$R_s = 100 * \left[ 1 + \frac{1}{1 + 2100 * \frac{K * C}{A}} \right]$$

Donde:

C: Capacidad del embalse (millones de m<sup>3</sup>)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### 3.4.4.2. Grado de compactación de sedimentos

Para el cálculo del grado de compactación de sedimentos se utiliza el criterio de Miller, que relaciona el peso específico en un determinado tiempo con el peso específico inicial medido al final del primer año. De acuerdo a la siguiente formula:

$$\delta_t = \delta_o + 0.4343 * K * \left[ \frac{t}{t-1} * \ln t - 1 \right]$$

Donde:

$\delta_t$ : Peso específico de los sedimentos en t años de compactación (kg/m<sup>3</sup>)

$\delta_o$ : Peso específico inicial, es decir, al final del primer año (kg/m<sup>3</sup>)



### 3.4.4.3. Volumen muerto

El volumen muerto es calculado en función del peso erosionado, el coeficiente de entrega de sedimentos, el factor de retención y el grado de compactación de sedimentos. De acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{muerto} = \frac{Peso_{erosionado} * CES * R_s}{\delta_t}$$

El peso erosionado es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$Peso_{erosionado} = Tasa\ de\ erosión * Área * Vida\ útil$$



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan de acuerdo a los objetivos planteados de la presente investigación:

#### **4.1. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSION HIDRICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO USLE**

##### **4.1.1. Factor de agresividad de la lluvia R**

El factor de erosión ocasionado por la lluvia en la cuenca del río Sapancota, es una variable obteniéndose un resultado cuyos valores en promedio varían de 779 a 839 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el régimen de lluvias que se registran se caracteriza por su variabilidad temporal y espacial de mayor frecuencia e intensidad entre los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, mientras que el resto del año es bajo considerándose casi nula en los meses de junio a agosto.

En la Tabla 08, mostramos los valores de precipitación media mensual según la metodología propuesta, en donde esta estación Llally tiene la más alta precipitación.

**Tabla 8***Precipitación media mensual (mm)*

	<b>Estación Lampa</b>	<b>Estación Llally</b>	<b>Estación Ayaviri</b>	<b>Estación Pucara</b>
<b>Tipo</b>	CO	CO	CO	CO
<b>X</b>	352872.2	297155.2	328632.3	354971.9
<b>Y</b>	8301746	8347834	8355146	8336954
<b>Altitud</b>	3892	3980	3928	3910
<b>ENER.</b>	155.3	173.8	144.3	155.5
<b>FEB.</b>	137.3	154.7	122.6	128.2
<b>MAR.</b>	113.6	141.9	104.3	119.3
<b>ABRL.</b>	45.7	52.8	45.1	50.8
<b>MAY.</b>	7.2	9.3	7.1	8.4
<b>JUN.</b>	3.8	2.4	3.7	5.2
<b>JUL.</b>	1.7	2.9	2.1	2.9
<b>AGOT.</b>	8.4	9.4	8	8.9
<b>SET.</b>	21.2	19.6	15	22.4
<b>OCT.</b>	44.6	47	45	57.8
<b>NOV.</b>	64.1	62.8	63.3	67.3
<b>DIC.</b>	110.8	124.7	101.5	117.9
<b>TOTAL</b>	713.8	801.2	662	744.5

Fuente: SENAMHI (2020)

En la Tabla 09, se muestra los valores al cuadrado de la precipitación mensual, durante los 12 meses del año.

**Tabla 9***Cuadrado de precipitación media mensual*

	Estación Lampa	Estación Llally	Estación Ayaviri	Estación Pucara
<b>ENER.</b>	24124.6	30201.5	20826.5	24169.2
<b>FEB.</b>	18841	23916.6	15041.1	16436.8
<b>MAR.</b>	12897.4	20138	10878.5	14234.5
<b>ABRL.</b>	2092.7	2786.7	2030.4	2576.6
<b>MAY.</b>	52.1	86.8	49.8	69.8
<b>JUN.</b>	14.5	5.7	14	26.7
<b>JUL.</b>	2.8	8.2	4.5	8.2
<b>AGOT.</b>	70.7	88.6	63.9	79
<b>SET.</b>	451.2	382.3	225.7	503.6
<b>OCT.</b>	1986.7	2212.2	2022.1	3338.6
<b>NOV.</b>	4109.6	3944.2	4002.3	4529.9
<b>DIC.</b>	12283.7	15551.5	10302.7	13909.4
<b>TOTAL</b>	76926.9	99322.2	65461.6	79882.4

En la tabla 10, se muestra los valores del índice de Fournier varía de 98 a 107, para las cuatro estaciones que están fuera y dentro de la cuenca del río Sapancota.

**Tabla 10***Valores de índice de Fournier total*

Estación	F
Estación Lampa	107.777698
Estación Llally	123.966603
Estación Ayaviri	98.8852271
Estación Pucara	107.299264



Por otro lado, en la tabla 11, se muestra los valores de del factor R ajustado a una intensidad de precipitación de 30 minutos, según la metodología planteada en este estudio, los valores varia de 601.5 a 1158 ((MJ.mm)/ (ha. h.)).

**Tabla 11**

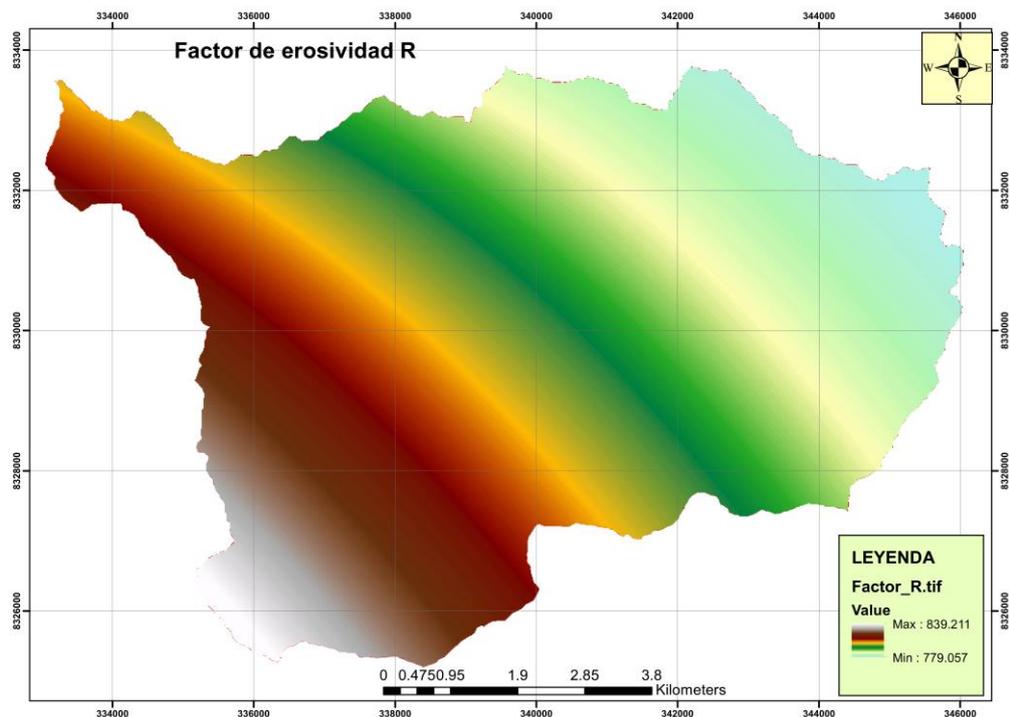
*Valores de Reajustado*

Estaciones	X	Y	Altitud	R_ajust
Estación Ayaviri	328632.3	8355146.0	3928	601.5
Estación Lampa	352872.2	8301746.0	3892	758.8
Estación Llally	297155.2	8347833.6	3980	1158.3
Estación Pucara	354971.9	8336954.2	3910	776.8

La figura 09, muestra la variabilidad espacial de los valores del factor de erosividad R de lluvia, cuya representación espacial de mapa ha sido elaborado mediante el análisis espacial de sistemas de información geográfica y con una resolución espacial de 12.50 m por celda.

**Figura 9**

*Factor R, agresividad de lluvia*



Según Mamani et al., (2021), en el estudio de erosividad de lluvia en la localidad de Juliaca determinó que el factor R varía de 100.78 a 6958.59 MJ.mm/ha.h.año, por otro lado, en el estudio de pérdida de suelo en la erosión hídrica en la comunidad de San Francisco determinó que el R varía de 121.82 a 151.25 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Condori, 2018).

#### **4.1.2. Factor de erodabilidad del suelo K**

Aplicando la fórmula de Williams & Berndt (1977), se obtuvo los siguientes valores del factor de erodabilidad K.

**Tabla 12**

*Datos obtenidos del factor K*

Tipo de suelo	Parámetro relacionado con la arena			Carbono orgánico	Arena	Limo arcilla	Carbono orgánico	Parámetro relacionado con la arena		
	Arena	Limo	Arcilla					F	K	
Soil unit symbol	Sand % topsoil	Silt % topsoil	Clay % topsoil	OC % topsoil	Fcsand	Fcl-si	Forg	Fhisand	K	
I	58.9	16.2	24.9	0.97	0.285	0.756	0.927	1.000	0.200	<b>0.026</b>
TV2	42.5	39.7	18	2.3	0.356	0.894	0.755	1.000	0.240	<b>0.032</b>
TV3	40	35	25	3	0.354	0.851	0.750	1.000	0.226	<b>0.030</b>

Nota. En esta tabla se muestra los datos obtenidos del factor K.

Los datos calculados en Excel fueron importados a la tabla de atributos del mapa “SOIL UTM.shp”, este mapa se convirtió en formato ráster, utilizando las herramientas del módulo de conversión “tools” y “poligon to raster”.

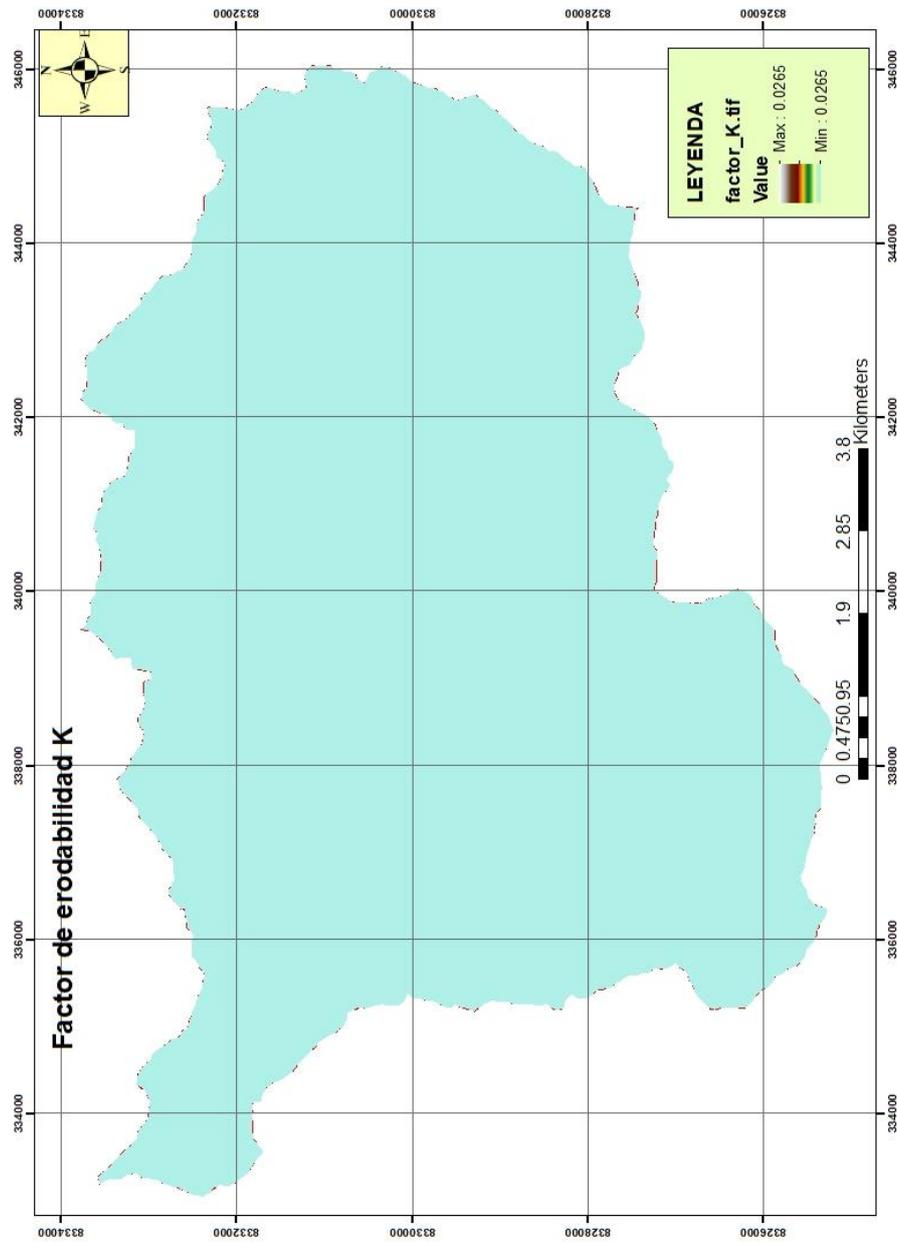
En la cuenca de estudio, el valor del factor K es de  $0.0265 \text{ MJ.mm.tn}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , que corresponde a arenas aluviales, para suelos moderadamente susceptibles al desprendimiento.

En la figura 10, se muestran los valores de K, que constituye la erodabilidad del suelo. La estructura principal de la cuenca es arena franca y la a relación arena con limo, del área total de la cuenca.

Teóricamente, los suelos son moderadamente susceptibles a la erosión si su composición no contiene partículas aglomeradas. Comparando los resultados y según la clasificación USDA (1987), las muestras contenían muy poca arcilla, lo que hace que estos suelos sean moderadamente susceptibles a la erosión y son suelos arenosos de textura rugosa.

**Figura 10**

*Mapa de factor de erodabilidad K del suelo*



Nota. Esta figura muestra los valores del factor K, que constituye la erodabilidad del suelo.



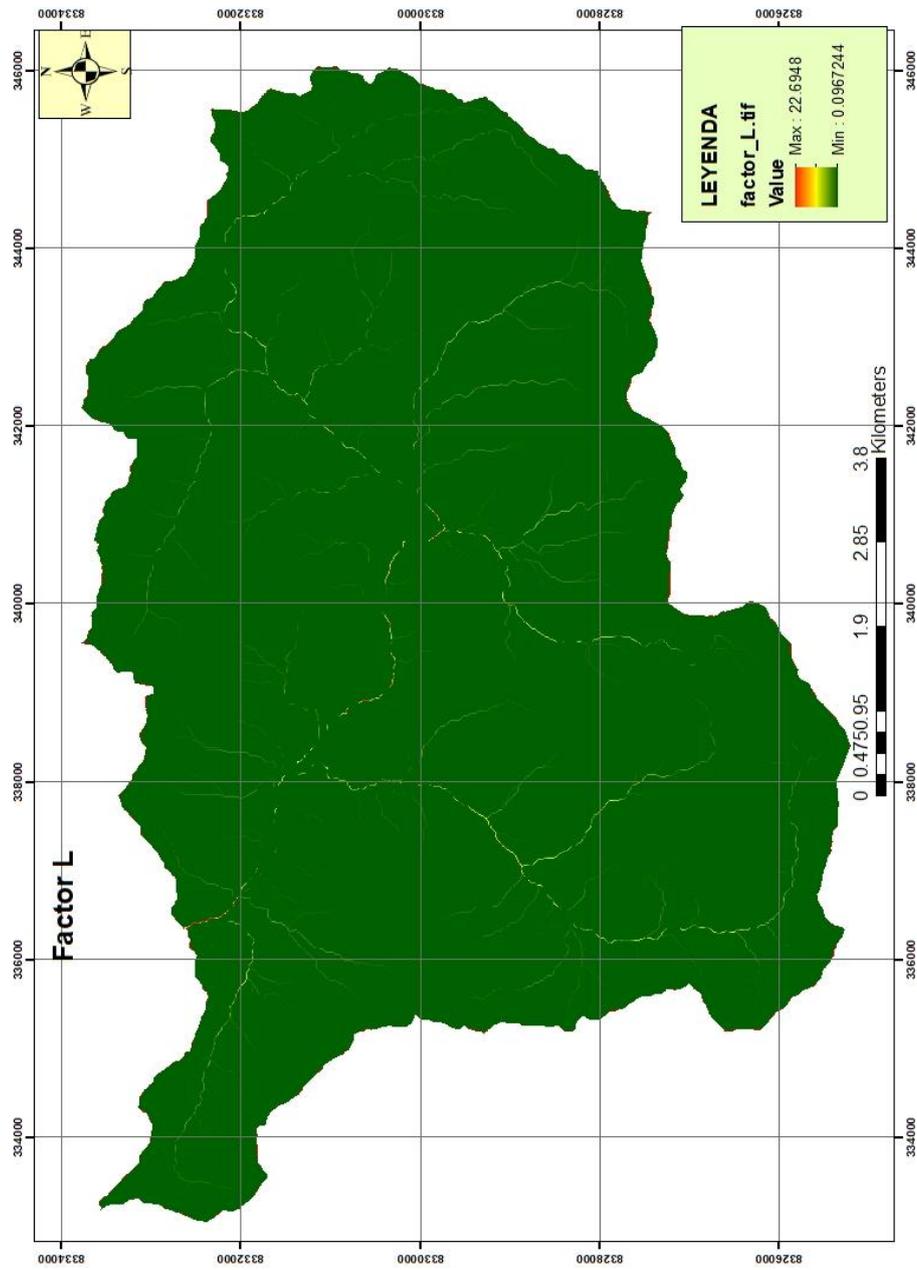
Condori (2018) en el estudio de factor de erodabilidad K en la comunidad de San Francisco de Chañajari, determinó el factor K varia de 0.458 a 1.276 t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>, por otro lado, en nuestro análisis estaría debajo de ese rango, en esta zona está cubierta por pastizales y pajonales, lo que influye que el factor K sea menor.

#### **4.1.3. Factor longitud pendiente e inclinación de pendiente L**

El factor L se determinó utilizando el software de Sistema de Información Geográfica, considerando pendiente en radianes. El mapa de longitud de pendiente (figura 11), muestra que los valores más altos se encuentran al borde del río, en la zona media se tiene una pendiente bastante suave, el mapa de longitud y pendiente muestran los cambios del terreno y su impacto en los procesos de erosión hídrica, los valores de longitud pendiente varían de 0.096 a 22.69.

