



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



**COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS MÉTODOS**  
**CONO DE ARENA Y DENSÍMETRO NUCLEAR PARA**  
**DETERMINAR LA DENSIDAD DE CAMPO EN LA EJECUCIÓN**  
**DEL DIQUE DE CONTENCIÓN DEL PROYECTO SAN GABRIEL -**  
**ICHUÑA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MAYHUA CCAHUANA VICTOR MARIO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE  
LOS MÉTODOS CONO DE ARENA Y DEN  
SÍMETRO NUCLEAR PARA DETERMINAR  
LA DE**

AUTOR

**VICTOR MARIO MAYHUA CCAHUANA**

RECuento DE PALABRAS

**17571 Words**

RECuento DE CARACTERES

**85519 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**84 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**27.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 9, 2024 2:16 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 9, 2024 2:18 PM GMT-5**

● **7% de similitud general**

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

  
INGENIERO GEÓLOGO  
Georges Florancio Ulerena Peredo  
Asesor



Resumen



## DEDICATORIA

*A Dios por concederme lograr este único momento especial de mi vida. Por las victorias y etapas complicadas, he aprendido a valorar cada oportunidad. A mis padres, que estuvieron conmigo en el transcurso de mis estudios y a lo largo de mi vida profesional, gracias por inculcarme un ejemplo de fortaleza y valentía. A mis hermanos y hermanas por su amor y apoyo moral. Finalmente, a mis abuelos que me bendicen desde cielo.*

*¡Gracias por confiar en mí!*

**Victor Mario Mayhua Ccahuana**



## AGRADECIMIENTOS

*Muchas gracias y desde el fondo de mi corazón:*

*A Dios por ampararme en el transcurso de mi camino y darme la fuerza para vencer inconvenientes y desafíos a lo largo de mi existencia.*

*A mi querida madre Reymunda, querido padre Octavio, mis hermanos María, Rosa, Serafina, Edgar y Elisandro, por su constante motivación y desarrollo personal y profesional.*

*A mi prometida Celina por su ayuda, motivación, comprensión constante.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, donde me gradué, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, que me permitió ser parte de ello durante 5 años, a todos mis Docentes.*

*A MSc. Georges Florencio Llerena Peredo, ser asesor y ser parte de esta investigación y por sus valiosos tiempo e ideas para así lograr el objetivo.*

*A la empresa Cumbra Perú S.A., en el que cumplí mis funciones profesionales a través de capacitaciones, asimismo quiero manifestar mi agradecimiento por concederme a acceder a los datos de este estudio.*

*Al equipo de calidad de la empresa CUMBRA PERÚ S.A., por compartir sus conocimientos cada día, a los ingenieros Roberto Bartolo, Johann Jiménez, Miguel Ramirez, Melvin Arenas, Percy Hinojosa, Percy Guzmán, Huber Silva, Omar Torres, Jimmy Limachi, Héctor Huamani y Wili Mamani y todos los compañeros de trabajo.*

**Victor Mario Mayhua Ccahuana**



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>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 DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....</b>	<b>18</b>
1.2.1 Problema General:.....	18
1.2.2 Problemas Específicos: .....	18
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 HIPÓTESIS .....</b>	<b>19</b>
1.4.1 Hipótesis general:.....	19
1.4.2 Hipótesis específico: .....	19
<b>1.5 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
1.5.1 Objetivo general .....	19
1.5.2 Objetivos específicos.....	19



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>21</b>
2.1.1	Antecedentes Internacionales:.....	21
2.1.2	Antecedentes Nacionales: .....	22
2.1.3	Antecedentes Locales:.....	25
<b>2.2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.2.1	Dique de contención.....	25
2.2.2	Geología y mecánica de suelos. ....	28
<b>2.3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>29</b>
	Terzaghi .....	29
2.3.1	Análisis Granulométrico (ASTM D 6913-17) .....	29
2.3.2	Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS (ASTM D2487 – 17) .....	30
2.3.3	Contenido de agua (humedad) (ASTM D 2216).....	33
2.3.4	Límites de consistencia (ASTM D 4318).....	35
2.3.5	Proctor estándar (ASTM D 698).....	37
2.3.6	Ensayo por cono de arena (ASTM D1556).....	39
2.3.7	Ensayo por densímetro nuclear (ASTM D 6938).....	45