**Figura 11**

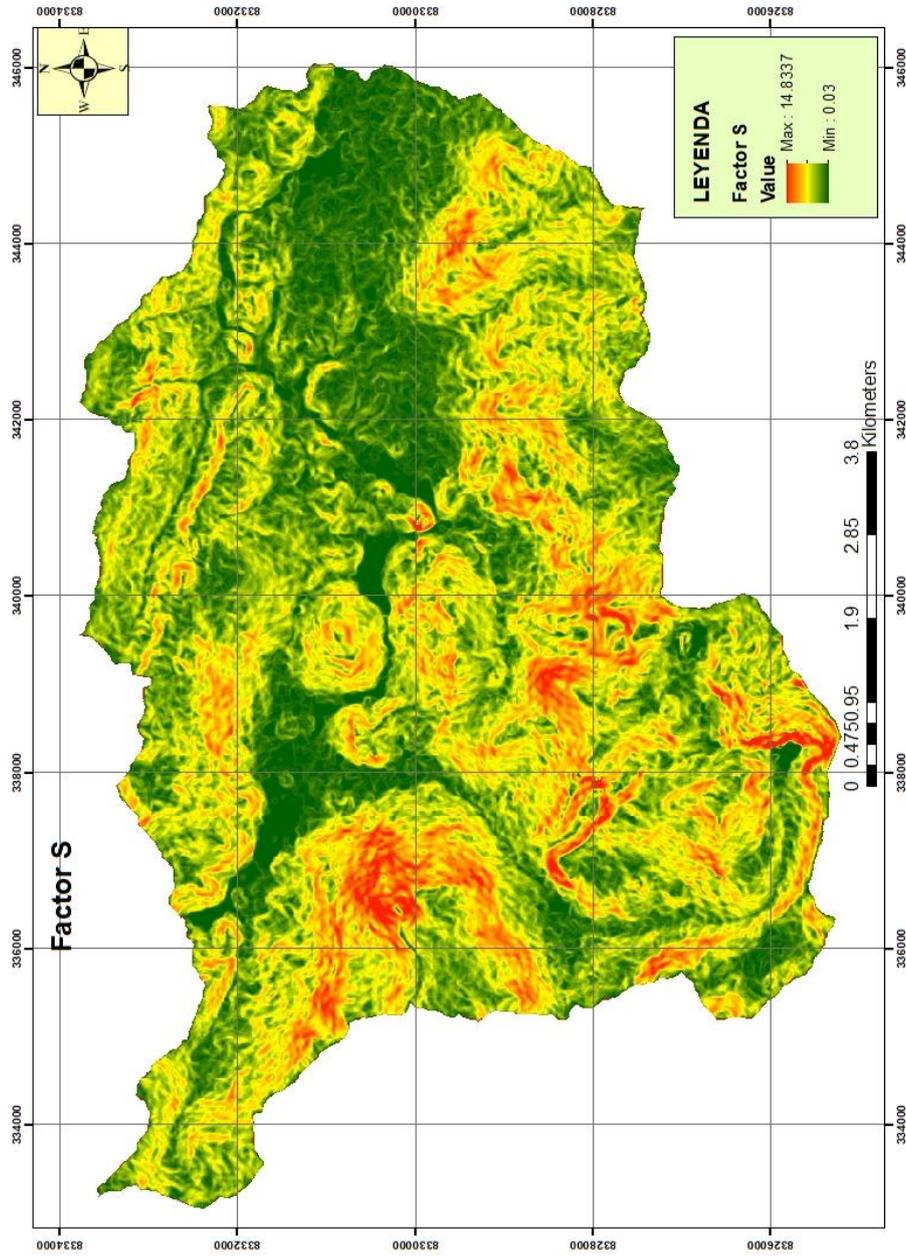
*Mapa del factor de longitud de pendiente (L)*



Nota. La figura representa la variación espacio al de longitud de pendiente en la cuenca del río Sapancota.

Figura 12

*Factor de inclinación de pendiente (S).*



Nota. La figura representa la variación espacial de inclinación pendiente en la cuenca Sapankota, cuyos valores son de 0.030 a 14.83 en radianes.

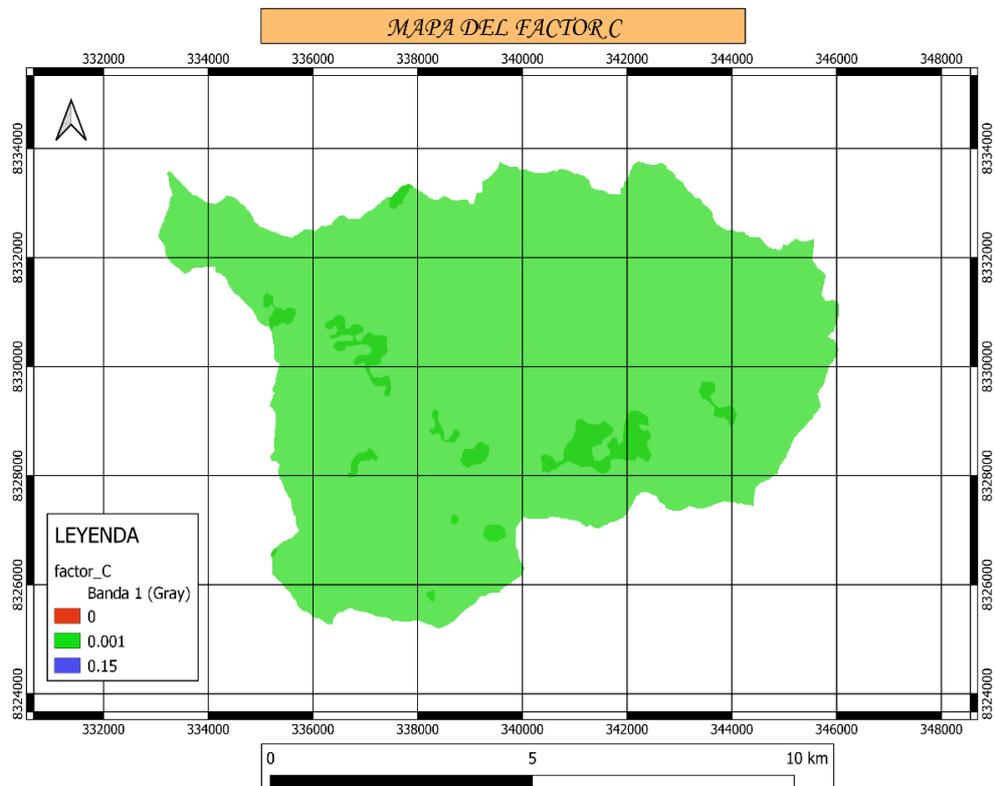
#### 4.1.4. Factor de manejo de cobertura C

El factor C, se refiere a la protección que la cobertura vegetal proporciona al suelo al interceptar las gotas de precipitación pluvial y detener su energía de impacto y de escorrentía disminuyendo la cantidad de erosión. Los valores del factor C se obtuvieron los valores de la tabla 2, obteniendo el mapa con la distribución espacial del factor C (figura 13) a partir del mapa de cobertura y uso.

Para manejo de cobertura, los valores obtenidos varían de 0.0 a 0.15, obteniéndose los valores más altos en tierras de cultivo, valles y humedales.

**Figura 13**

*Factor de manejo de cobertura C.*



Nota. Esta figura muestra la variación espacial de manejo de manejo de cobertura.

Estos resultados tienen relación con los de Condori (2018), donde el factor de erosión pluvial (R) oscila entre 121.82 y 151.25 MJ mm t<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>; el factor de erosión (K) varía de 0.458 a 1.276MJ mm t<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>.

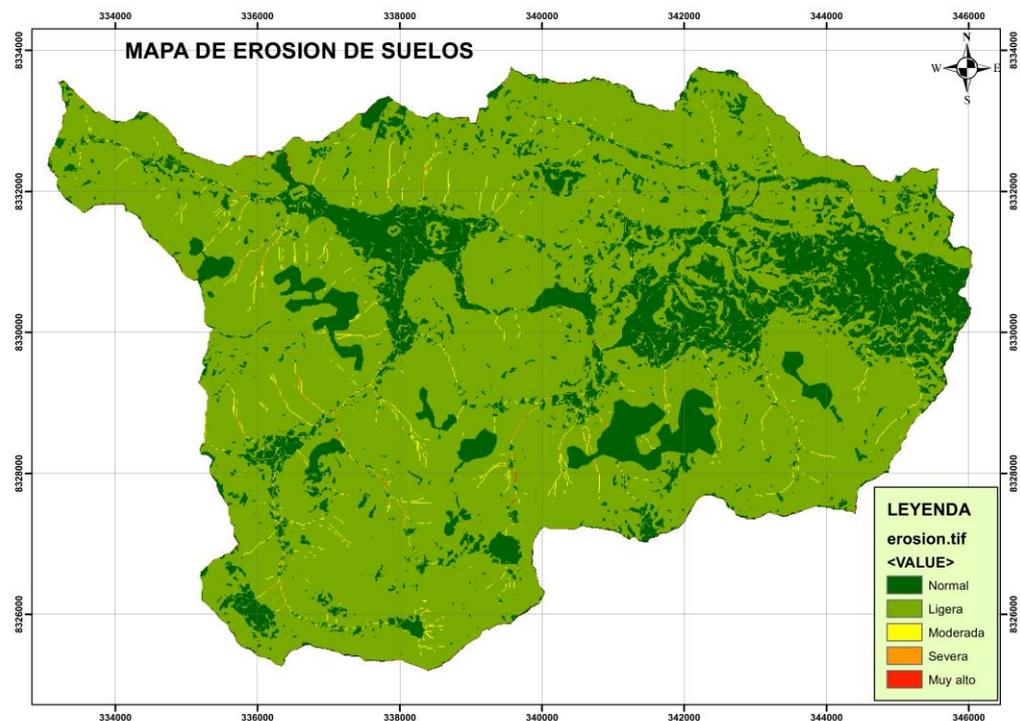
Además, el factor de cobertura vegetal (C) varía de 0.001 a 0.15; estos valores también se asemejan a Condori (2018).

#### 4.1.5. Cálculo de pérdida de suelo por erosión hídrica

La erosión y pérdida de suelo se muestran en la figura 14, los valores encontrados aplicando la Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo por la acción erosiva de las precipitaciones pluviales.

**Figura 14**

*Pérdida de suelo por erosión hídrica*



Nota. La figura representa la erosión ocasionada en la cuenca del río Sapancota.

Valores de pérdida de suelo por erosión hídrica oscilan entre 0 y 188.73 tn/ha/año, estos resultados se asemejan a Condori (2018), donde obtuvo una erosión de 49 a 201 tn ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, nuestro resultado se encuentra dentro del rango.

#### 4.1.6. Clasificación de la erosión hídrica

Los resultados de la erosión hídrica, se han clasificado según la tabla 05, de los cuales podemos mencionar que esta clasificación lo realiza en 06 clases, variando de normal hasta Catastrófica.

Según la tabla 13, se muestra la clasificación del nivel de erosión en el área del ámbito del embalse Sapancota, lo cual podemos visualizar que la que mayor representa es el de erosión normal y ligera constituyéndose 1408.3 y 5439.1 ha respectivamente, esto se concluye que en la cuenca respectiva la erosión no es muy representativa. Por lo tanto, con estos resultados se calculó el volumen muerto del embalse Sapancota, también la altura de sedimentación en una vida útil de 50 años.

**Tabla 13**

*Clasificación del nivel de erosión cuenca Sapancota*

Nivel de erosión	Rango (tn.ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Área (Has)
Catastrófica	>200	0
Muy alto	50-200	16.6
Severa	15-50	11.2
Moderada	5-15	59.6
Ligera	0.5-5	5439.1
Normal	<0.5	1408.3



La erosión en la cuenca, varía de nivel de erosión normal a muy alto, y no habiendo una erosión catastrófica. la mayor parte ocupa el nivel de erosión ligera con un área de 5439.1 has, mientras el nivel de erosión normal ocupa un área de 1408.3 has, el nivel de erosión moderada ocupa un área de 59.6 has, nivel de erosión severa ocupa un área de 11.2 has, finalmente nivel de erosión muy alto ocupa un área de 16.6 has.

#### **4.1.7. Tasa de erosión hídrica anual**

Para una vida útil de 50 años, teniendo el área de la cuenca Sapancota 69.43 km<sup>2</sup> (6943 ha) y un peso erosionado total de 348,898.23 tn., según modelo USLE se obtuvo la tasa de erosión hídrica 1.005 tn. ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Lo cual es similar a lo calculado por Alemaw et al. (2013), para cuencas con pendiente baja a moderada, refiriendo que este parámetro es útil para estimar la vida útil de las presas y planificar medidas de control de sedimentación.

## **4.2. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS QUE INGRESAN AL EMBALSE**

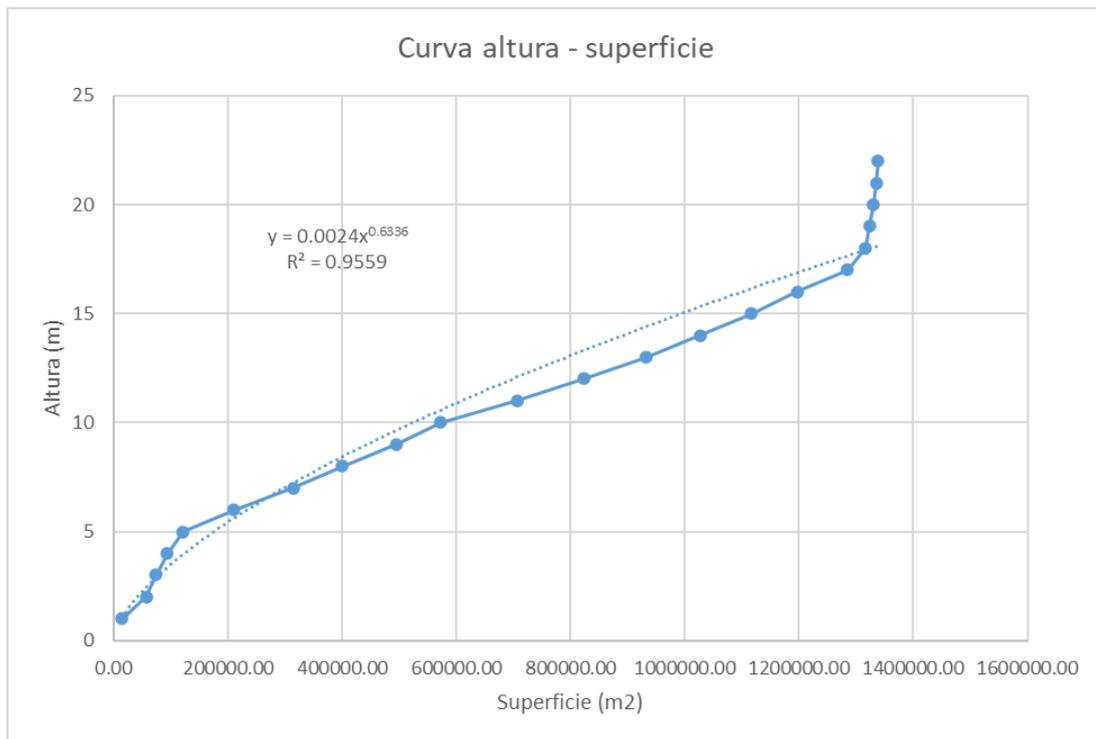
El embalse Sapancota, según los datos topográficos proporcionado por PRORRIDRE (2023) puede almacenar hasta 24,184,356.66 m<sup>3</sup>, en la tabla 14 se puede visualizar que la cota varía de 4114.44 msnm hasta 4141.67, y las áreas parciales son de 248 m<sup>2</sup> hasta 134393 m<sup>2</sup>.

**Tabla 14***Almacenamiento Embalse Sapancota.*

<b>Altura de la presa</b>	<b>Cota</b>	<b>Área parcial (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen parcial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen acumulado (m<sup>3</sup>)</b>
0	4114.44	1677.00	1677.00	0.00	0.00
1	4115.32	12990.00	14667.00	6288.93	6288.93
2	4116.09	42548.00	57215.00	25656.97	31945.90
3	4117.01	17147.00	74362.00	60694.65	92640.56
4	4117.96	19228.00	93590.00	79762.77	172403.33
5	4118.90	28177.00	121767.00	100244.18	272647.51
6	4119.90	89285.00	211052.00	164550.71	437198.23
7	4120.63	103302.00	314354.00	191550.29	628748.51
8	4121.45	86327.00	400681.00	291714.69	920463.20
9	4122.27	94613.00	495294.00	365902.75	1286365.95
10	4123.14	77017.00	572311.00	467536.67	1753902.63
11	4124.06	134393.00	706704.00	584866.91	2338769.53
12	4124.94	116014.00	822718.00	670986.34	3009755.88
13	4125.84	109503.00	932221.00	788319.42	3798075.30
14	4126.69	94382.00	1026603.00	834934.76	4633010.06
15	4127.60	89794.00	1116397.00	974101.04	5607111.10
16	4128.44	80541.00	1196938.00	976530.73	6583641.84
17	4129.28	88366.00	1285304.00	1039431.59	7623073.43
18	4129.96	31697.00	1317001.00	886119.95	8509193.38
19	4131.02	6623.00	1323624.00	1397016.60	9906209.98
20	4131.95	6527.00	1330151.00	1227803.57	11134013.54
21	4132.81	4900.00	1335051.00	1156534.16	12290547.70
22	4133.68	3231.00	1338282.00	1157958.65	13448506.36
23	4134.56	2531.00	1340813.00	1177690.44	14626196.80
24	4135.42	1851.00	1342664.00	1154980.50	15781177.30
25	4136.23	1311.00	1343975.00	1087289.38	16868466.68
26	4137.16	858.00	1344833.00	1249347.36	18117814.04
27	4138.01	702.00	1345535.00	1149237.66	19267051.70
28	4138.93	432.00	1345967.00	1232984.95	20500036.65
29	4139.81	352.00	1346319.00	1179867.69	21679904.34
30	4140.67	242.00	1346561.00	1167389.94	22847294.28
31	4141.67	248.00	1346809.00	1337062.38	24184356.66

**Figura 15**

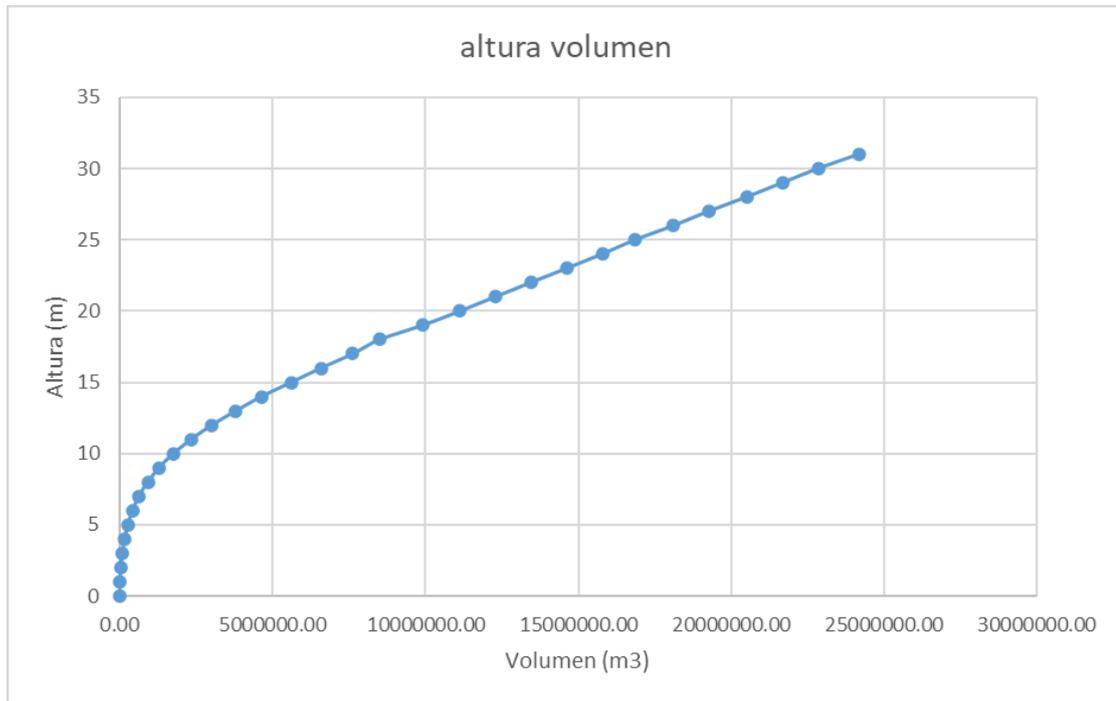
*Altura y superficie de la presa*



En la Figura 15, se puede observar la curva de la altura y la superficie acumulada en la presa Sapancota, en donde la relación de ambos datos tiene una correlación de 0.95, se ajusta a una curva exponencial.

**Figura 16**

*Altura y volumen de la presa*



En la Figura 16, podemos señalar que es una gráfica de relación altura y volumen acumulado, en donde en las primeras alturas la pendiente de la curva es pronunciada, conforme va aumentando la altura la pendiente de la curva es mucho menos inclinada, sabiendo que la cuenca de aporte al embalse, es casi redondeada.

#### **4.2.1. Ajuste de altura superficie**

Para el ajuste de la altura y la superficie se utilizó las ecuaciones de mínimos cuadrados, partiendo de logaritmo de áreas, logaritmo de alturas H, de lo cual ambos logaritmos se elevaron al cuadrado, finalmente obteniendo el área de ajuste. En la Tabla 15, podemos visualizar que el área acumulada ajustada tiene una variación desde 0 hasta 103,092,869.87 m<sup>2</sup>.

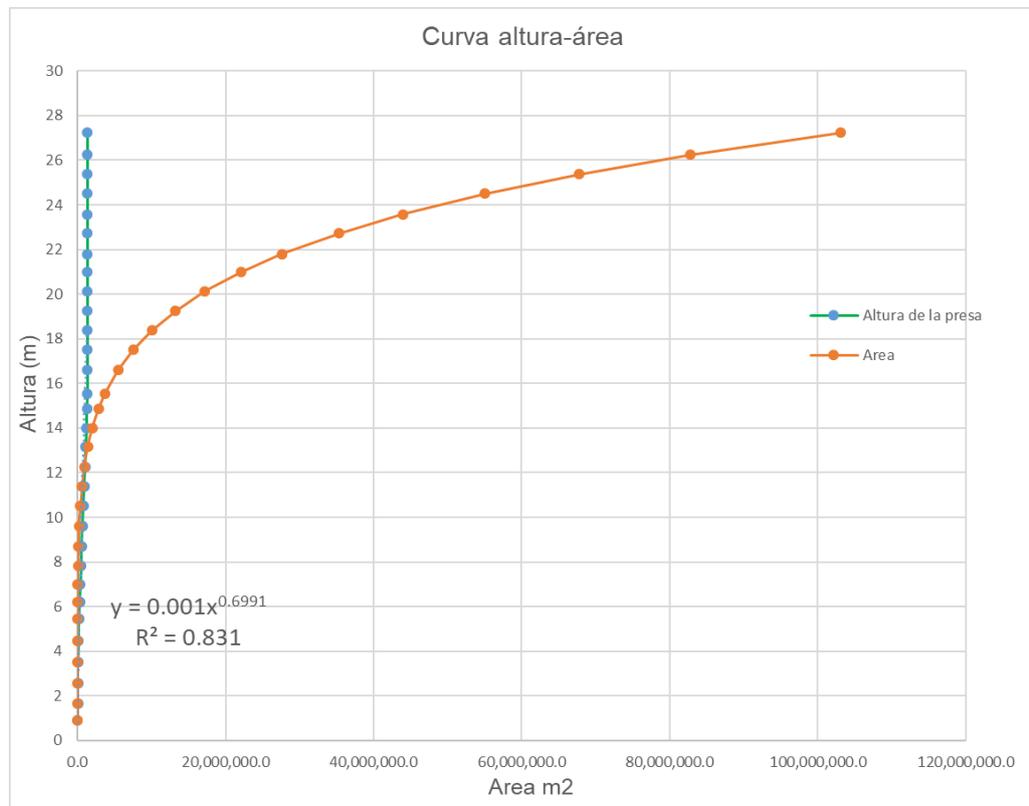
**Tabla 15**

*Ajuste altura y superficie de la presa*

n	A (m <sup>2</sup> )	Altura (H)	logA	logH	(logA) <sup>2</sup>	(logH) <sup>2</sup>	logA*logH	A ajust. (m <sup>2</sup> )
0	1,677.00	0	0	0	0	0	0	0
1	14,667.00	0.88562	4.166	-0.053	17.358	0.003	-0.22	0.16
2	57,215.00	1.6488382	4.758	0.217	22.634	0.047	1.033	6.36
3	74,362.00	2.5740406	4.871	0.411	23.73	0.169	2	88.9
4	93,590.00	3.5259551	4.971	0.547	24.713	0.3	2.721	572.65
5	121,767.00	4.4595885	5.086	0.649	25.863	0.422	3.302	2,300.44
6	211,052.00	5.4606502	5.324	0.737	28.349	0.544	3.925	7,628.72
7	314,354.00	6.1945769	5.497	0.792	30.222	0.627	4.354	16,093.88
8	400,681.00	7.0125164	5.603	0.846	31.391	0.716	4.739	33,536.09
9	495,294.00	7.8308115	5.695	0.894	32.431	0.799	5.09	64,456.03
10	572,311.00	8.7074336	5.758	0.94	33.15	0.883	5.412	120,799.81
11	706,704.00	9.6236826	5.849	0.983	34.214	0.967	5.752	218,417.01
12	822,718.00	10.501964	5.915	1.021	34.99	1.043	6.041	366,284.39
13	932,221.00	11.400949	5.97	1.057	35.635	1.117	6.309	595,633.42
14	1,026,603.00	12.253765	6.011	1.088	36.137	1.184	6.542	912,927.98
15	1,116,397.00	13.163131	6.048	1.119	36.576	1.253	6.77	1,394,697.26
16	1,196,938.00	14.007564	6.078	1.146	36.943	1.314	6.968	2,015,271.94
17	1,285,304.00	14.845235	6.109	1.172	37.32	1.373	7.157	2,842,211.86
18	1,317,001.00	15.526279	6.12	1.191	37.449	1.419	7.289	3,706,595.32
19	1,323,624.00	16.584376	6.122	1.22	37.476	1.488	7.467	5,476,059.93
20	1,330,151.00	17.509703	6.124	1.243	37.502	1.546	7.614	7,551,861.80
21	1,335,051.00	18.37758	6.125	1.264	37.522	1.598	7.744	10,056,007.79
22	1,338,282.00	19.243884	6.127	1.284	37.535	1.649	7.868	13,208,297.46
23	1,340,813.00	20.123054	6.127	1.304	37.545	1.7	7.988	17,206,681.99
24	1,342,664.00	20.983863	6.128	1.322	37.552	1.747	8.1	22,048,890.68
25	1,343,975.00	21.793268	6.128	1.338	37.557	1.791	8.202	27,586,038.91
26	1,344,833.00	22.722563	6.129	1.356	37.561	1.84	8.313	35,321,886.77
27	1,345,535.00	23.576898	6.129	1.372	37.563	1.884	8.412	43,947,460.71
28	1,345,967.00	24.493104	6.129	1.389	37.565	1.929	8.513	55,074,200.59
29	1,346,319.00	25.369584	6.129	1.404	37.566	1.972	8.607	67,817,241.07
30	1,346,561.00	26.236604	6.129	1.419	37.567	2.013	8.697	82,743,653.02
30	1,346,809.00	27.229458	6.129	1.435	37.568	2.059	8.796	103,092,869.87
		<b>Σ</b>	<b>179.485</b>	<b>32.11</b>	<b>1047.186</b>	<b>37.395</b>	<b>191.506</b>	

**Figura 17**

*Ajuste altura y área de la presa*



En la Figura 17, muestra la variación de la altura y el área ajustada de la presa de Sapancota, además, se presenta una curva más homogénea sin presencia de muchas variaciones.

#### 4.2.2. Ajuste altura volumen

En la Tabla 16, podemos visualizar el ajuste de altura y el volumen acumulado de la Presa, para ello se ha utilizado el ajuste a través de mínimos cuadrados, obteniéndose valores de ajuste acumulado de 0 hasta 929,389,777.68 m<sup>3</sup>.

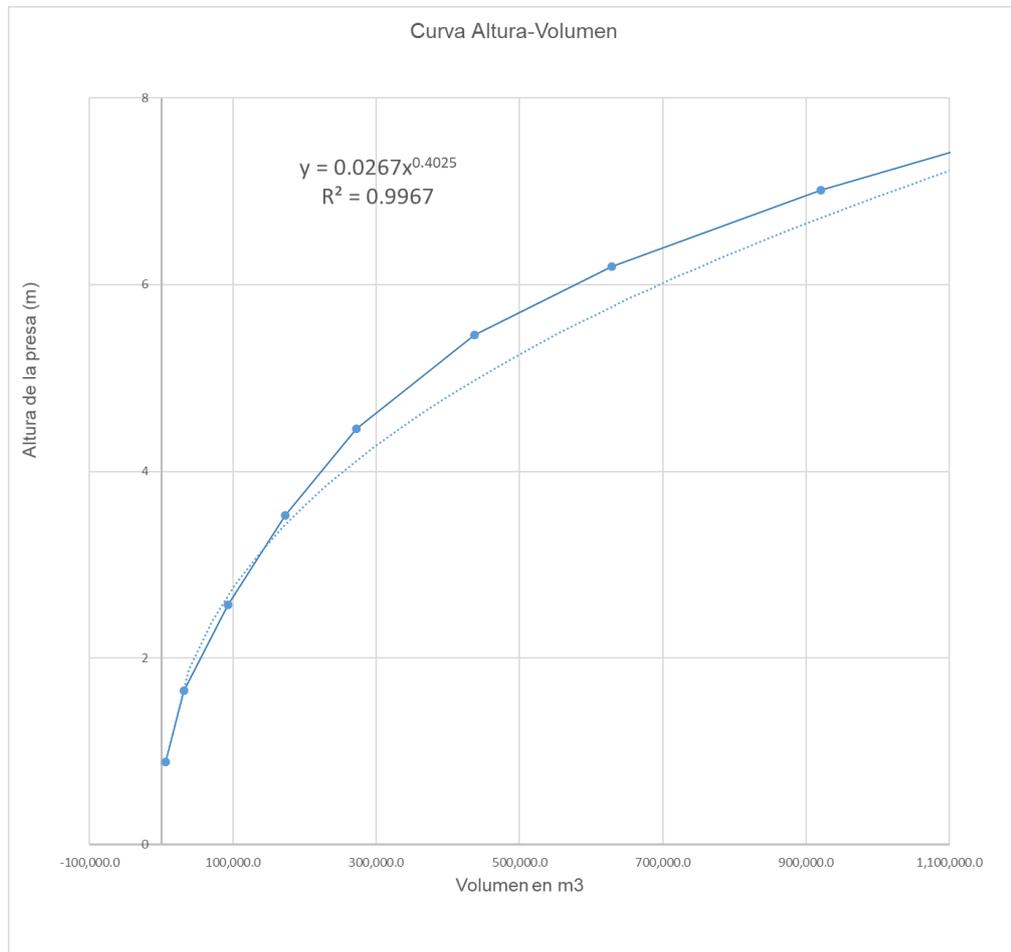
**Tabla 16**

*Ajuste altura y volumen de la presa*

<b>n</b>	<b>V (acum)</b>	<b>H</b>	<b>logV</b>	<b>logH</b>	<b>(logV)<sup>2</sup></b>	<b>(logH)<sup>2</sup></b>	<b>logV*logH</b>	<b>vol. Ajustado</b>
0	0.00	0	0	0	0	0	0	<b>0.00</b>
1	6,288.93	0.88562	3.799	-0.053	14.429	0.003	-0.200	<b>0.08</b>
2	31,945.90	1.648838	4.504	0.217	20.290	0.047	0.978	<b>5.23</b>
3	92,640.56	2.574041	4.967	0.411	24.669	0.169	2.039	<b>106.82</b>
4	172,403.33	3.525955	5.237	0.547	27.421	0.300	2.866	<b>900.37</b>
5	272,647.51	4.459589	5.436	0.649	29.546	0.422	3.529	<b>4,420.77</b>
6	437,198.23	5.46065	5.641	0.737	31.817	0.544	4.159	<b>17,429.13</b>
7	628,748.51	6.194577	5.798	0.792	33.622	0.627	4.592	<b>40,951.90</b>
8	920,463.20	7.012516	5.964	0.846	35.569	0.716	5.045	<b>94,872.79</b>
9	1,286,365.95	7.830811	6.109	0.894	37.324	0.799	5.461	<b>200,374.84</b>
10	1,753,902.63	8.707434	6.244	0.940	38.988	0.883	5.869	<b>411,165.07</b>
11	2,338,769.53	9.623683	6.369	0.983	40.564	0.967	6.263	<b>809,763.00</b>
12	3,009,755.88	10.50196	6.479	1.021	41.971	1.043	6.616	<b>1,463,166.87</b>
13	3,798,075.30	11.40095	6.580	1.057	43.291	1.117	6.954	<b>2,552,282.69</b>
14	4,633,010.06	12.25376	6.666	1.088	44.434	1.184	7.254	<b>4,160,553.11</b>
15	5,607,111.10	13.16313	6.749	1.119	45.545	1.253	7.554	<b>6,757,020.98</b>
16	6,583,641.84	14.00756	6.818	1.146	46.491	1.314	7.816	<b>10,296,241.79</b>
17	7,623,073.43	14.84524	6.882	1.172	47.364	1.373	8.063	<b>15,259,892.65</b>
18	8,509,193.38	15.52628	6.930	1.191	48.023	1.419	8.254	<b>20,678,201.60</b>
19	9,906,209.98	16.58438	6.996	1.220	48.943	1.488	8.533	<b>32,319,651.22</b>
20	11,134,013.54	17.5097	7.047	1.243	49.655	1.546	8.761	<b>46,687,137.44</b>
21	12,290,547.70	18.37758	7.090	1.264	50.262	1.598	8.963	<b>64,791,474.16</b>
22	13,448,506.36	19.24388	7.129	1.284	50.818	1.649	9.155	<b>88,517,555.00</b>
23	14,626,196.80	20.12305	7.165	1.304	51.339	1.700	9.341	<b>119,799,403.96</b>
24	15,781,177.30	20.98386	7.198	1.322	51.813	1.747	9.515	<b>159,105,726.62</b>
25	16,868,466.68	21.79327	7.227	1.338	52.231	1.791	9.672	<b>205,603,697.88</b>
26	18,117,814.04	22.72256	7.258	1.356	52.680	1.840	9.845	<b>272,821,540.83</b>
27	19,267,051.70	23.5769	7.285	1.372	53.069	1.884	9.998	<b>350,318,330.78</b>
28	20,500,036.65	24.4931	7.312	1.389	53.462	1.929	10.156	<b>453,547,226.90</b>
29	21,679,904.34	25.36958	7.336	1.404	53.818	1.972	10.302	<b>575,518,920.82</b>
30	22,847,294.28	26.2366	7.359	1.419	54.152	2.013	10.442	<b>722,640,777.72</b>
31	24,184,356.66	27.22946	7.384	1.435	54.517	2.059	10.596	<b>929,389,777.68</b>
		<b>Σ</b>	<b>200.955</b>	<b>32.110</b>	<b>1328.118</b>	<b>37.395</b>	<b>218.393</b>	

**Figura 18**

*Ajuste altura y volumen de la presa*



#### 4.2.3. Tasa y peso erosionado de la presa

Según la Tabla 17, para una vida útil de 50 años con la variación en la tasa de pérdida de suelo de 0.25tn/ha/año a 188 tn/ha/año según los resultados utilizados en la metodología de USLE, se obtuvo el peso erosionado que varía de 73 tn a 146802tn.



**Tabla 17**

*Peso erosionado de la cuenca Sapancota*

Rowid	Tasa de perdida de suelo ton/ha/año	Área (ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Vida útil (años)	Peso erosionado (ton)
1	0.25	2742.5	27425468.0	27.4	50	34281.8
2	1	2936.0	29360468.0	29.4	50	146802.3
3	2	997.5	9975156.0	10.0	50	99751.6
4	3	147.0	1469687.5	1.5	50	22045.3
5	4	39.8	398281.3	0.4	50	7965.6
6	5	19.9	198906.3	0.2	50	4972.7
7	6	12.2	122343.8	0.1	50	3670.3
8	7	7.3	72500.0	0.1	50	2537.5
9	8	5.1	50625.0	0.1	50	2025.0
10	9	4.3	42968.8	0.0	50	1933.6
11	10	2.8	28437.5	0.0	50	1421.9
12	11	2.3	22656.3	0.0	50	1246.1
13	12	2.1	21250.0	0.0	50	1275.0
14	13	1.9	19062.5	0.0	50	1239.1
15	14	1.7	17187.5	0.0	50	1203.1
16	15	1.6	16250.0	0.0	50	1218.8
17	16	1.1	10625.0	0.0	50	850.0
18	17	0.9	9375.0	0.0	50	796.9
19	18	0.9	9375.0	0.0	50	843.8
20	19	0.7	6875.0	0.0	50	653.1
21	20	0.8	8125.0	0.0	50	812.5
22	21	0.6	6406.3	0.0	50	672.7
23	22	0.5	5000.0	0.0	50	550.0
24	23	0.3	2968.8	0.0	50	341.4
25	24	0.5	4843.8	0.0	50	581.3
26	25	0.4	4062.5	0.0	50	507.8
27	26	0.3	2500.0	0.0	50	325.0
28	27	0.4	3750.0	0.0	50	506.3
29	28	0.5	5156.3	0.0	50	721.9
30	29	0.2	1718.8	0.0	50	249.2
31	30	0.2	1562.5	0.0	50	234.4
32	31	0.2	1562.5	0.0	50	242.2
33	32	0.1	937.5	0.0	50	150.0
34	33	0.1	1093.8	0.0	50	180.5
35	34	0.1	1250.0	0.0	50	212.5
36	35	0.1	937.5	0.0	50	164.1
37	36	0.0	312.5	0.0	50	56.3
38	37	0.0	468.8	0.0	50	86.7
39	38	0.0	312.5	0.0	50	59.4
40	39	0.0	156.3	0.0	50	30.5
41	40	0.1	1093.8	0.0	50	218.8
42	41	0.1	1250.0	0.0	50	256.3



Rowid	Tasa de perdida de suelo ton/ha/año	Área (ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Vida útil (años)	Peso erosionado (ton)
43	42	0.1	781.3	0.0	50	164.1
44	43	0.1	625.0	0.0	50	134.4
45	44	0.0	468.8	0.0	50	103.1
46	45	0.0	312.5	0.0	50	70.3
47	46	0.0	468.8	0.0	50	107.8
48	47	0.0	468.8	0.0	50	110.2
49	48	0.0	468.8	0.0	50	112.5
50	49	0.0	156.3	0.0	50	38.3
51	50	0.1	937.5	0.0	50	234.4
52	51	0.0	312.5	0.0	50	79.7
53	52	0.0	468.8	0.0	50	121.9
54	53	0.1	937.5	0.0	50	248.4
55	54	0.1	625.0	0.0	50	168.8
56	55	0.0	468.8	0.0	50	128.9
57	57	0.0	156.3	0.0	50	44.5
58	58	0.0	156.3	0.0	50	45.3
59	59	0.0	312.5	0.0	50	92.2
60	60	0.0	468.8	0.0	50	140.6
61	61	0.0	468.8	0.0	50	143.0
62	63	0.0	312.5	0.0	50	98.4
63	65	0.0	156.3	0.0	50	50.8
64	67	0.0	156.3	0.0	50	52.3
65	70	0.1	781.3	0.0	50	273.4
66	71	0.0	156.3	0.0	50	55.5
67	72	0.0	468.8	0.0	50	168.8
68	73	0.0	156.3	0.0	50	57.0
69	74	0.0	156.3	0.0	50	57.8
70	76	0.0	156.3	0.0	50	59.4
71	77	0.0	156.3	0.0	50	60.2
72	78	0.0	312.5	0.0	50	121.9
73	80	0.0	156.3	0.0	50	62.5
74	81	0.0	312.5	0.0	50	126.6
75	83	0.0	156.3	0.0	50	64.8
76	86	0.0	156.3	0.0	50	67.2
77	94	0.0	156.3	0.0	50	73.4
78	96	0.0	156.3	0.0	50	75.0
79	99	0.0	156.3	0.0	50	77.3
80	118	0.0	156.3	0.0	50	92.2
81	131	0.0	156.3	0.0	50	102.3
82	133	0.0	156.3	0.0	50	103.9
83	157	0.0	156.3	0.0	50	122.7
84	160	0.0	156.3	0.0	50	125.0
85	170	0.0	156.3	0.0	50	132.8
86	182	0.0	156.3	0.0	50	142.2
87	188	0.0	312.5	0.0	50	293.8

Tabla 18, muestra los resultados de tasa de erosión en la cuenca de río Sapancota, según área de la cuenca y la vida útil de la presa.