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>53</b>
3.1.1	Materiales .....	53
3.1.2	Equipos.....	53
<b>3.2</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>54</b>



3.2.1	Trabajos en laboratorio.....	57
3.2.2	Trabajos en campo. ....	58
3.2.3	Actividades finales en oficina. ....	60

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3</b>	<b>CLIMA Y METEOROLOGÍA.....</b>	<b>63</b>
4.3.1	Temperatura del aire.....	63
4.3.2	Humedad relativa: .....	63
4.3.3	Precipitación.....	64
4.3.4	Velocidad y dirección del viento.....	64
<b>4.4</b>	<b>GEOLOGÍA .....</b>	<b>64</b>
<b>4.5</b>	<b>GRUPO PUNO (P-pu) CENOZOICO .....</b>	<b>65</b>
<b>4.6</b>	<b>GRUPO TACAZA .....</b>	<b>66</b>
4.6.1	Formación Pichu (P-pi).....	66
<b>4.7</b>	<b>DEPÓSITOS CUATERNARIOS .....</b>	<b>67</b>
4.7.1	Depósitos Fluvioglaciares Pleistocénicos (Qpl-fg).....	67
4.7.2	Depósitos Morrenicos (Qpl-mo) .....	67
4.7.3	Lahars (Qpl-bxa) .....	68
4.7.4	Depósitos aluviales y arenas de alteración (Qh-el,Qh-al):.....	68
4.7.5	Depósitos Aluviales (Qh-al).....	68
4.7.6	Cenizas volcánicas (Qh-ce).....	68

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN



<b>5.1</b>	<b>PRESENTACION DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
5.1.1	Comparación del porcentaje de compactación.....	69
5.1.2	Variación de resultados.....	72
5.1.3	La eficiencia de las características y el tiempo de ejecución de ensayos. .....	76
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>84</b>

**ÁREA:**

**TEMA:**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:**



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Dique de concreto. ....	26
<b>Figura 2</b> Dique de Gaviones.....	27
<b>Figura 3</b> Dique Roca.....	27
<b>Figura 4</b> Dique de tierra.....	28
<b>Figura 5</b> Abertura de juego de tamices estándar .....	29
<b>Figura 6</b> Requisito mínimo de la masa para el espécimen .....	30
<b>Figura 7</b> Diagrama de flujo para la clasificación de suelos gruesos y finos (sucs)...	33
<b>Figura 8</b> Requisitos mínimos de masa para el cálculo de humedad. ....	34
<b>Figura 9</b> Casa grande.....	36
<b>Figura 10</b> Elaboración de limite plástico.....	36
<b>Figura 11</b> Carta de plasticidad de A. Casagrande (Casagrande, 1948) .....	37
<b>Figura 12</b> Relación humedad y densidad seca.....	39
<b>Figura 13</b> Cono de arena y accesorios.....	41
<b>Figura 14</b> Densímetro nuclear y sus accesorios. ....	46
<b>Figura 15</b> Tipos de transmisión: directa.....	47
<b>Figura 16</b> Tipos de Transmisión: Retro transmisión.....	48
<b>Figura 17</b> Vigilancia radiológica individual (dosímetro).....	49
<b>Figura 18</b> Vigilancia radiológica de áreas (Monitores fijos o portátiles).....	50
<b>Figura 19</b> Ejecución del ensayo cono de arena. ....	54
<b>Figura 20</b> Ejecución de ensayo densímetro nuclear. ....	54
<b>Figura 21</b> Realización de análisis granulométrico.....	57
<b>Figura 22</b> Realización de Proctor estándar.....	58
<b>Figura 23</b> Cono de arena in situ.....	59



<b>Figura 24</b>	Densímetro nuclear in situ .....	59
<b>Figura 25</b>	Mapa político del Perú y Moquegua.....	61
<b>Figura 26</b>	Imagen de Dron del proyecto.....	62
<b>Figura 27</b>	Unidades estratigráficas de la zona.....	65
<b>Figura 28</b>	Variación del Porcentaje de Compactación Cono de arena – Densímetro nuclear.....	73
<b>Figura 29</b>	Correlación cono de arena y densímetro nuclear.....	74