**Tabla 18**

*Tasa de erosión total de 50 años de vida útil de la presa*

<b>Tasa de erosión</b>	1.00503596	tn/ha/año
<b>Área</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Vida útil</b>	50	Años
<b>Peso erosionado</b>	348898.235	Ton

#### 4.2.4. Coeficiente de entrega de sedimento

El coeficiente de entrega de sedimentos está en función de la pendiente del río principal y el coeficiente de bifurcación o coeficiente de ramificación. En esta investigación se tiene un pendiente del río principal de 0.007 m/m, la capacidad del embalse es 24184356.66 m<sup>3</sup>, área de la cuenca es de 69.43 km<sup>2</sup>, tasa de erosión 1 tn ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, y el coeficiente de del efecto de reglas de operación para esta presa es de 0.10, la vida útil de la presa de 50 años. El coeficiente de entrega de sedimentos se utiliza para estimar el volumen de sedimentación en el ámbito de la presa Sapancota, específicamente para el volumen muerto.

**Tabla 19**

*Coeficiente de efectos de reglas de operación*

<b>Tasa de erosión</b>	<b>1.005</b>	<b>ton/ha*año</b>
<b>Área de la cuenca</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Pendiente del río principal</b>	0.007	m/m
<b>Capacidad del embalse</b>	24184356.66	m <sup>3</sup>
K = coeficiente de influencia de las reglas de operación. Puede tomar valores entre 0,046 y 1, dependiendo de la frecuencia de evacuación y tipo de sedimento. Para el diseño, normalmente se utiliza un valor de 0,10.	0.10	
<b>Vida útil de la presa</b>	50	Años

#### 4.2.4.1. Coeficiente de Bifurcación

En la tabla 20, podemos mostrar que el orden de ríos clasificación es de 5, obteniéndose un coeficiente de bifurcación de 1.94.

**Tabla 20**

*Coeficiente de Bifurcación*

ORDEN	N° Cauces	Rb	N° C.I.	Rb*N° C.I
1°	409			
		1.93	621	1198.06
2°	212			
		1.8928571	324	613.285714
3°	112			
		2.1960784	163	357.960784
4	51			
		1.6451613	82	134.903226
5	31			
		Σ	1190	2304.21
			<b>BR=</b>	<b>1.94</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4.2. Coeficiente de entrega de sedimentos

Obtenido el coeficiente de bifurcación de 1.94, en aplicación de la ecuación descrita en la metodología se obtiene un coeficiente de entrega de sedimentos de 16.64%, lo que indica que es el porcentaje del total erosionado en las laderas o surcos de la cuenca que ingresan al embalse. Similares valores fueron obtenidos por (Kasuki,2023; Luvai,2022; Theron et al, 2021), Además, según el tamaño de la cuenca de estudio este valor coincide con lo calculado por Luvai,2022.

### 4.3. DETERMINACION DEL VOLUMEN DE SEDIMENTOS QUE SE GENERARAN EN LOS PROXIMOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA

#### 4.3.1. Factor de retención de sedimentos (RS)

Este parámetro se obtiene en función del método de Brown, bajo los parámetros de capacidad del embalse, área de la cuenca y el coeficiente de efecto de reglas de operación. Para el presente estudio se ha obtenido un RS de 98.65 %.

#### 4.3.2. Grado de compactación de sedimentos

Para calcular el grado de compactación de sedimentos se ha utiliza el criterio de Miller, los que están en función de peso específico inicial, peso específico de t años de compactación. En la tabla 21, según la clasificación de suelos de FAO, la zona de estudio se encuentra en una clasificación de tipo I, de los cuales se tiene 49.95% de arena, 28.75% de limo y 21.30% arcilla y el grado de compactación de sedimentos es de 1.028 tn/m<sup>3</sup>.

**Tabla 21**

*Coficiente de compactación de sedimentos*

%	%	Promedio	$\delta_o$	K
Arena	49.95	49.95	1450	0
Limo	28.75	28.75	130	0
Arcilla	21.30	21.30	1250	0
			1027.90	0.00

$\delta=$	1027.90	kg/m <sup>3</sup>
	<b>1.028</b>	<b>ton/m<sup>3</sup></b>

### 4.3.3. Volumen muerto.

En la tabla 22, se tienen los valores de altura de la presa y volumen acumulado, para estimar el volumen muerto se ha considerado tasa de erosión, área de la cuenca y la vida útil de la presa (50 años), del cual se tiene como resultado un peso erosionado de 348898.235 tn, y el volumen muerto se tiene de 55705.76 m<sup>3</sup>.

**Tabla 22**

*Altura y el volumen acumulado de la presa*

Altura de la presa	Cota	Área parcial (m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen parcial (m <sup>3</sup> )	Volumen acumulado (m <sup>3</sup> )
0	4114.4	1677	1677.00	0.00	0.00
1	4115.3	12990	14667.00	6288.93	6288.93
2	4116.1	42548	57215.00	25656.97	31945.90
3	4117.0	17147	74362.00	60694.65	92640.56
4	4118.0	19228	93590.00	79762.77	172403.33
5	4118.9	28177	121767.00	100244.18	272647.51
6	4119.9	89285	211052.00	164550.71	437198.23
7	4120.6	103302	314354.00	191550.29	628748.51
8	4121.4	86327	400681.00	291714.69	920463.20
9	4122.3	94613	495294.00	365902.75	1286365.95
10	4123.1	77017	572311.00	467536.67	1753902.63
11	4124.1	134393	706704.00	584866.91	2338769.53
12	4124.9	116014	822718.00	670986.34	3009755.88
13	4125.8	109503	932221.00	788319.42	3798075.30
14	4126.7	94382	1026603.00	834934.76	4633010.06
15	4127.6	89794	1116397.00	974101.04	5607111.10
16	4128.4	80541	1196938.00	976530.73	6583641.84
17	4129.3	88366	1285304.00	1039431.59	7623073.43
18	4130.0	31697	1317001.00	886119.95	8509193.38
19	4131.0	6623	1323624.00	1397016.60	9906209.98
20	4131.9	6527	1330151.00	1227803.57	11134013.54
21	4132.8	4900	1335051.00	1156534.16	12290547.70
22	4133.7	3231	1338282.00	1157958.65	13448506.36
23	4134.6	2531	1340813.00	1177690.44	14626196.80
24	4135.4	1851	1342664.00	1154980.50	15781177.30
25	4136.2	1311	1343975.00	1087289.38	16868466.68
26	4137.2	858	1344833.00	1249347.36	18117814.04
27	4138.0	702	1345535.00	1149237.66	19267051.70
28	4138.9	432	1345967.00	1232984.95	20500036.65
29	4139.8	352	1346319.00	1179867.69	21679904.34
30	4140.7	242	1346561.00	1167389.94	22847294.28
31	4141.7	248	1346809.00	1337062.38	24184356.66
<b>V muerto=</b>		<b>55703.76</b>		<b>m<sup>3</sup></b>	

#### 4.3.4. Determinación del volumen de sedimentación para los próximos 5, 10, 20, 50 años.

Para este apartado se utilizó la misma metodología de 50 años de vida útil, en la tabla 23, se puede apreciar los resultados para 5 años se tiene un volumen de sedimentación 5,570.58 m<sup>3</sup>, 10 años un volumen de 11,141.15 m<sup>3</sup>, para 20 años un volumen de 22,282.30 y para 50 años un volumen de 55705.76.

**Tabla 23**

*Volumen de sedimentación según la vida útil del embalse Sapancota*

Vida útil (años)	Volumen de sedimentación (m <sup>3</sup> )
5	5,570.58
10	11,141.15
20	22,282.30
50	55,705.76

Según el expediente técnico el volumen muerto es de 479,312.17 m<sup>3</sup> para vida útil de 50 años, empleando el método de caudales medios. (PRORRIDRE, 2016), habiendo una diferencia significativa con nuestros resultados obtenidos, pudiendo deberse a las características propias de la cuenca y los tipos de materiales encontrados. Así mismo, estos valores indican que es necesario la implementación de mejores prácticas de manejo en erosión y entrega de sedimentos como lo refiere (Hawks et al., 2022), además en la etapa de operación y mantenimiento, deberá incorporarse mecanismos de monitoreo de campo más eficaces como lo refiere Golosov et al. (2022).



## V. CONCLUSIONES

- Se determinó la tasa de erosión hídrica de  $1.005 \text{ tn. ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  aplicando el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos), este resultado indica un nivel de erosión de normal a moderada dentro de la cuenca Sapancota.
- El coeficiente de entrega de sedimentos determinado es de 16.64%, lo cual indica un ingreso moderado al embalse, con relación a los sedimentos totales generados en la cuenca de estudio.
- Los volúmenes de sedimentos calculados para los próximos 5 años es 5,570.58 m<sup>3</sup>, para 10 años es 11,141.15 m<sup>3</sup>, para 20 años es 22,282.30 m<sup>3</sup> y para 50 años es 55705.76 m<sup>3</sup>, indicando una tendencia lineal de sedimentación en el tiempo.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las entidades dedicadas a la incorporación de infraestructuras de riego mediante embalsamiento, considerar las metodologías aplicadas en la presente investigación.
- Se recomienda la incorporación de planes o programas de conservación de suelos en las zonas degradadas, para disminuir la erosión hídrica de la cuenca.
- Se recomienda la implementación de mejores prácticas de manejo en erosión y entrega de sedimentos en la etapa de operación mediante mecanismos de monitoreo de campo real.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar, M., Cermeño, F., & Barbero, F. (2011). Erosión y manejo del suelo. importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. Instituto de Geociencias. <https://core.ac.uk/download/pdf/36082896.pdf>
- Alemaw, B. F., Majauale, M., & Simalenga, T. (2013). Assessment of sedimentation impacts on small dams—a case of small reservoirs in the Lotsane catchment. *Journal of Water Resource and Protection*, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2013.512118>
- Alfaro, R. (2011). Erosión y Transporte de Sedimentos. Unidad de impresión Universidad Nacional del Altiplano. Puno, PE.
- Altunetz, A. (2000). Propiedades Físico-Hídricas del Suelo. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7892/NR40309.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=La%20densidad%20aparente%20es%20un,%2C25%20g%20cm%E2%88%923>.
- Alvarez Ticllasuca, A. (2020). Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017. *TAYACAJA*, 3(2). <https://doi.org/10.46908/rict.v3i2.97>
- Arganis Juarez, M. L., Mendoza Ramirez, R., Dominguez Mora, R., & Carrizosa Elizondo, E. (2015). Políticas de operación de la presa «El Infiernillo» para generación de hidroelectricidad con programación dinámica estocástica. *RIBAGUA - Revista Iberoamericana Del Agua*, 2(2), 97–104. <https://doi.org/10.1016/J.RIBA.2015.10.003>
- Arreguin, F. (2021). Obras Hidráulicas. <http://www.ii.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Libros/Documents/obras-hidraulicas-digital.pdf>



- Berga, L. (2018). Las presas y el agua en el mundo (Vol. 1).  
[https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2018/01/Las\\_presas\\_y\\_el\\_agua\\_en\\_el\\_mundo.pdf](https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2018/01/Las_presas_y_el_agua_en_el_mundo.pdf)
- Calvo-Alvarado, J. C., & Jimenez, C. (2009). Ecuación para estimar el factor de erosividad de lluvia R de la EUPS.  
<https://www.researchgate.net/publication/263276466>
- Camargo, C., Pacheco, C., & López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 265–280. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2>.
- Colman, C. B., Garcia, K. M. P., Pereira, R. B., Shinma, E. A., Lima, F. E., Gomes, A. O., & Oliveira, P. T. S. (2018). Different approaches to estimate the sediment yield in a tropical watershed. *Rbrh*, 23. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170178>
- Condori Apaza, Valeriano (2018). Pérdida del suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho – Puno. Universidad Nacional del Altiplano.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12000>
- Condori, V. (2018). Pérdida del suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho - Puno [Universidad Nacional del Altiplano].  
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12000>
- Condori-Ojeda, P. (2020). Niveles de investigación. <https://www.aacademica.org>.
- Cordova Carmen, J. J. (2015). Diseño de embalse teniendo en consideracion los impactos ambientales. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/fac5cec0-553f-4de3-a5ef-4fc70cec542c/content>



- Corral-Pazos-de-Provens, E., Rapp-Arrarás, Í., & Domingo-Santos, J. M. (2023). The USLE soil erodibility nomograph revisited. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.07.001>
- Cueva Alaguia, P. E. (2018). Propuesta de estructura de disipación de energía para el control de la pérdida de suelo por erosión hídrica en cárcava en la microcuenca Sonocco Juli - Puno. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Escamilla, M. (2020). La investigación. [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI\\_Presentaciones/licenciatura\\_en\\_mercadotecnia/fundamentos\\_de\\_metodologia\\_investigacion/PRES39.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES39.pdf)
- Fano Bustamante, R., & Quispe Choque, L. (2021). Riesgo por inundación y obras longitudinales en el río Hatunmayo, jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta - Cusco, 2021. Cusco: Universidad Continental.
- Fernández, A. J., Rodríguez, A., & Delgado, D. (2023). Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del Río Esmeraldas-Ecuador. 8(2), 82–95. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i2>
- Ferrari, A., Vacondio, R., & Mignosa, P. (2023). High-resolution 2D shallow water modelling of dam failure floods for emergency action plans. *Journal of Hydrology*, 618, 129192. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2023.129192>
- Flores Sajami, N. D. (2019). Diseño hidráulico de la defensa ribereña en la localidad de San José aplicando el programa Hec-Ras para la prevención y mitigación de desastres – Bellavista - 2018. Tarapoto: Universidad Cesar Vallejo: Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- Gao, Y., Yang, L., Song, Y., Tian, J., & Yang, M. (2022). Designing water-saving-ecological check dam sites by a system optimization model in a region of the loess



- plateau, Northwest China. *Ecological Informatics*, 72, 101887.  
<https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2022.101887>
- Golosov, V. N., Zhidkin, A. P., Petel'ko, A. I., Osipova, M. S., Ivanova, N. N., & Ivanov, M. M. (2022). Field Verification of Erosion Models Based on the Studies of a Small Catchment in the Vorobzha River Basin (Kursk oblast, Russia). *Eurasian Soil Science*, 55(10), 1508-1523. <https://doi.org/10.1134/S1064229322100040>
- Gonzales, V. A. G., & Alejo, R. A. (2008). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*. UNA Puno.
- Halder, J. C. (2023). The integration of RUSLE-SDR lumped model with remote sensing and GIS for soil loss and sediment yield estimation. *Advances in Space Research*, 71(11), 4636-4658. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.01.008>
- Hawks, B. S., Bolding, M. C., Aust, W. M., Barrett, S. M., Schilling, E., & Horton, C. N. (2022). Implementation of forestry best management practices and sediment delivery in three regions of North Carolina and Virginia. *Forest Science*, 68(1), 63-74. <https://doi.org/10.1093/forsci/xfab057>
- Helmi, A. M. (2022). Quantifying catchments sediment release in arid regions using GIS-based Universal soil loss equation (USLE). *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2022.102038>
- Horacio, J., & Ollero, A. (2011). Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de sistemas de información geográfica (S.I.G.). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3722514>
- Huerta-Loera, S. F., & Domínguez-Mora, R. (2016). Metodología para la estimación del riesgo aguas abajo de una presa en función de las políticas de operación a largo plazo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(3), 343-356. <https://doi.org/10.1016/J.RIIT.2016.07.005>



- Huisa Humpiri, Abner Guido (2014). Efecto de los embalses en el control de avenidas en la cuenca del Rio Ramis. Universidad Nacional del Altiplano.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4574>
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. M. (2020). El factor LS de la ecuación universal de pérdidas de suelo.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16569/AD%20LS%20%20USLE.pdf>
- James, L. A., Lecce, S. A., & Pavlowsky, R. T. (2022). Impacts of land-use and land-cover change on river systems. In: John F. Shroder (ed.) Treatise on Geomorphology, Volume 9, pp. 768-793. San Diego: Academic Press.  
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00264-5>
- Jarri, M. (1985). Parametros de la cuenca. Revista de Geografia, 41–48.
- Kasuki, M. M. (2023). Reservoir sedimentation in an arid and semi-arid river basin; a case study of Kalundu dam in Kitui County, Kenya (Doctoral dissertation).  
<http://repository.seku.ac.ke/handle/123456789/7360>
- Lei, Y., Dong, F., Liu, X., Ma, B., & Huang, W. (2023). Short-term variations and correlations in water quality after dam removal in the Chishui river basin. Journal of Environmental Management, 327, 116917.  
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116917>
- Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldan, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del Río Birrís, Costa Rica. In Agronomía Costarricense (Vol. 33, Issue 2).  
[www.cia.ucr.ac.cr](http://www.cia.ucr.ac.cr)
- Luvai, A. K. (2022). Modelling Soil Erosion and Sediment Yield for Dam Reservoir Management: a Case Study of the Maruba Dam Catchment, Kenya (Doctoral



- dissertation, University of Nairobi).  
<http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/162382>
- Ma, S., Chen, Y. qing, Wang, Z. qing, Li, S. tao, Zhu, Q., & Chen, L. ming. (2022). The damage to model concrete gravity dams subjected to water explosions. Defence Technology. <https://doi.org/10.1016/J.DT.2022.08.008>
- Mamani, W., Mamani, L., Narvaez, Y., & Menacho, Y. (2021). Estimacion de factor de erosividad de las precipitaciones pluviales en la localidad de Juliaca-Peru. ÑAUPARISUN. <https://doi.org/https://doi.org/10.47190/nric.v3i3.3>
- Mancilla Escobar, G. A. (2008). Uso y conservacion de suelos [Universidad de Chile]. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes\\_docentes\\_USLE.pdf](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf)
- Mancilla, G. A. (2008). Uso de ecuacion universal de perdida de suelo USLE. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes\\_docentes\\_USLE.pdf](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf)
- Martínez, F. (2019). Apoyo a la toma de decisión de selección del tipo de presa. <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/8145/tfm-mar-pro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merino Martínez, F. (2021). Análisis hidrológico del río Pas en el entorno de la estación de Mogro. Santander: Universidad de Cantabria.
- MIDAGRI. (2014). Erosion de suelo. Direccion zonal agrorural -Ayacucho. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/erosion-suelo.pdf>
- MVTOMA. (2011). Manual Pequeñas Presas (Vol. 1). [http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual%20Pequeñas%20Presas%20V1-v1\\_01.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Manual%20Pequeñas%20Presas%20V1-v1_01.pdf)



- Natural Capital Project, (2023). InVEST 3.14.0. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- Niz, A. E., Oviedo, J. A., Toledo, J. C., & Lamas, C. (2010). Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú. Pub. Esp. N°, 9, 1046–1049. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG15-241.pdf>
- Olivos, M. (2016). Diseños de Investigación Cuantitativa. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64053/secme-7716.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pacheco, H. A., Cevallos, Richard X, Vences, ;, & Carlos J. (2019). Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1. Revista Espacios, 1. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n03/a19v40n03p06.pdf>
- Pérez Rivera, José Luis; Salazar Quisocala, Edwin Cristóbal (2022). Verificación del volumen de embalse útil de lagunillas en el distrito de Santa Lucía - Puno – 2019. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18038>
- Pérez, J. D., & Mesa Sánchez, O. J. (2020). XV seminario nacional de hidráulica e hidrología estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7823/DA3468.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ponce, V. M. (1989). Engineering hydrology: Principles and practices. Prentice Hall.
- Ponce, V. M. (2014). Fundamentals of open-channel hydraulics. Online textbook.



- Portuguez M., D. M. (2015). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del Río Sigwas utilizando geo informática. *Anales Científicos*, 76(2), 324. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Ramón, M., Blanquer, G., & MI, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfologia%20cuenca.pdf?sequence=1>
- Rocha, F. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Lima: Facultad de ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rojo, J. (2008). Morfometría de cuencas. <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Santaella, L. E., & Morales, L. Y. (2001). Conceptos Básicos en Presas. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5313884.pdf>
- Sedighi, F., Darvishan, A. K., & Zare, M. R. (2021). Effect of watershed geomorphological characteristics on sediment redistribution. *Geomorphology*, 375, 107559. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107559>
- Teodoro, N., & Nieto, E. (2018). Tipos De Investigación. [https://core.ac.uk/display/250080756?utm\\_source=pdf&utm\\_medium=banner&utm\\_campaign=pdf-decoration-v1](https://core.ac.uk/display/250080756?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1)
- Theron, S. N., Weepener, H. L., Le Roux, J. J., & Engelbrecht, C. J. (2021). Modelling potential climate change impacts on sediment yield in the Tsitsa River catchment, South Africa. *Water SA*, 47(1), 67-75. <https://doi.org/10.17159/wsa/2021.v47.i1.9446>
- Vilaseca, F., & Luis Teixeira, D. (2019). Avances para la estimación del transporte de sedimentos por fondo en cauces fluviales de Uruguay.



<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23345/1/Vil19.pdf>

f

Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1977). Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology. *Transactions of the ASAE*, 20(6), 1100–1104. <https://doi.org/10.13031/2013.35710>

Yang, M., & Olivera, F. (2023). Classification of watersheds in the conterminous United States using shape-based time-series clustering and Random Forests. *Journal of Hydrology*, 620, 129409. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2023.129409>

Zhao, J., Li, J., Zuo, L., Liu, G., & Su, X. (2023). Interaction dynamics of multiple ecosystem services and abrupt changes of landscape patterns linked with watershed ecosystem regime shifts. *Ecological Indicators*, 150, 110263.



## ANEXOS



**ANEXO 1.** Peso erosionado para un periodo de retorno de 5 años

<b>TASA DE EROSION DE LA CUENCA</b>						
<b>Rowid</b>	<b>Tasa de erosión ton/ha/año</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Vida útil (años)</b>	<b>Peso erosionado (ton)</b>
1	0.25	2742.5	27425468.0	27.4	5	3428.2
2	1	2936.0	29360468.0	29.4	5	14680.2
3	2	997.5	9975156.0	10.0	5	9975.2
4	3	147.0	1469687.5	1.5	5	2204.5
5	4	39.8	398281.3	0.4	5	796.6
6	5	19.9	198906.3	0.2	5	497.3
7	6	12.2	122343.8	0.1	5	367.0
8	7	7.3	72500.0	0.1	5	253.8
9	8	5.1	50625.0	0.1	5	202.5
10	9	4.3	42968.8	0.0	5	193.4
11	10	2.8	28437.5	0.0	5	142.2
12	11	2.3	22656.3	0.0	5	124.6
13	12	2.1	21250.0	0.0	5	127.5
14	13	1.9	19062.5	0.0	5	123.9
15	14	1.7	17187.5	0.0	5	120.3
16	15	1.6	16250.0	0.0	5	121.9
17	16	1.1	10625.0	0.0	5	85.0
18	17	0.9	9375.0	0.0	5	79.7
19	18	0.9	9375.0	0.0	5	84.4
20	19	0.7	6875.0	0.0	5	65.3
21	20	0.8	8125.0	0.0	5	81.3
22	21	0.6	6406.3	0.0	5	67.3
23	22	0.5	5000.0	0.0	5	55.0
24	23	0.3	2968.8	0.0	5	34.1
25	24	0.5	4843.8	0.0	5	58.1
26	25	0.4	4062.5	0.0	5	50.8
27	26	0.3	2500.0	0.0	5	32.5
28	27	0.4	3750.0	0.0	5	50.6
29	28	0.5	5156.3	0.0	5	72.2
30	29	0.2	1718.8	0.0	5	24.9
31	30	0.2	1562.5	0.0	5	23.4
32	31	0.2	1562.5	0.0	5	24.2
33	32	0.1	937.5	0.0	5	15.0
34	33	0.1	1093.8	0.0	5	18.0
35	34	0.1	1250.0	0.0	5	21.3
36	35	0.1	937.5	0.0	5	16.4
37	36	0.0	312.5	0.0	5	5.6
38	37	0.0	468.8	0.0	5	8.7
39	38	0.0	312.5	0.0	5	5.9
40	39	0.0	156.3	0.0	5	3.0
41	40	0.1	1093.8	0.0	5	21.9
42	41	0.1	1250.0	0.0	5	25.6



<b>43</b>	42	0.1	781.3	0.0	5	16.4
<b>44</b>	43	0.1	625.0	0.0	5	13.4
<b>45</b>	44	0.0	468.8	0.0	5	10.3
<b>46</b>	45	0.0	312.5	0.0	5	7.0
<b>47</b>	46	0.0	468.8	0.0	5	10.8
<b>48</b>	47	0.0	468.8	0.0	5	11.0
<b>49</b>	48	0.0	468.8	0.0	5	11.3
<b>50</b>	49	0.0	156.3	0.0	5	3.8
<b>51</b>	50	0.1	937.5	0.0	5	23.4
<b>52</b>	51	0.0	312.5	0.0	5	8.0
<b>53</b>	52	0.0	468.8	0.0	5	12.2
<b>54</b>	53	0.1	937.5	0.0	5	24.8
<b>55</b>	54	0.1	625.0	0.0	5	16.9
<b>56</b>	55	0.0	468.8	0.0	5	12.9
<b>57</b>	57	0.0	156.3	0.0	5	4.5
<b>58</b>	58	0.0	156.3	0.0	5	4.5
<b>59</b>	59	0.0	312.5	0.0	5	9.2
<b>60</b>	60	0.0	468.8	0.0	5	14.1
<b>61</b>	61	0.0	468.8	0.0	5	14.3
<b>62</b>	63	0.0	312.5	0.0	5	9.8
<b>63</b>	65	0.0	156.3	0.0	5	5.1
<b>64</b>	67	0.0	156.3	0.0	5	5.2
<b>65</b>	70	0.1	781.3	0.0	5	27.3
<b>66</b>	71	0.0	156.3	0.0	5	5.5
<b>67</b>	72	0.0	468.8	0.0	5	16.9
<b>68</b>	73	0.0	156.3	0.0	5	5.7
<b>69</b>	74	0.0	156.3	0.0	5	5.8
<b>70</b>	76	0.0	156.3	0.0	5	5.9
<b>71</b>	77	0.0	156.3	0.0	5	6.0
<b>72</b>	78	0.0	312.5	0.0	5	12.2
<b>73</b>	80	0.0	156.3	0.0	5	6.3
<b>74</b>	81	0.0	312.5	0.0	5	12.7
<b>75</b>	83	0.0	156.3	0.0	5	6.5
<b>76</b>	86	0.0	156.3	0.0	5	6.7
<b>77</b>	94	0.0	156.3	0.0	5	7.3
<b>78</b>	96	0.0	156.3	0.0	5	7.5
<b>79</b>	99	0.0	156.3	0.0	5	7.7
<b>80</b>	118	0.0	156.3	0.0	5	9.2
<b>81</b>	131	0.0	156.3	0.0	5	10.2
<b>82</b>	133	0.0	156.3	0.0	5	10.4
<b>83</b>	157	0.0	156.3	0.0	5	12.3
<b>84</b>	160	0.0	156.3	0.0	5	12.5
<b>85</b>	170	0.0	156.3	0.0	5	13.3
<b>86</b>	182	0.0	156.3	0.0	5	14.2
<b>87</b>	188	0.0	312.5	0.0	5	29.4

### ANEXO 2. Tasa de erosión total para 5 años de vida útil de la presa

<b>Tasa de erosión</b>	0.1005036	ton/ha/año
<b>Área</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Vida útil</b>	5	años
<b>Peso erosionado</b>	34889.8235	ton

### ANEXO 3. Coeficiente de entrega de sedimentos para 5 años de vida útil

#### COEFICIENTE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS

$$CES = 36 * A^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \log BR$$

<b>Tasa de erosión</b>	0.1005	ton/ha*año
<b>Área de la cuenca</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Pendiente del río principal</b>	0.007	m/m
<b>Capacidad del embalse</b>	24184356.66	m <sup>3</sup>
<b>K = coeficiente del efecto de reglas de operación. Puede tomar valores entre 0.046 y 1, dependiendo de la frecuencia de vaciado y el tipo de sedimento. Para el diseño se suele usar un valor de 0.10</b>	0.10	
<b>Vida util de la presa</b>	5	años

#### ANEXO 4. Coeficiente de Bifurcación

### COEFICIENTE DE BIFURCACIÓN

$$BR = \frac{\sum(R_B * N_{ci})}{\sum N_{ci}} \quad R_B = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

$N_{ci}$  = número de cauces involucrados en el cálculo

$R_B$  = relación de bifurcación

$N_n$  = número de cauces de orden "n"

$N_{n+1}$  = número de cauces de orden "n + 1"

ORDEN	N° Causes	Rb	N° C.I.	Rb*N° C.I
1°	409			
		1.93	621	1198.06
2°	212			
		1.892857	324	613.28571
3°	112			
		2.196078	163	357.96078
4°	51			
		1.645161	82	134.90323
5°	31			
		Σ	1190	2304.21
			<b>BR=</b>	<b>1.94</b>
<b>CES=</b>	<b>16.64</b>	<b>%</b>		

#### ANEXO 5. Factor de retención de sedimentos

### FACTOR DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS (MÉTODO DE BROWN)

$$R_s = 100 * \left[ 1 + \frac{1}{1 + 2100 * \frac{K * C}{A}} \right]$$

$C$  = capacidad del embalse (millones de  $m^3$ )

$A$  = área de la cuenca ( $km^2$ )

<b>Rs=</b>	<b>98.65</b>	<b>%</b>
------------	--------------	----------

**ANEXO 6. Grado de compactación de sedimentos**

**GRADO DE COMPACTACIÓN DE SEDIMENTOS  
(CRITERIO MILLER)**

$$\delta_t = \delta_o + 0.4343 * K * \left[ \frac{t}{t-1} * \ln t - 1 \right]$$

$\delta_t$  = peso específico de los sedimentos después de  $t$  años de compactación  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$\delta_o$  = peso específico inicial, es decir, al final del primer año  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

	I		$\delta_o$	K
%	1	Promedio		
<b>Arena</b>	49.95	49.95	1450	0
<b>Limo</b>	28.75	28.75	130	0
<b>Arcilla</b>	21.30	21.30	1250	0
			1027.90	0.00

$\delta =$	1027.90	kg/m <sup>3</sup>
	1.028	ton/m <sup>3</sup>

**ANEXO 7. Volumen de sedimentación para 5 años de vida útil de la Presa**

**VOLUMEN MUERTO**

$$V_{muerto} = \frac{Peso_{erosionado} * CES * R_s}{\delta_t}$$

$$Peso_{erosionado} = Tasa\ de\ erosión * Área * Vida\ útil$$

**Peso<sub>erosionado</sub> = 34889.8235 ton**

**V<sub>muerto</sub> = 5570.58 m<sup>3</sup>**

### ANEXO 8. Peso erosionado para un periodo de retorno de 10 años

TASA DE EROSION DE LA CUENCA						
Rowid	Tasa de erosión ton/ha/año	Área (ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Vida útil (años)	Peso erosionado (ton)
1	0.25	2742.5	27425468.0	27.4	10	6856.4
2	1	2936.0	29360468.0	29.4	10	29360.5
3	2	997.5	9975156.0	10.0	10	19950.3
4	3	147.0	1469687.5	1.5	10	4409.1
5	4	39.8	398281.3	0.4	10	1593.1
6	5	19.9	198906.3	0.2	10	994.5
7	6	12.2	122343.8	0.1	10	734.1
8	7	7.3	72500.0	0.1	10	507.5
9	8	5.1	50625.0	0.1	10	405.0
10	9	4.3	42968.8	0.0	10	386.7
11	10	2.8	28437.5	0.0	10	284.4
12	11	2.3	22656.3	0.0	10	249.2
13	12	2.1	21250.0	0.0	10	255.0
14	13	1.9	19062.5	0.0	10	247.8
15	14	1.7	17187.5	0.0	10	240.6
16	15	1.6	16250.0	0.0	10	243.8
17	16	1.1	10625.0	0.0	10	170.0
18	17	0.9	9375.0	0.0	10	159.4
19	18	0.9	9375.0	0.0	10	168.8
20	19	0.7	6875.0	0.0	10	130.6
21	20	0.8	8125.0	0.0	10	162.5
22	21	0.6	6406.3	0.0	10	134.5
23	22	0.5	5000.0	0.0	10	110.0
24	23	0.3	2968.8	0.0	10	68.3
25	24	0.5	4843.8	0.0	10	116.3
26	25	0.4	4062.5	0.0	10	101.6
27	26	0.3	2500.0	0.0	10	65.0
28	27	0.4	3750.0	0.0	10	101.3
29	28	0.5	5156.3	0.0	10	144.4
30	29	0.2	1718.8	0.0	10	49.8
31	30	0.2	1562.5	0.0	10	46.9
32	31	0.2	1562.5	0.0	10	48.4
33	32	0.1	937.5	0.0	10	30.0
34	33	0.1	1093.8	0.0	10	36.1
35	34	0.1	1250.0	0.0	10	42.5
36	35	0.1	937.5	0.0	10	32.8
37	36	0.0	312.5	0.0	10	11.3
38	37	0.0	468.8	0.0	10	17.3
39	38	0.0	312.5	0.0	10	11.9
40	39	0.0	156.3	0.0	10	6.1



41	40	0.1	1093.8	0.0	10	43.8
42	41	0.1	1250.0	0.0	10	51.3
43	42	0.1	781.3	0.0	10	32.8
44	43	0.1	625.0	0.0	10	26.9
45	44	0.0	468.8	0.0	10	20.6
46	45	0.0	312.5	0.0	10	14.1
47	46	0.0	468.8	0.0	10	21.6
48	47	0.0	468.8	0.0	10	22.0
49	48	0.0	468.8	0.0	10	22.5
50	49	0.0	156.3	0.0	10	7.7
51	50	0.1	937.5	0.0	10	46.9
52	51	0.0	312.5	0.0	10	15.9
53	52	0.0	468.8	0.0	10	24.4
54	53	0.1	937.5	0.0	10	49.7
55	54	0.1	625.0	0.0	10	33.8
56	55	0.0	468.8	0.0	10	25.8
57	57	0.0	156.3	0.0	10	8.9
58	58	0.0	156.3	0.0	10	9.1
59	59	0.0	312.5	0.0	10	18.4
60	60	0.0	468.8	0.0	10	28.1
61	61	0.0	468.8	0.0	10	28.6
62	63	0.0	312.5	0.0	10	19.7
63	65	0.0	156.3	0.0	10	10.2
64	67	0.0	156.3	0.0	10	10.5
65	70	0.1	781.3	0.0	10	54.7
66	71	0.0	156.3	0.0	10	11.1
67	72	0.0	468.8	0.0	10	33.8
68	73	0.0	156.3	0.0	10	11.4
69	74	0.0	156.3	0.0	10	11.6
70	76	0.0	156.3	0.0	10	11.9
71	77	0.0	156.3	0.0	10	12.0
72	78	0.0	312.5	0.0	10	24.4
73	80	0.0	156.3	0.0	10	12.5
74	81	0.0	312.5	0.0	10	25.3
75	83	0.0	156.3	0.0	10	13.0
76	86	0.0	156.3	0.0	10	13.4
77	94	0.0	156.3	0.0	10	14.7
78	96	0.0	156.3	0.0	10	15.0
79	99	0.0	156.3	0.0	10	15.5
80	118	0.0	156.3	0.0	10	18.4
81	131	0.0	156.3	0.0	10	20.5
82	133	0.0	156.3	0.0	10	20.8
83	157	0.0	156.3	0.0	10	24.5
84	160	0.0	156.3	0.0	10	25.0
85	170	0.0	156.3	0.0	10	26.6
86	182	0.0	156.3	0.0	10	28.4
87	188	0.0	312.5	0.0	10	58.8



**ANEXO 9.** Tasa de erosión total para 10 años de vida útil de la presa

<b>Tasa de erosión</b>	<b>0.1005</b>	ton/ha/año
<b>Área</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Vida útil</b>	5	años
<b>Peso erosionado</b>	69,779.647	ton

**ANEXO 10.** Coeficiente de entrega de sedimentos para 10 años de vida útil

**COEFICIENTE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS**

$$CES = 36 * A^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \log BR$$

<b>Tasa de erosión</b>	1.005	ton/ha*año
<b>Área de la cuenca</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Pendiente del rio principal</b>	0.007	m/m
<b>Capacidad del embalse</b>	24184356.66	m <sup>3</sup>
<b>K = coeficiente del efecto de reglas de operación. Puede tomar valores entre 0.046 y 1, dependiendo de la frecuencia de vaciado y el tipo de sedimento. Para el diseño se suele usar un valor de 0.10</b>	0.10	
<b>Vida util de la presa</b>	10	años

**ANEXO 11.** Volumen de sedimentación para 10 años de vida útil de la Presa

**VOLUMEN MUERTO**

$$V_{muerto} = \frac{Peso_{erosionado} * CES * R_s}{\delta_t}$$

$$Peso_{erosionado} = Tasa\ de\ erosión * Área * Vida\ útil$$

**Peso<sub>erosionado</sub> = 69,779.647 ton**

**V<sub>muerto</sub> = 11,141.15 m<sup>3</sup>**



## ANEXO 12. Peso erosionado para un periodo de retorno de 20 años

TASA DE EROSION DE LA CUENCA						
Rowid	Tasa de erosión ton/ha/año	Área (ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Vida útil (años)	Peso erosionado (ton)
1	0.25	2742.5	27425468.0	27.4	20	13712.7
2	1	2936.0	29360468.0	29.4	20	58720.9
3	2	997.5	9975156.0	10.0	20	39900.6
4	3	147.0	1469687.5	1.5	20	8818.1
5	4	39.8	398281.3	0.4	20	3186.3
6	5	19.9	198906.3	0.2	20	1989.1
7	6	12.2	122343.8	0.1	20	1468.1
8	7	7.3	72500.0	0.1	20	1015.0
9	8	5.1	50625.0	0.1	20	810.0
10	9	4.3	42968.8	0.0	20	773.4
11	10	2.8	28437.5	0.0	20	568.8
12	11	2.3	22656.3	0.0	20	498.4
13	12	2.1	21250.0	0.0	20	510.0
14	13	1.9	19062.5	0.0	20	495.6
15	14	1.7	17187.5	0.0	20	481.3
16	15	1.6	16250.0	0.0	20	487.5
17	16	1.1	10625.0	0.0	20	340.0
18	17	0.9	9375.0	0.0	20	318.8
19	18	0.9	9375.0	0.0	20	337.5
20	19	0.7	6875.0	0.0	20	261.3
21	20	0.8	8125.0	0.0	20	325.0
22	21	0.6	6406.3	0.0	20	269.1
23	22	0.5	5000.0	0.0	20	220.0
24	23	0.3	2968.8	0.0	20	136.6
25	24	0.5	4843.8	0.0	20	232.5
26	25	0.4	4062.5	0.0	20	203.1
27	26	0.3	2500.0	0.0	20	130.0
28	27	0.4	3750.0	0.0	20	202.5
29	28	0.5	5156.3	0.0	20	288.8
30	29	0.2	1718.8	0.0	20	99.7
31	30	0.2	1562.5	0.0	20	93.8
32	31	0.2	1562.5	0.0	20	96.9
33	32	0.1	937.5	0.0	20	60.0
34	33	0.1	1093.8	0.0	20	72.2
35	34	0.1	1250.0	0.0	20	85.0
36	35	0.1	937.5	0.0	20	65.6
37	36	0.0	312.5	0.0	20	22.5
38	37	0.0	468.8	0.0	20	34.7
39	38	0.0	312.5	0.0	20	23.8
40	39	0.0	156.3	0.0	20	12.2