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Proctor estándar .....	38
<b>Tabla 2</b> Plan de puntos de inspección. ....	56
<b>Tabla 3</b> Rendimiento de cono de arena y densímetro nuclear. ....	60
<b>Tabla 4</b> Accesibilidad a la zona de estudio. ....	63
<b>Tabla 5</b> Roca arenisca. ....	66
<b>Tabla 6</b> Roca andesita. ....	67
<b>Tabla 7</b> Registro de densidades.....	69
<b>Tabla 8</b> Comparación: cono de arena y densímetro nuclear. ....	71
<b>Tabla 9</b> Variación del Porcentaje de Compactación del cono de arena con respecto al densímetro nuclear. ....	72
<b>Tabla 10</b> Interpretación del coeficiente "r" de Pearson.....	74
<b>Tabla 11</b> Correlación de Pearson .....	75
<b>Tabla 12</b> Prueba de normalidad – porcentaje de compactación.....	75
<b>Tabla 13</b> Ventajas y desventajas del método cono de arena y densímetro nuclear.....	77
<b>Tabla 14</b> Tiempo empleado de ensayos – Cono de Arena y Densímetro Nuclear.....	78
<b>Tabla 15</b> Promedio: tiempo empleado de por cada método.....	79



## ACRÓNIMOS

<b>ASTM</b>	: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
<b>C</b>	: Arcilla
<b>CL</b>	: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
<b>GM</b>	: Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
<b>GC</b>	: Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
<b>GW</b>	: Gravas, bien graduadas.
<b>G</b>	: Grava
<b>IP</b>	: Índice de Plasticidad.
<b>IPEN</b>	: Instituto Peruano de Energía Nuclear
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
<b>LL</b>	: Límite líquido
<b>LP</b>	: Límite Plástico
<b>M</b>	: Limo
<b>ML</b>	: Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
<b>O</b>	: Orgánico
<b>S</b>	: Arena
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.



- SM** : Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
- SC** : Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
- SUCS** : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- PPI** : Plan de Puntos de Inspección.
- W** : Bien Graduado



## RESUMEN

La presente investigación está ubicada en la comunidad Santa Cruz de Oyo Oyo del distrito de Ichuña, provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua. Empleando los ensayos se observó inconvenientes relacionados al tiempo y datos fiables. Obtuve como principal problema ¿qué método entre cono de arena y densímetro nuclear es más eficaz para determinar la densidad? El objetivo principal fue comparar los resultados entre los métodos cono de arena y densímetro nuclear, para determinar la densidad. La metodología que se utilizó en la investigación es de tipo cuantitativa y descriptiva, los datos que se recolectaron fueron mediante el PPI para la ejecución de los ensayos en ambos métodos. El tipo de análisis estadístico fue la correlación de Pearson. Los resultados: en cuanto a la comparación se determinó que ambos métodos contribuyen paralelamente en la determinación de la densidad, ya que el valor está por encima del 95% de compactación, significa que ambos métodos pueden ser utilizados. Podemos sostener que la variación de los resultados del cono de arena y densímetro nuclear en base de la muestra de 30 ensayos: 27 ensayos que representa 90 % tiene variación  $\pm 2\%$  y 3 ensayos que representa el 10% tiene una variación del  $\pm 1\%$ , esto se refiere a la variación de cada método. Correspondiente a una relación positiva media ( $R=0.47$ ) según la correlación de Pearson. Al analizar las características de las ventajas y desventajas de ambos métodos nos permitió comprobar la validez de nuestra hipótesis, al aplicar el promedio aritmético nos muestra que el densímetro nuclear brinda un promedio de 8 minutos por ensayo y el cono de arena brinda un promedio de 36 minutos por ensayo, entonces el más eficiente para utilizar en menor tiempo es el método densímetro nuclear.

**Palabras Clave:** Cono de arena, Densidad de Campo, Densímetro Nuclear.



## ABSTRACT

This research is located in the community of Santa Cruz de Oyo Oyo in the district of Ichuña, province of General Sánchez Cerro, department of Moquegua. Using the tests, inconveniences related to time and reliable data were observed. The main problem was: which method between sand cone and nuclear densitometer is more effective to determine density? The main objective was to compare the results between the sand cone and nuclear densitometer methods to determine density. The methodology used in the research is quantitative and descriptive, the data collected were through the PPI for the execution of the tests in both methods. The type of statistical analysis was Pearson's correlation. The results: in terms of comparison, it was determined that both methods contribute in parallel to determining density, since the value is above 95% compaction, meaning that both methods can be used. We can say that the variation of the results of the sand cone and nuclear densitometer based on the sample of 30 tests: 27 tests representing 90% have a variation of  $\pm 2\%$  and 3 tests representing 10% have a variation of  $\pm 1\%$ , this refers to the variation of each method. Corresponding to a mean positive relationship ( $R=0.47$ ) according to Pearson's correlation. When analyzing the characteristics of the advantages and disadvantages of both methods, we were able to verify the validity of our hypothesis. When applying the arithmetic average, it shows that the nuclear densitometer provides an average of 8 minutes per test and the sand cone provides an average of 36 minutes per test, so the most efficient method to use in less time is the nuclear densitometer.

Keywords: Sand cone, Field Density, Nuclear Density Meter.



# 1 CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la construcción de carreteras, diques, presas y terraplenes representa un componente significativo en el crecimiento de la unidad minera entonces es importante que se reconozcan las propiedades correspondientes de los materiales a utilizar, considerando el control de calidad para la ejecución de estas, se basan en normas internacionales y nacionales; por tanto, es necesario tener un control estricto para la ejecución de las mismas. Por esta razón se realiza los ensayos in situ, posteriormente la validadas en laboratorio.

Los ensayos más comunes en las construcciones de las carreteras, diques, presas y terraplenes es la densidad de campo, esto se aplica para determinar porcentaje de compactación de suelos en las diferentes capas del dique de contención del DMI. Los métodos más utilizados: densímetro nuclear y cono de arena.

De modo que al desarrollar la siguiente propuesta comparación de resultados entre los métodos cono de arena y densímetro nuclear para determinar la densidad de campo en la ejecución del dique de contención del proyecto San Gabriel, de tal forma se conozca mejor estos métodos, así mismo el uso en el campo y después concluir cuál de los métodos es más eficiente. De esta forma se conseguirá enriquecer la calidad de obras.

Finalmente, al utilizar ambos métodos y conseguir los resultados. Se comparo ambos métodos para determinar la variación de los resultados que presenta dichos métodos, así mismo se analizó las características de estos métodos y la ejecución en menor tiempo.



## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La dificultad existente para los constructores en el tiempo actual es el poder contar con pruebas de laboratorio confiable, a su vez rápido y económico a fin de que la obra no se detenga y logre continuar el ritmo planificado.

Favorablemente la tecnología progresa un modo asombroso y en la actualidad existen métodos avanzados llamados métodos nucleares que tienen la función de llevar el trabajo de una forma rápida y ventajosa.

Con el pasar del tiempo, la tecnología progreso considerablemente en el campo de la ingeniería. Esto implica que el profesional debe estar al corriente con los con los avances tecnológicos.

El método de densidad de campo, es empleado frecuente en las obras civiles por que determina el porcentaje de compactación de suelo, para realizar este ensayo se encuentra distintos métodos, el más empleado es el método cono de arena, no obstante, en obras de gran envergadura dicho método es demasiado trabajoso y lento.

En consecuencia, se ejecutó el siguiente planteamiento, determinar la variación de los resultados y la eficiencia en términos de tiempo de la medición de las densidades de campo mediante el cono de arena y densímetro nuclear y que beneficio brindan cada uno de ellos. De este modo se utilizará estos métodos sin que se halle el riesgo de futuros impedimentos en la construcción.



## **1.2 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1 Problema General:**

- ¿Qué método entre el cono de arena y el densímetro nuclear es más eficaz para determinar densidades de campo en el Dique de Contención del Proyecto San Gabriel?

### **1.2.2 Problemas Específicos:**

- ¿Qué variación tendrá los resultados entre los métodos de cono arena y densímetro nuclear?
- ¿Qué método entre el cono de arena y densímetro nuclear se adecua rápidamente a la operación en términos de tiempo?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Hasta la fecha, la política de los proyectos en construcción están basados en generar el valor social, económico y controles de calidad, por lo tanto, es fundamental comparar el método óptimo para valorar las densidades de campo en la ejecución de dique de contención, teniendo en consideración la frecuencia de ensayos (cono de arena 1/2500 m<sup>3</sup> y densímetro nuclear 1/500 m<sup>3</sup>) según el plan de puntos de inspección (PPI).