41	40	0.1	1093.8	0.0	20	87.5
42	41	0.1	1250.0	0.0	20	102.5
43	42	0.1	781.3	0.0	20	65.6
44	43	0.1	625.0	0.0	20	53.8
45	44	0.0	468.8	0.0	20	41.3
46	45	0.0	312.5	0.0	20	28.1
47	46	0.0	468.8	0.0	20	43.1
48	47	0.0	468.8	0.0	20	44.1
49	48	0.0	468.8	0.0	20	45.0
50	49	0.0	156.3	0.0	20	15.3
51	50	0.1	937.5	0.0	20	93.8
52	51	0.0	312.5	0.0	20	31.9
53	52	0.0	468.8	0.0	20	48.8
54	53	0.1	937.5	0.0	20	99.4
55	54	0.1	625.0	0.0	20	67.5
56	55	0.0	468.8	0.0	20	51.6
57	57	0.0	156.3	0.0	20	17.8
58	58	0.0	156.3	0.0	20	18.1
59	59	0.0	312.5	0.0	20	36.9
60	60	0.0	468.8	0.0	20	56.3
61	61	0.0	468.8	0.0	20	57.2
62	63	0.0	312.5	0.0	20	39.4
63	65	0.0	156.3	0.0	20	20.3
64	67	0.0	156.3	0.0	20	20.9
65	70	0.1	781.3	0.0	20	109.4
66	71	0.0	156.3	0.0	20	22.2
67	72	0.0	468.8	0.0	20	67.5
68	73	0.0	156.3	0.0	20	22.8
69	74	0.0	156.3	0.0	20	23.1
70	76	0.0	156.3	0.0	20	23.8
71	77	0.0	156.3	0.0	20	24.1
72	78	0.0	312.5	0.0	20	48.8
73	80	0.0	156.3	0.0	20	25.0
74	81	0.0	312.5	0.0	20	50.6
75	83	0.0	156.3	0.0	20	25.9
76	86	0.0	156.3	0.0	20	26.9
77	94	0.0	156.3	0.0	20	29.4
78	96	0.0	156.3	0.0	20	30.0
79	99	0.0	156.3	0.0	20	30.9
80	118	0.0	156.3	0.0	20	36.9
81	131	0.0	156.3	0.0	20	40.9
82	133	0.0	156.3	0.0	20	41.6
83	157	0.0	156.3	0.0	20	49.1
84	160	0.0	156.3	0.0	20	50.0
85	170	0.0	156.3	0.0	20	53.1
86	182	0.0	156.3	0.0	20	56.9
87	188	0.0	312.5	0.0	20	117.5



**ANEXO 13.** Tasa de erosión total para 20 años de vida útil de la presa

<b>Tasa de erosión</b>	1.005	ton/ha/año
<b>Área</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Vida útil</b>	20	años
<b>Peso erosionado</b>	139,559.294	ton

**ANEXO 14.** Coeficiente de entrega de sedimentos para 20 años de vida útil

**COEFICIENTE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS**

$$CES = 36 * A^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \log BR$$

<b>Tasa de erosión</b>	1.005	ton/ha*año
<b>Área de la cuenca</b>	69.43	km <sup>2</sup>
<b>Pendiente del rio principal</b>	0.007	m/m
<b>Capacidad del embalse</b>	24184356.66	m <sup>3</sup>
<b>K = coeficiente del efecto de reglas de operación. Puede tomar valores entre 0.046 y 1, dependiendo de la frecuencia de vaciado y el tipo de sedimento. Para el diseño se suele usar un valor de 0.10</b>	0.10	
<b>Vida util de la presa</b>	20	años

**ANEXO 15.** Volumen de sedimentación para 20 años de vida útil de la Presa

**VOLUMEN MUERTO**

$$V_{muerto} = \frac{Peso_{erosionado} * CES * R_s}{\delta_t}$$

$$Peso_{erosionado} = Tasa\ de\ erosión * Área * Vida\ útil$$

**Peso<sub>erosionado</sub> = 139,559.294 ton**

**V<sub>muerto</sub> = 22,282.30 m<sup>3</sup>**

## PANEL FOTOGRAFICO



**Fotografía 01. Ubicación del eje de presa, para el embalse Sapancota.**



**Fotografía 02. Ubicación del embalse Sapancota – Aguas abajo.**



**Fotografía 03. Ubicación del embalse Sapancota – Zona de inundación.**



**Fotografía 04. Ubicación del embalse Sapancota – Geomorfología.**



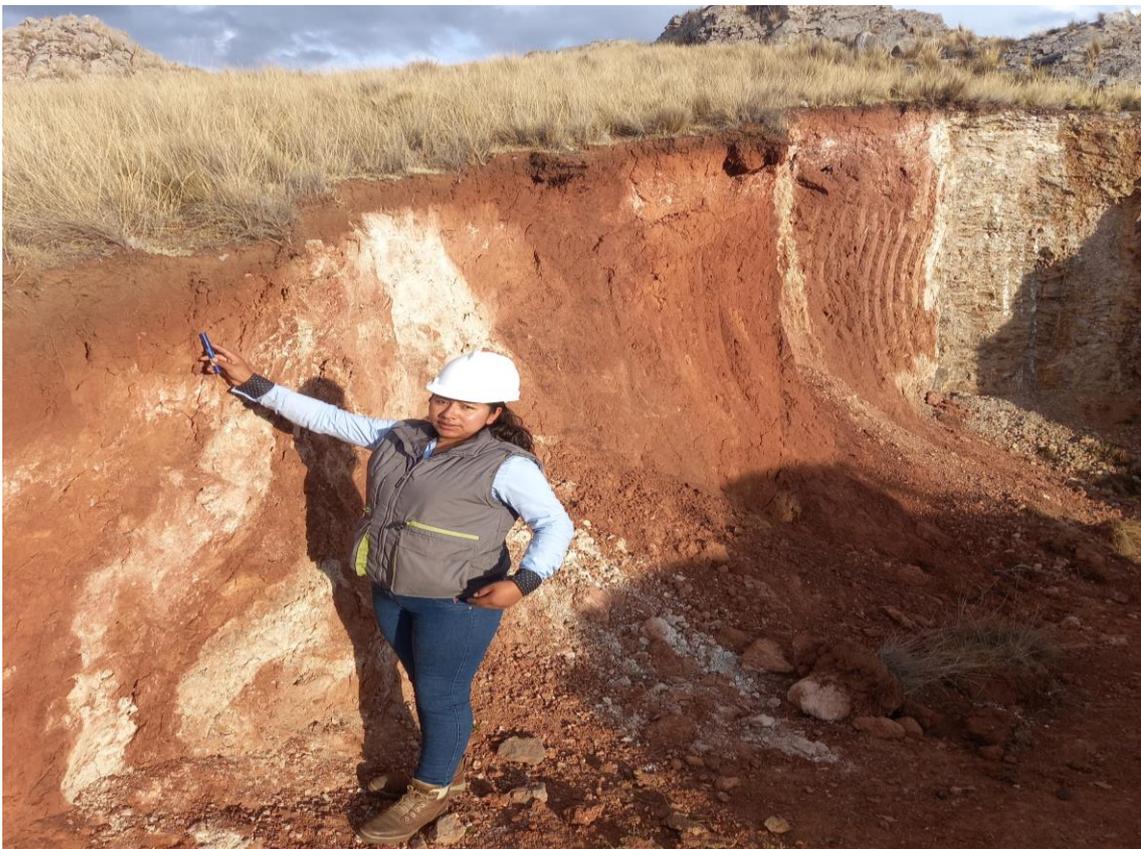
**Fotografía 05. Zonificación de las áreas del embalse**



**Fotografía 06. Reconocimiento de las formaciones geológicas y geomorfológicas.**



**Fotografía 07. Identificación previa de tipo de suelo**



**Fotografía 08. Reconocimiento de estratos de tipo de suelo.**



# CERTIFICADO DE ESTUDIO DE SUELOS

## DEIMOUNT®



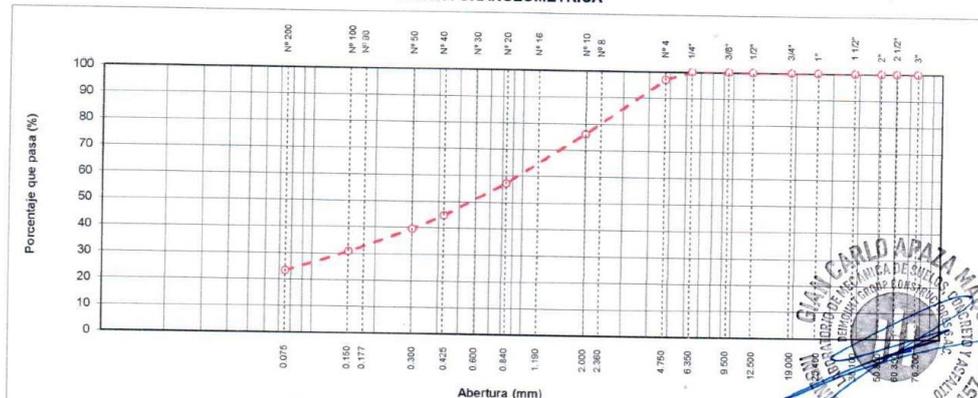
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	: MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE : SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0301 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: UTM E337527.19; N8331721.16	<b>TAMANO MÁXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-1	<b>LADO</b>	:
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.50 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						
6"	152.400						Peso inicial seco : 925.64 gr.
5"	127.000						Peso fracción :
4"	101.600						Contenido de Humedad (%) : 15.05
3"	76.200						
2 1/2"	60.350						Limite Liquido (LL): 31.39
2"	50.800						Limite Plastico (LP): 17.60
1 1/2"	38.100						Indice Plastico (IP): 13.80
1"	25.400						Clasificación (SUCS) : SC
3/4"	19.000						Clasificación (AASHTO) : A-2-6 (1)
1/2"	12.500						Indice de Consistencia : 1.19
3/8"	9.500						
1/4"	6.350						
N° 4	4.750	28.01	3.03	3.03	96.97		Descripción ( AASHTO): REGULAR
N° 8	2.360						Descripción ( SUCS): Arena arcillosa
N° 10	2.000	192.46	20.79	23.81	76.19		
N° 16	1.190						Materia Orgánica : --
N° 20	0.840	176.89	19.11	42.92	57.08		Turba : --
N° 30	0.600						CU : 0.000 CC : 0.000
N° 40	0.425	115.62	12.49	55.41	44.59		<b>OBSERVACIONES :</b>
N° 50	0.300	47.23	5.10	60.51	39.49		Grava > 2" : 0.0
N° 60	0.177						Grava 2" - N° 4 : 3.03
N° 100	0.150	82.35	8.89	69.40	30.60		Arena N°4 - N° 200 : 73.71
N° 200	0.075	67.85	7.33	76.73	23.27		Finos < N° 200 : 23.27
< N° 200	FONDO	215.43	23.27	100.00			%>3" : 0.0%

CURVA GRANULOMETRICA





# DEIMOUNT®

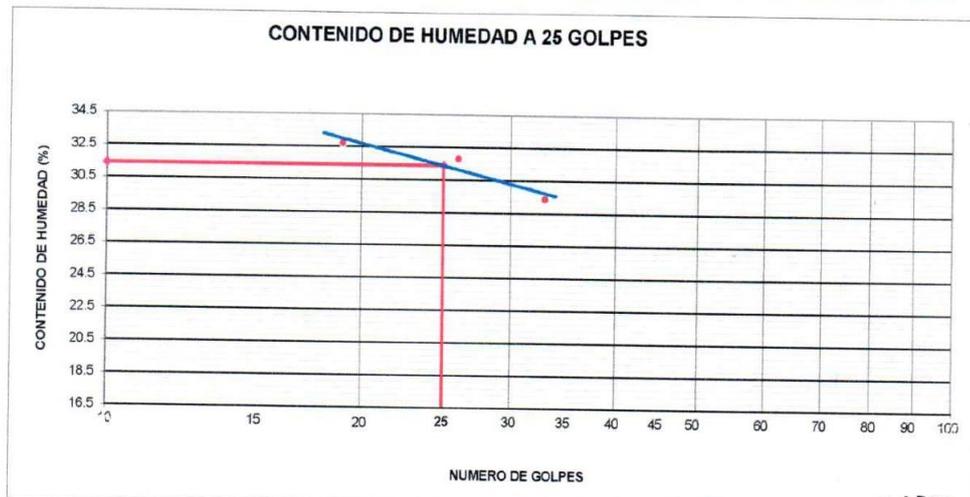


<b>LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110/111)</b>	Código: F-352
	Versión 3.0
	Vigencia: 15/03/2023
MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	Registro N°: RPRO-EMS 0301 - 23
: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	Fecha: 14/04/2023

PROCEDENCIA : UTM E337527.19; N8331721.1	TAMAÑO MAXIMO : N° 4
CALICATA : C-1	LADO : 0.0
MATERIAL : EMBALSE SAPANCOTA	
PROFUND. : 0.30 - 3.50	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N° TARRO		122	126	131
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		23.51	24.22	22.46
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		19.38	19.56	18.35
PESO DE AGUA (g)		4.13	4.66	4.11
PESO DEL TARRO (g)		5.32	5.32	5.43
PESO DEL SUELO SECO (g)		14.06	14.24	12.92
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		29.37	32.72	31.81
NUMERO DE GOLPES		33	19	26

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
N° TARRO		112	1148	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		12.65	12.78	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		11.58	11.65	
PESO DE AGUA (g)		1.07	1.13	
PESO DEL TARRO (g)		5.39	5.31	
PESO DEL SUELO SECO (g)		6.2	6.3	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		17.3	17.8	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	31.4
LIMITE PLASTICO	17.6
INDICE DE PLASTICIDAD	13.8

OBSERVACIONES





DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0301 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E337527.19; N8331721.16	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-1	<b>LADO</b>	: 0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.50		

N° DE ENSAYOS		1	2	3
N° Tara		<b>16</b>	<b>22</b>	<b>24</b>
Peso Tara + Suelo Humedo	(gr.)	<b>135.65</b>	<b>121.66</b>	<b>141.56</b>
Peso Tara + Suelo Seco	(gr.)	<b>122.45</b>	<b>110.26</b>	<b>127.85</b>
Peso Tara	(gr.)	<b>34.76</b>	<b>36.03</b>	<b>34.78</b>
Peso Agua	(gr.)	13.20	11.40	13.71
Peso Suelo Seco	(gr.)	87.69	74.23	93.07
Contenido de Humedad	(gr.)	15.05	15.36	14.73
<b>Promedio (%)</b>		<b>15.05</b>		

**Observaciones:**

.....

.....

.....

.....





# DEIMOUNT®



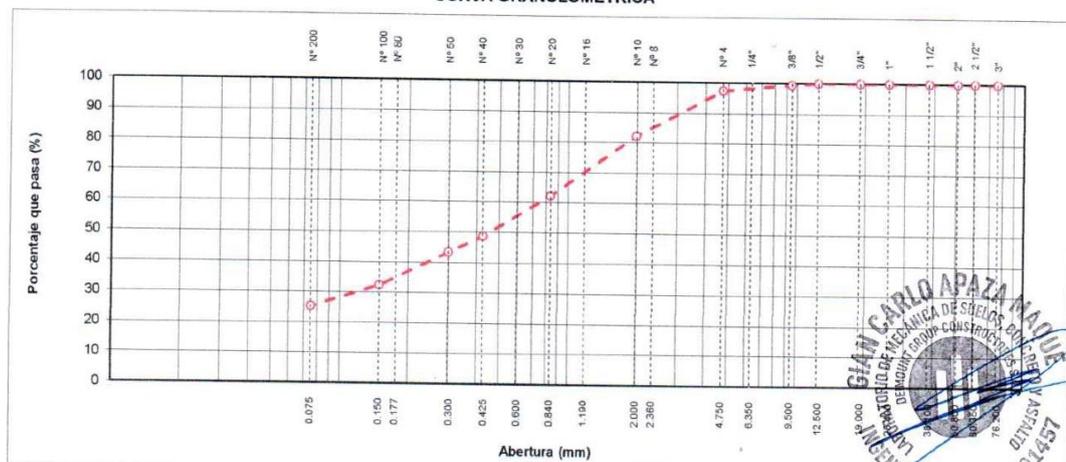
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0302 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: UTM E337176.66; N8331799.48	<b>TAMANO MÁXIMO</b>	: 3/8"
<b>CALICATA</b>	: C-2	<b>LADO</b>	:
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.35 - 3.50 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000						Peso inicial seco : 872.88 gr.
6"	152.400						Peso fracción :
5"	127.000						Contenido de Humedad (%) : 16.29
4"	101.600						Limite Líquido (LL): 23.50
3"	76.200						Limite Plástico (LP): 19.60
2 1/2"	60.350						Índice Plástico (IP): 3.90
2"	50.800						Clasificación (SUCS) : SM
1 1/2"	38.100						Clasificación (AASHTO) : A-1-b (0)
1"	25.400						Índice de Consistencia : 1.85
3/4"	19.000						Descripción (AASHTO): BUENO
1/2"	12.500						Descripción (SUCS): Arena limosa
3/8"	9.500	5.12	0.59	0.59	99.41		Materia Orgánica : --
1/4"	6.350						Turba : --
Nº 4	4.750	17.95	2.06	2.64	97.36		CU : 0.000 CC : 0.000
Nº 8	2.360						OBSERVACIONES :
Nº 10	2.000	132.24	15.15	17.79	82.21		Grava > 2" : 0.00
Nº 16	1.190						Grava 2" - Nº 4 : 2.64
Nº 20	0.840	175.23	20.07	37.87	62.13		Arena Nº4 - Nº 200 : 72.10
Nº 30	0.600						Finos < Nº 200 : 25.26
Nº 40	0.425	117.69	13.48	51.35	48.65		% > 3" : 0.0%
Nº 50	0.300	45.56	5.22	56.57	43.43		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	96.32	11.03	67.60	32.40		
Nº 200	0.075	62.32	7.14	74.74	25.26		
< Nº 200	FONDO	220.45	25.26	100.00			

### CURVA GRANULOMÉTRICA





DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
PROYECTO	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	Registro N°: RPRO-EMS 0302 - 23
SOLICITANTE	FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	Fecha: 14/04/2023

**I. Datos Generales**

PROCEDENCIA	: UTM E337176.66; N8331799.48	TAMAÑO MAXIMO	: 3/8"
CALICATA	: C-2	LADO	: 0
MATERIAL	: EMBALSE SAPANCOTA		
PROFUND.	: 0.35 - 3.50		

N° DE ENSAYOS		1	2	3
N° Tara		<b>12</b>	<b>15</b>	<b>18</b>
Peso Tara + Suelo Humedo	(gr.)	<b>138.69</b>	<b>124.22</b>	<b>118.64</b>
Peso Tara + Suelo Seco	(gr.)	<b>124.96</b>	<b>112.23</b>	<b>106.55</b>
Peso Tara	(gr.)	<b>35.79</b>	<b>38.11</b>	<b>36.66</b>
Peso Agua	(gr.)	13.73	11.99	12.09
Peso Suelo Seco	(gr.)	89.17	74.12	69.89
Contenido de Humedad	(gr.)	15.40	16.18	17.30
<b>Promedio (%)</b>		<b>16.29</b>		

**Observaciones:**

.....

.....

.....

.....



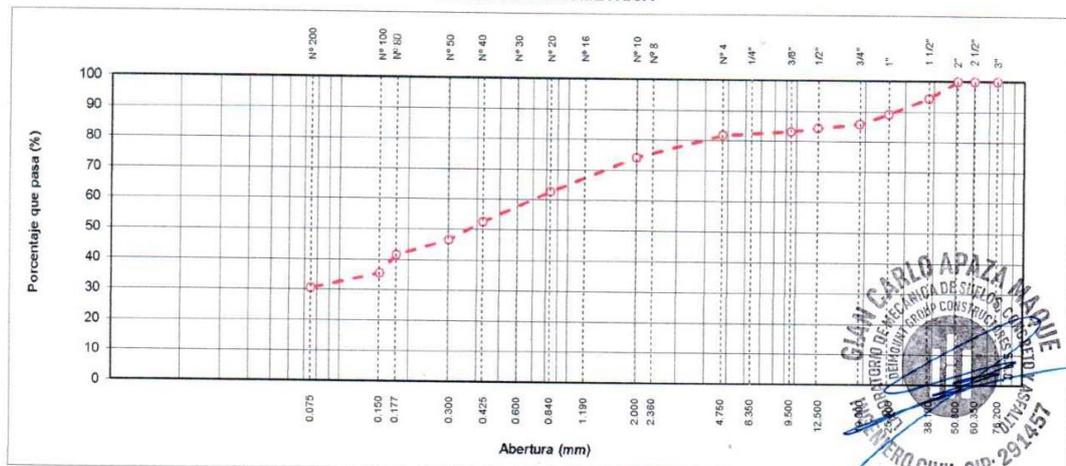
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE : SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0303 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: UTM E336924.37; N8331963.76	<b>TAMANO MÁXIMO</b>	: 1 1/2"
<b>CALICATA</b>	: C-3	<b>LADO</b>	:
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.25 - 3.45 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						Peso inicial seco : 690.23 gr.
6"	152.400						Peso fracción :
5"	127.000						Contenido de Humedad (%) : 28.67
4"	101.600						Límite Líquido (LL): 33.35
3"	76.200						Límite Plástico (LP): 23.00
2 1/2"	60.350						Índice Plástico (IP): 10.40
2"	50.800						Clasificación (SUCS): SC
1 1/2"	38.100	38.56	5.59	5.59	94.41		Clasificación (AASHTO): A-2-4 (0)
1"	25.400	36.65	5.31	10.90	89.10		Índice de Consistencia : 0.45
3/4"	19.000	22.65	3.28	14.18	85.82		Descripción ( AASHTO): BUENO
1/2"	12.500	10.64	1.54	15.72	84.28		Descripción ( SUCS): Arena arcillosa con grava
3/8"	9.500	7.68	1.11	16.83	83.17		Materia Orgánica : --
1/4"	6.350						Turba : --
Nº 4	4.750	9.64	1.40	18.23	81.77		CU : 0.000 CC : 0.000
Nº 8	2.360						OBSERVACIONES :
Nº 10	2.000	52.12	7.55	25.78	74.22		Grava > 2" : 0.00
Nº 16	1.190						Grava 2" - Nº 4 : 18.23
Nº 20	0.840	80.11	11.61	37.39	62.61		Arena Nº4 - Nº 200 : 51.31
Nº 30	0.600						Finos < Nº 200 : 30.46
Nº 40	0.425	68.97	9.99	47.38	52.62		%>3" : 0.0%
Nº 50	0.300						
Nº 60	0.250						
Nº 75	0.190						
Nº 100	0.150	42.54	6.16	53.54	46.46		
Nº 150	0.100	33.64	4.87	58.42	41.58		
Nº 200	0.075	42.15	6.11	64.52	35.48		
FONDO		34.65	5.02	69.54	30.46		
		210.23	30.46	100.00			

CURVA GRANULOMÉTRICA





DEIMOUNT®



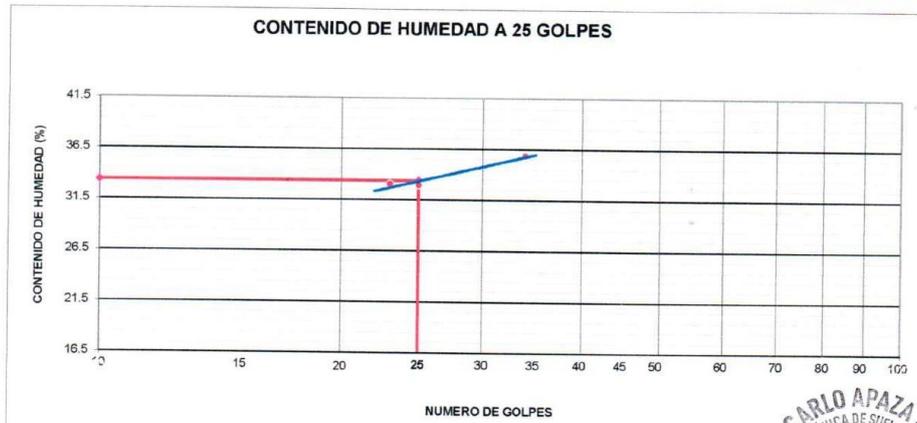
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110/111)</b>		Código: F-352 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
PROYECTO	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	Registro N°: RPRO-EMS 0303 - 23
SOLICITANTE	FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	Fecha: 14/04/2023

**I. Datos Generales**

PROCEDENCIA	UTM E336924.37; N8331963.7	TAMAÑO MAXIMO	1 1/2"
CALICATA	C-3	LADO	0.0
MATERIAL	EMBALSE SAPANCOTA		
PROFUND.	0.25 - 3.45		

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N° TARRO		121	127	131
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		22.45	21.42	25.21
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		17.98	17.46	20.31
PESO DE AGUA (g)		4.47	3.96	4.90
PESO DEL TARRO (g)		5.52	5.47	5.43
PESO DEL SUELO SECO (g)		12.46	11.99	14.88
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		35.87	33.03	32.93
NUMERO DE GOLPES		34	23	25

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
N° TARRO		103	107	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		11.98	13.36	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		10.78	11.87	
PESO DE AGUA (g)		1.20	1.49	
PESO DEL TARRO (g)		5.41	5.55	
PESO DEL SUELO SECO (g)		5.4	6.3	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		22.3	23.6	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	33.4
LIMITE PLASTICO	23.0
INDICE DE PLASTICIDAD	10.4





# DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0303 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336924.37; N8331963.76	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: 1 1/2"
<b>CALICATA</b>	: C-3	<b>LADO</b>	: 0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.25 - 3.45		

Nº DE ENSAYOS	1	2	3
Nº Tara	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>18</b>
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	<b>141.54</b>	<b>120.65</b>	<b>126.73</b>
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	<b>120.35</b>	<b>102.35</b>	<b>104.65</b>
Peso Tara (gr.)	<b>35.79</b>	<b>38.11</b>	<b>36.66</b>
Peso Agua (gr.)	21.19	18.30	22.08
Peso Suelo Seco (gr.)	84.56	64.24	67.99
Contenido de Humedad (gr.)	25.06	28.49	32.48
<b>Promedio (%)</b>	<b>28.67</b>		

**Observaciones:**

-----  
 -----  
 -----  
 -----





# DEIMOUNT®



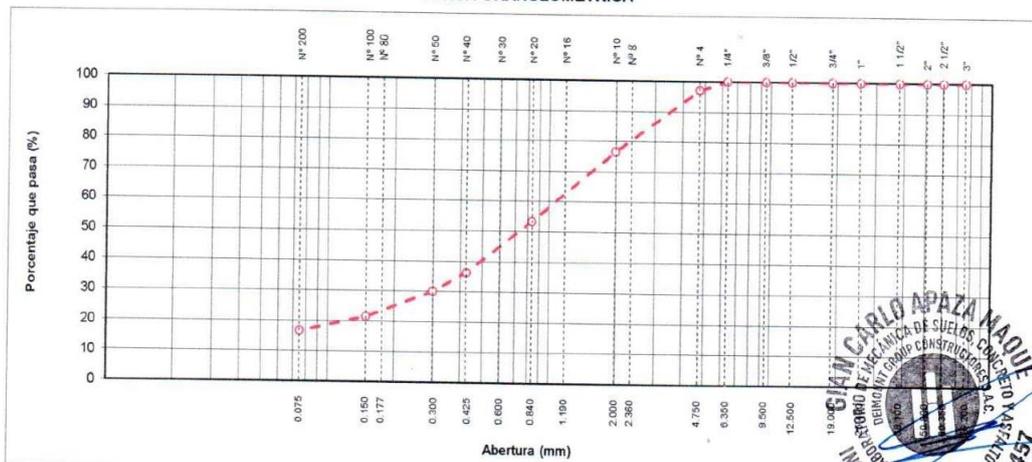
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE : SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0304 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: UTM E336294.45; N8332555.56	<b>TAMANO MÁXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-4	<b>LADO</b>	:
<b>MATERIAL</b>	: EJE DE LA PRESA SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.25 - 3.45 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						Peso inicial seco : 713.43 gr.
6"	152.400						Peso fracción :
5"	127.000						Contenido de Humedad (%) : 9.66
4"	101.600						Limite Líquido (LL): 23.93
3"	76.200						Limite Plástico (LP): 18.40
2 1/2"	60.350						Indice Plástico (IP): 5.50
2"	50.800						Clasificación (SUCS) : SC - SM
1 1/2"	38.100						Clasificación (AASHTO) : A-1-b (0)
1"	25.400						Indice de Consistencia : 2.58
3/4"	19.000						Descripción ( AASHTO): BUENO
1/2"	12.500						Descripción ( SUCS): Arena limo arcillosa
3/8"	9.500						Materia Orgánica : --
1/4"	6.350						Turba : --
N° 4	4.750	21.12	2.96	2.96	97.04		CU : 0.000 CC : 0.000
N° 8	2.360						<b>OBSERVACIONES :</b>
N° 10	2.000	146.25	20.50	23.46	76.54		Grava > 2" : 0.00
N° 16	1.190						Grava 2" - N° 4 : 2.96
N° 20	0.840	165.75	23.23	46.69	53.31		Arena N°4 - N° 200 : 80.36
N° 30	0.600						Finos < N° 200 : 16.68
N° 40	0.425	121.56	17.04	63.73	36.27		%>3" : 0.0%
N° 50	0.300	44.54	6.24	69.97	30.03		
N° 80	0.177						
N° 100	0.150	60.89	8.53	78.51	21.49		
N° 200	0.075	34.32	4.81	83.32	16.68		
< N° 200	FONDO	140.12	19.64	102.96			

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





# DEIMOUNT®



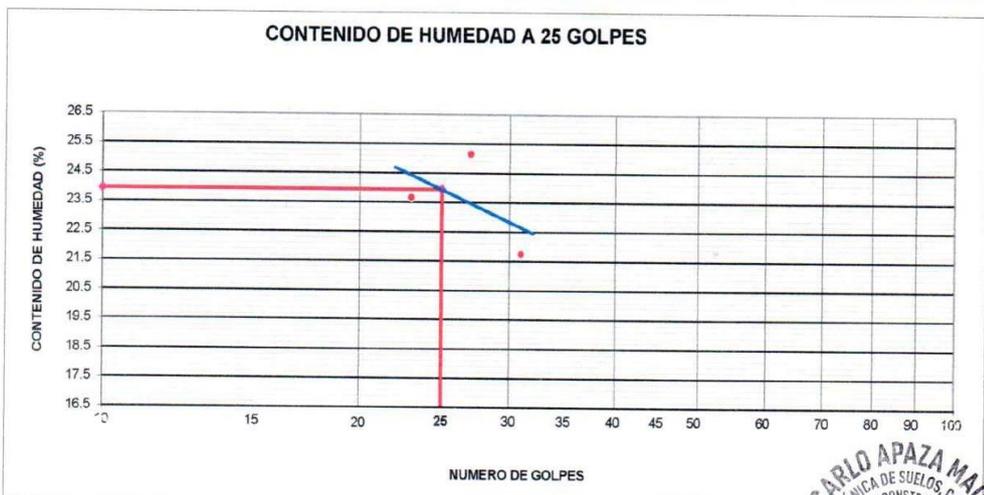
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110/111)</b>		Código: F-352 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0304 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336294.45; N8332555.5	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-4	<b>LADO</b>	: 0.0
<b>MATERIAL</b>	: EJE DE LA PRESA SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.25 - 3.45		

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N° TARRO		113	117	119
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		23.95	24.62	25.21
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		20.64	20.97	21.26
PESO DE AGUA (g)		3.31	3.65	3.95
PESO DEL TARRO (g)		5.42	5.54	5.55
PESO DEL SUELO SECO (g)		15.22	15.43	15.71
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		21.75	23.66	25.14
NUMERO DE GOLPES		31	23	27

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
N° TARRO		103	107	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		11.78	13.45	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		10.78	12.23	
PESO DE AGUA (g)		1.00	1.22	
PESO DEL TARRO (g)		5.41	5.55	
PESO DEL SUELO SECO (g)		5.4	6.7	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		18.6	18.3	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	23.9
LIMITE PLASTICO	18.4
INDICE DE PLASTICIDAD	5.5

OBSERVACIONES
---------------





DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0304 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336294.45; N8332555.56	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-4	<b>LADO</b>	: 0
<b>MATERIAL</b>	: EJE DE LA PRESA SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.25 - 3.45		

N° DE ENSAYOS	1	2	3
N° Tara	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>24</b>
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	<b>145.98</b>	<b>135.24</b>	<b>120.64</b>
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	<b>136.46</b>	<b>126.65</b>	<b>112.92</b>
Peso Tara (gr.)	<b>35.18</b>	<b>38.11</b>	<b>34.78</b>
Peso Agua (gr.)	9.52	8.59	7.72
Peso Suelo Seco (gr.)	101.28	88.54	78.14
Contenido de Humedad (gr.)	9.40	9.70	9.88
<b>Promedio (%)</b>	<b>9.66</b>		

**Observaciones:**

-----  
-----  
-----  
-----





# DEIMOUNT®



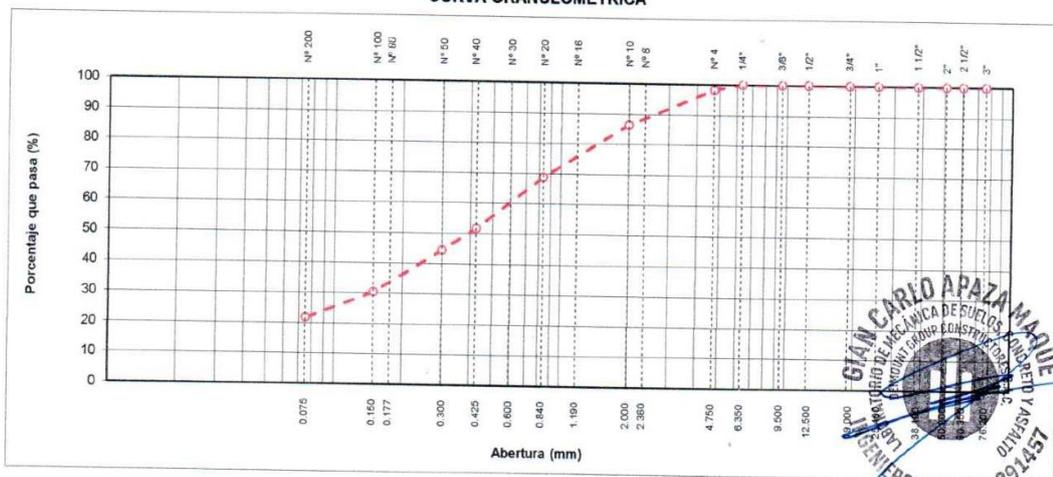
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0305 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

### I. Datos Generales

<b>UBICACIÓN</b>	: UTM E336623.14; N8332150.21	<b>TAMANO MÁXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-5	<b>LADO</b>	:
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.40 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						
6"	152.400						Peso inicial seco : 702.73 gr.
5"	127.000						Peso fracción :
4"	101.600						
3"	76.200						Contenido de Humedad (%) : 9.07
2 1/2"	60.350						
2"	50.800						Límite Líquido (LL): 22.57
1 1/2"	38.100						Límite Plástico (LP): 18.40
1"	25.400						Índice Plástico (IP): 4.20
3/4"	19.000						Clasificación (SUCS) : SC - SM
1/2"	12.500						Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (D)
3/8"	9.500						Índice de Consistencia : 3.24
1/4"	6.350						
N° 4	4.750	12.03	1.71	1.71	98.29		Descripción ( AASHTO): BUENO
N° 8	2.360						Descripción ( SUCS): Arena limo arcillosa
N° 10	2.000	83.98	11.95	13.66	86.34		
N° 16	1.190						Materia Orgánica : --
N° 20	0.840	123.32	17.55	31.21	68.79		Turba : --
N° 30	0.600						CU : 0.000 CC : 0.000
N° 40	0.425	120.65	17.17	48.38	51.62		<b>OBSERVACIONES :</b>
N° 50	0.300	50.55	7.19	55.57	44.43		Grava > 2" : 0.00
N° 80	0.177						Grava 2" - N° 4 : 1.71
N° 100	0.150	98.65	14.04	69.61	30.39		Arena N°4 - N° 200 : 76.51
N° 200	0.075	60.54	8.61	78.23	21.77		Finos < N° 200 : 21.77
< N° 200	FONDO	153.01	21.77	100.00			%>3" : 0.0%

### CURVA GRANULOMETRICA





DEIMOUNT®



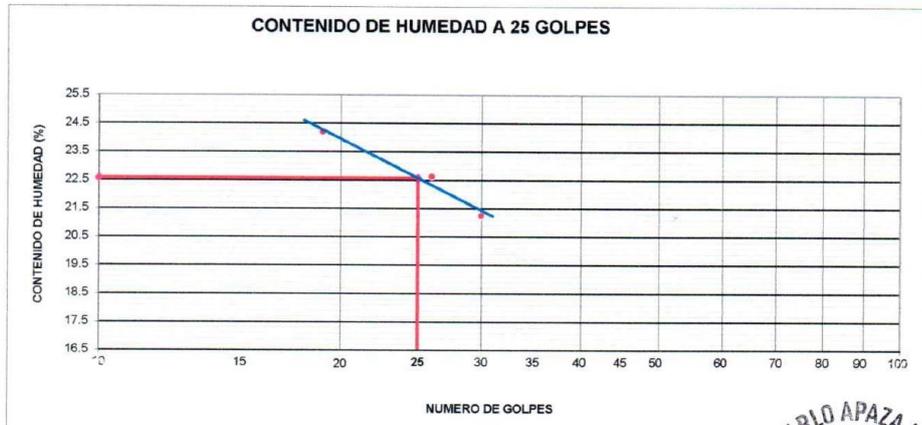
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110/111)</b>		<b>Código: F-352</b>
		<b>Versión 3.0</b>
		<b>Vigencia: 15/03/2023</b>
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0305 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336623.14; N8332150.2	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-5	<b>LADO</b>	: 0.0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.40		

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N° TARRO		103	115	107
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		20.65	23.49	21.65
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		17.98	19.98	18.68
PESO DE AGUA (g)		2.67	3.51	2.97
PESO DEL TARRO (g)		5.41	5.47	5.55
PESO DEL SUELO SECO (g)		12.57	14.51	13.13
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		21.24	24.19	22.62
NUMERO DE GOLPES		30	19	26

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
N° TARRO		102	105	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		11.94	12.48	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		10.98	11.34	
PESO DE AGUA (g)		0.96	1.14	
PESO DEL TARRO (g)		5.37	5.56	
PESO DEL SUELO SECO (g)		5.6	5.8	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		17.1	19.7	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	22.6
LIMITE PLASTICO	18.4
INDICE DE PLASTICIDAD	4.2

OBSERVACIONES





# DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0305 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336623.14; N8332150.21	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 4
<b>CALICATA</b>	: C-5	<b>LADO</b>	: 0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.40		

N° DE ENSAYOS	1	2	3
N° Tara	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>34</b>
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	<b>132.50</b>	<b>108.23</b>	<b>124.64</b>
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	<b>124.36</b>	<b>102.13</b>	<b>117.48</b>
Peso Tara (gr.)	<b>36.66</b>	<b>36.33</b>	<b>34.83</b>
Peso Agua (gr.)	8.14	6.10	7.16
Peso Suelo Seco (gr.)	87.70	65.80	82.65
Contenido de Humedad (gr.)	9.28	9.27	8.66
<b>Promedio (%)</b>	<b>9.07</b>		

**Observaciones:**

-----  
-----  
-----  
-----





DEIMOUNT®



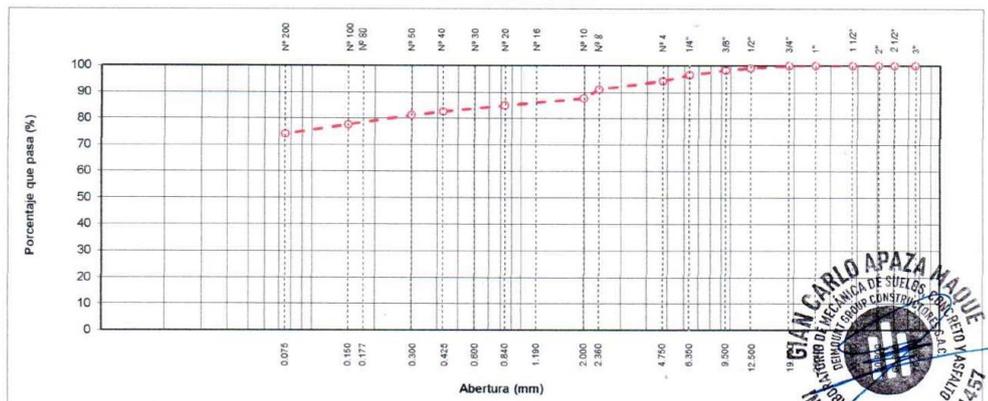
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
PROYECTO	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	Registro N°: RPRO-EMS 0306 - 23
SOLICITANTE	FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	Fecha: 14/04/2023

**I. Datos Generales**

UBICACIÓN	: UTM E336483.26; N8332336.46	TAMANO MÁXIMO	: 1/2"
CALICATA	: C-6	LADO	:
MATERIAL	: EMBALSE SAPANCOTA		
PROFUND.	: 0.35 - 3.40 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
10"	254.000						Peso inicial seco : 768.00 gr. Peso fracción :
6"	152.400						
5"	127.000						Contenido de Humedad (%) : 22.66
4"	101.600						Límite Líquido (LL): 50.58
3"	76.200						Límite Plástico (LP): 27.60
2 1/2"	60.350						Índice Plástico (IP): 23.00
2"	50.800						Clasificación (SUCS) : CH
1 1/2"	38.100						Clasificación (AASHTO) : A-7-6 (15)
1"	25.400						Índice de Consistencia : 1.22
3/4"	19.000						Descripción (AASHTO): MALO
1/2"	12.500	6.54	0.85	0.85	99.15		Descripción (SUCS): Arcilla de alta plasticidad con arena
3/8"	9.500	7.68	1.00	1.85	98.15		Materia Orgánica : --
1/4"	6.350	12.97	1.69	3.54	96.46		Turba : --
Nº 4	4.750	17.34	2.26	5.80	94.20		CU : 0.000 CC : 0.000
Nº 8	2.360	23.86	3.11	8.90	91.10		OBSERVACIONES :
Nº 10	2.000	26.98	3.51	12.42	87.58		Grava > 2" : 0.00
Nº 16	1.190						Grava 2" - Nº 4 : 5.80
Nº 20	0.840	21.24	2.77	15.18	84.82		Arena Nº4 - Nº 200 : 20.17
Nº 30	0.600						Finos < Nº 200 : 74.03
Nº 40	0.425	17.12	2.23	17.41	82.59		%>3" : 0.0%
Nº 50	0.300	10.95	1.43	18.84	81.16		
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	26.78	3.49	22.33	77.67		
Nº 200	0.075	27.98	3.64	25.97	74.03		
< Nº 200	FONDO	568.56	74.03	100.00			

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





# DEIMOUNT®



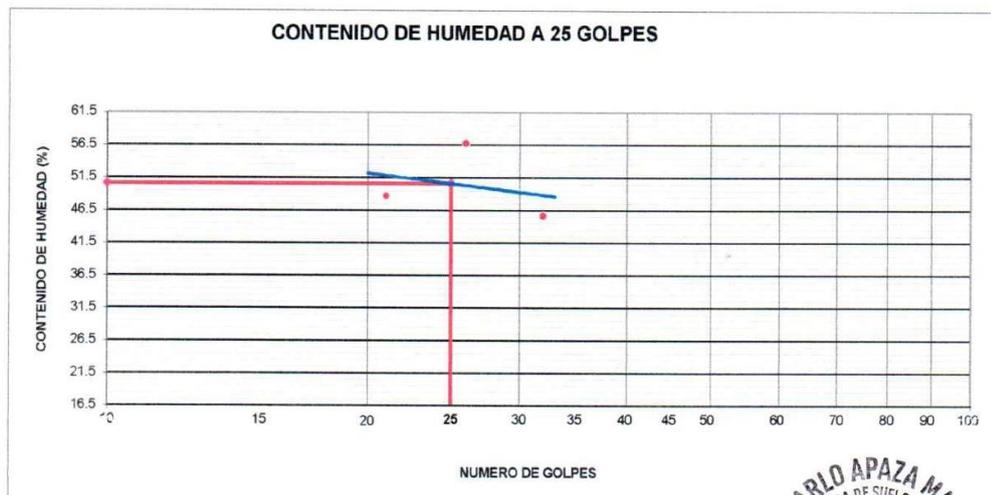
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110/111)</b>		Código: F-352 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE : SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0306 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336483.26; N8332336.4	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: 1/2"
<b>CALICATA</b>	: C-6	<b>LADO</b>	: 0.0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.35 - 3.40		

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N° TARRO		104	106	111
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		19.32	18.94	18.76
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		14.95	14.56	13.98
PESO DE AGUA (g)		4.37	4.38	4.78
PESO DEL TARRO (g)		5.36	5.56	5.55
PESO DEL SUELO SECO (g)		9.59	9.00	8.43
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		45.57	48.67	56.70
NUMERO DE GOLPES		32	21	26

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
N° TARRO		113	105	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		11.22	10.98	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		9.98	9.75	
PESO DE AGUA (g)		1.24	1.23	
PESO DEL TARRO (g)		5.42	5.37	
PESO DEL SUELO SECO (g)		4.6	4.4	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		27.2	28.1	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	50.6
LIMITE PLASTICO	27.6
INDICE DE PLASTICIDAD	23.0





DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
PROYECTO	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	Registro N°: RPRO-EMS 0306 - 23
SOLICITANTE	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	Fecha: 14/04/2023

**I. Datos Generales**

PROCEDENCIA	: UTM E336483.26; N8332336.46	TAMAÑO MAXIMO	: 1/2"
CALICATA	: C-6	LADO	: 0
MATERIAL	: EMBALSE SAPANCOTA		
PROFUND.	: 0.35 - 3.40		

N° DE ENSAYOS		1	2	3
N° Tara		<b>15</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
Peso Tara + Suelo Humedo	(gr.)	<b>122.45</b>	<b>95.54</b>	<b>101.69</b>
Peso Tara + Suelo Seco	(gr.)	<b>105.65</b>	<b>84.56</b>	<b>90.65</b>
Peso Tara	(gr.)	<b>38.11</b>	<b>34.86</b>	<b>38.08</b>
Peso Agua	(gr.)	16.80	10.98	11.04
Peso Suelo Seco	(gr.)	67.54	49.70	52.57
Contenido de Humedad	(gr.)	24.87	22.09	21.00
<b>Promedio (%)</b>		<b>22.66</b>		

**Observaciones:**

-----  
 -----  
 -----  
 -----





# DEIMOUNT®



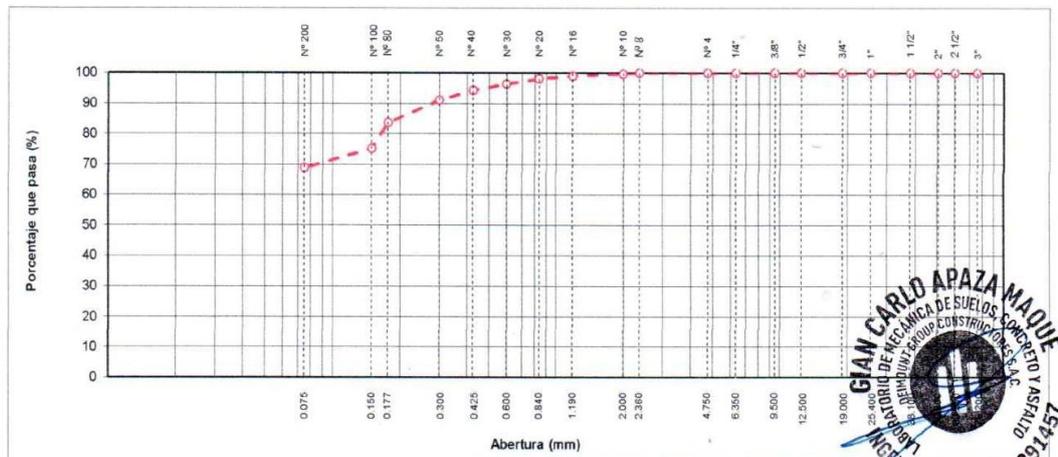
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b> (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)		Código: F-346 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE : SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0307 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>UBICACIÓN</b>	: UTM E336302.35; N8332463.03	<b>TAMANO MÁXIMO</b>	: N° 10
<b>CALICATA</b>	: C-7	<b>LADO</b>	:
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.50 m.		

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						
6"	152.400						<b>Peso inicial seco :</b> 385.19 gr.
5"	127.000						<b>Peso fracción :</b>
4"	101.600						<b>Contenido de Humedad (%) :</b> 61.36
3"	76.200						
2 1/2"	60.350						
2"	50.800						<b>Límite Líquido (LL):</b> 71.95
1 1/2"	38.100						<b>Límite Plástico (LP):</b> 49.60
1"	25.400						<b>Índice Plástico (IP):</b> 22.40
3/4"	19.000						<b>Clasificación (SUCS):</b> MH
1/2"	12.500						<b>Clasificación (AASHTO):</b> A-7-5 (15)
3/8"	9.500						<b>Índice de Consistencia :</b> 0.47
1/4"	6.350						
N° 4	4.750						<b>Descripción ( AASHTO):</b> MALO
N° 8	2.360						<b>Descripción ( SUCS):</b> Limo arenoso de alta plasticidad
N° 10	2.000	0.95	0.2	0.2	99.75		
N° 16	1.190	2.84	0.7	1.0	99.02		<b>Materia Orgánica :</b> --
N° 20	0.840	3.65	0.9	1.9	98.07		<b>Turba :</b> --
N° 30	0.600	6.34	1.6	3.6	96.42		<b>CU : 0.000</b> <b>CC : 0.000</b>
N° 40	0.425	8.31	2.2	5.7	94.27		<b>OBSERVACIONES :</b>
N° 50	0.300	12.35	3.2	8.9	91.06		<b>Grava &gt; 2" :</b> 0.00
N° 80	0.177	28.87	7.5	16.4	83.56		<b>Grava 2" - N° 4 :</b> 0.00
N° 100	0.150	32.50	8.4	24.9	75.13		<b>Arena N°4 - N° 200 :</b> 31.26
N° 200	0.075	24.58	6.4	31.3	68.74		<b>Finos &lt; N° 200 :</b> 68.74
< N° 200	FONDO	264.80	68.7	100.0			<b>%&gt;3" :</b> 0.0%

**CURVA GRANULOMETRICA**





# DEIMOUNT®



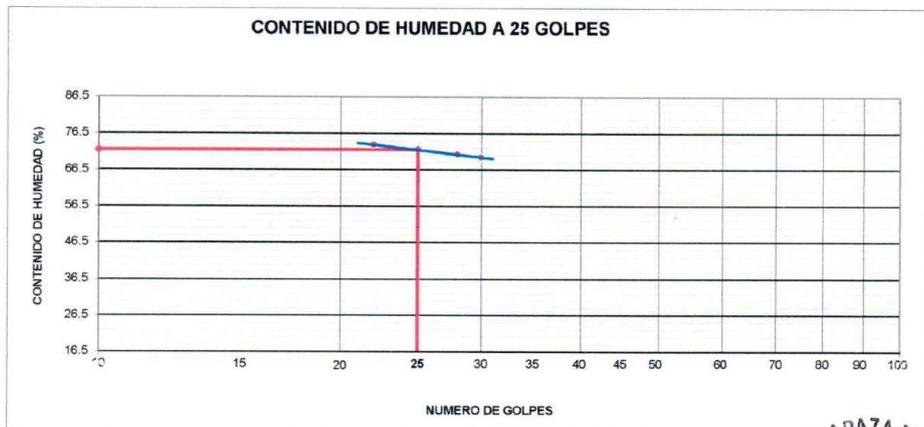
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110/111)</b>		<b>Código: F-352</b>
		<b>Versión 3.0</b>
		<b>Vigencia: 15/03/2023</b>
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0307 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336302.35; N8332463.0	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 10
<b>CALICATA</b>	: C-7	<b>LADO</b>	: 0.0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.50		

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N° TARRO		107	103	108
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	18.63	19.00	18.24
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	13.25	13.25	12.98
PESO DE AGUA	(g)	5.38	5.75	5.26
PESO DEL TARRO	(g)	5.55	5.41	5.55
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7.70	7.84	7.43
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	69.87	73.34	70.79
NUMERO DE GOLPES		30	22	28

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
N° TARRO		112	110	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	11.22	10.98	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.32	9.12	
PESO DE AGUA	(g)	1.90	1.86	
PESO DEL TARRO	(g)	5.39	5.46	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.9	3.7	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	48.3	50.8	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	72.0
LIMITE PLASTICO	49.6
INDICE DE PLASTICIDAD	22.4





# DEIMOUNT®



<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)</b>		Código: F-347 Versión 3.0 Vigencia: 15/03/2023
<b>PROYECTO</b>	MODELAMIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE SAPANCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.	<b>Registro N°:</b> RPRO-EMS 0307 - 23
<b>SOLICITANTE</b>	: FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA; DIDIER LEONIDAS MAMANI TICONA	<b>Fecha:</b> 14/04/2023

**I. Datos Generales**

<b>PROCEDENCIA</b>	: UTM E336302.35; N8332463.03	<b>TAMAÑO MAXIMO</b>	: N° 10
<b>CALICATA</b>	: C-7	<b>LADO</b>	: 0
<b>MATERIAL</b>	: EMBALSE SAPANCOTA		
<b>PROFUND.</b>	: 0.30 - 3.50		

N° DE ENSAYOS	1	2	3
N° Tara	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	<b>97.68</b>	<b>98.68</b>	<b>103.26</b>
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	<b>71.48</b>	<b>75.86</b>	<b>81.56</b>
Peso Tara (gr.)	<b>38.11</b>	<b>34.86</b>	<b>38.08</b>
Peso Agua (gr.)	26.20	22.82	21.70
Peso Suelo Seco (gr.)	33.37	41.00	43.48
Contenido de Humedad (gr.)	78.51	55.66	49.91
<b>Promedio (%)</b>	<b>61.36</b>		

**Observaciones:**

-----  
 -----  
 -----  
 -----





DEIMOUNT®



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

RESUMEN DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)																		
PROYECTO :	MODALIMENTO DE LA ACUMULACION DE SEDIMENTOS A LOS 3, 20, 29 Y 30 AÑOS EN EL ENBALSE SAPARCOTA - PUCARA - LAMPA - PUNO.																	
SOLICITANTE :	FLAVIA GLADES VALERIANO HAQUERA, OJEDA, LEONIDAS MANARI TICOMA																	
																Fecha:	14/04/2023	
CALICATA	COORDENADAS UTM	LIBICACION		GRANULOMETRIA						LIMITE DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		HUMEDAD NATURAL (%)	DESCRIPCION DEL SUELO		
		ESTRATO	Prof. (m)	% QUE PASA	# 20#	# 40	# 60	# 100	D50 (mm)	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L. (%)	L.P. (%)			I.P. (%)	SUCS
C-01 EM	337527.15 - 8331721.18 - ENBALSE	E-2	0.30 - 3.50	23.27	44.59	66.97	100	0.6	3.03	73.71	23.27	31.39	17.6	13.8	SC	A-2-6 (1)	15.05	ARENA ARCILLOSA
C-02 EM	337176.86 - 8331730.48 - ENBALSE	E-2	0.35 - 3.50	25.26	48.05	67.36	100	0.47	2.64	72.1	25.26	23.5	19.6	SM	A-1-6 (5)	16.29	ARENA LIMOSA	
C-03 EM	336924.37 - 8331993.75 - ENBALSE	E-2	0.25 - 3.45	30.46	52.62	61.77	100	0.37	18.23	51.31	30.46	33.35	23	10.4	SC	A-2-4 (5)	29.47	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
C-04 EM	336294.45 - 8332558.56 - EJE DE PRESA	E-2	0.35 - 3.45	18.88	36.27	67.04	100	0.78	2.96	80.36	18.88	23.83	18.4	5.5	SC-SM	A-1-8 (5)	9.85	ARENA LIMO ARCILLOSA
C-05 EM	336823.14 - 8332150.21 - ENBALSE	E-2	0.30 - 3.40	21.77	51.62	68.29	100	0.4	1.71	76.61	21.77	22.87	18.4	4.2	SC-SM	A-2-4 (5)	9.07	ARENA LIMO ARCILLOSA
C-06 EM	336483.36 - 8332348.48 - ENBALSE	E-2	0.35 - 3.45	74.03	82.59	84.2	100	0	5.8	20.17	74.03	50.58	27.8	23	CH	A-7.6 (15)	22.68	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA
C-07 EM	336302.35 - 8332448.03 - ENBALSE	E-2	0.30 - 3.50	69.74	84.27	100	100	0	0	31.28	69.74	71.95	48.8	22.4	MH	A-7.5 (15)	61.36	LIMO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA,  
identificado con DNI 73624540 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRÍCOLA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ MODELAHIENTO DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS  
A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE  
SAPANCOTA - PUCARÁ - LAMPA - PUNO ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 06 de DICIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FLAVIA GLADES VALERIANO MAQUERA,  
identificado con DNI 73624540 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRÍCOLA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“MODELAMIENTOS DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS  
A LOS 5, 10, 20 Y 50 AÑOS EN EL EMBALSE  
SAPANCOTA - PUCARÁ - LAMPA - PUNO”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 06 de DIEMBRE del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Didier Leonidas Mamani Ticona,  
identificado con DNI 76361902 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" Modelamiento de la acumulación de sedimentos  
a los 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapanota  
Pucará - Lampa - Puno "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 06 de diciembre del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo Dieier Leonidas Mamani Ticona  
identificado con DNI 76361902 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agrícola  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Modelamiento de la acumulación de sedimentos  
a los 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapanota  
Pucará - Lampa - Puno ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 06 de diciembre del 20 23

Dieier

FIRMA (obligatoria)



Huella