En nuestro país el método más utilizado para determinar la densidad de campo es el Cono de Arena, por otro lado, existe el método Densímetro Nuclear que tiene poco uso en las obras. Estos ensayos están normados según la ASTM y estas nos indican el procedimiento que se va a realizar un ensayo correcto (teórico y práctico), entonces el experto conocerá que método de ensayo es más verídico en cuanto a la obtención de los resultados de los métodos y finalmente se llegara a determinar el grado de compactación y el tiempo de ejecución de cada ensayo.



Este estudio ayudara a la región Puno como una gran ayuda a futuros profesionales de ingeniería, debido que esta investigación se realizara por primera vez en nuestra región.

## **1.4 HIPÓTESIS**

### **1.4.1 Hipótesis general:**

- La comparación de los resultados entre los métodos: cono de arena y densímetro nuclear contribuirá para determinar la densidad de campo en el Dique de Contención del Proyecto San Gabriel.

### **1.4.2 Hipótesis específico:**

- El método cono de arena brinda valores confiables en comparación al método densímetro nuclear.
- El método de densímetro nuclear es el más eficiente para las pruebas in situ debido a su rapidez.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Comparar los resultados entre los métodos cono de arena y densímetro nuclear, para determinar la densidad de campo en el Dique de Contención del Proyecto San Gabriel.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar la variación de los resultados entre los métodos: cono de arena y densímetro nuclear de la densidad de suelos.



- Analizar y determinar las características de ambos métodos para conocer cuál es más eficiente al realizar el ensayo de densidad de campo en menor tiempo.



## 2 CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

##### 2.1.1 Antecedentes Internacionales:

Valdivieso (2022). Sustenta una tesis referida al manejo del ensayo de cono de arena y método nuclear a fin de fijar las densidades de campo en los suelos adhesivos en los terraplenes y vías de la carretera Guayaquil Salinas. El propósito principal de esta investigación fue evaluar y mostrar cuál de estos métodos es más preciso, eficaz y conveniente para la obtención de resultado verídico a cerca de la densidad de campo y la humedad de los suelos demostrados. El principal resultado, de 9/10 ensayos, el método del cono de arena dio una densidad relativamente sobresaliente a la del método nuclear; paralelamente en los 10 ensayos, el método cono de arena se dio humedad cierto inferior a la del método nuclear. Esto evidencia que se encuentra un comportamiento directo lineal de los diferentes ensayos de humedad. Finalmente, dicho tesista recomienda que el análisis llega a concluir que el método más adecuado para el constructor es el densímetro nuclear.

Torres (2021). Efectuó una investigación de un manual de seguridad y protección radiológica para el densímetro nuclear. El objetivo principal fue crear un manual de seguridad y protección radiológica para el densímetro nuclear. Se descubrió que la tasa de dosis equivalente promedio en vías a 3 m del densímetro es de  $1.65 \times 10^{-4}$  mSv/h, mientras que la distancia segura en el momento de uso del densímetro es de  $1.47 \times 10^{-4}$  mSv/h a 3 m. Finalmente, se recomienda cumplir con



todas las medidas de seguridad y protección radiológica descritas en el manual y asegurarse de que el POE funcione con un densímetro nuclear.

Pasmíño (2023). Sustenta una investigación de realizar una evaluación in situ del grado de compactación en la red de caminos vecinales de Riobamba mediante la comparación de métodos convencionales y alternativos. Evaluar el grado de compactación de los caminos vecinales del cantón Riobamba utilizando equipo no convencional para comparar valores de laboratorio y mediciones en campo. De acuerdo con la norma (NEVI-12, 2012), el nivel de compactación de un suelo vial debe ser del 95 % o más. Solo el 20 % de las muestras analizadas cumple con el nivel de compactación establecido en la norma, lo que significa que el 80 % restante está compactado menos que el límite impuesto. Por el contrario, el cuarenta por ciento de la muestra analizada cumple con lo mencionado anteriormente mediante estimaciones con datos de métodos convencionales. Se logró un nivel de confianza del 70% en la recolección de datos en los diferentes ensayos, según el ajuste estadístico de los métodos alternativos (EDG). Estos resultados diferentes entre los métodos convencionales y alternativos se deben a los valores de densidad.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales:**

Barrera (2022). Realizó una investigación relacionada al método densímetro nuclear y cono de arena para determinar la densidad de campo en acceso polvorín Quellaveco. El propósito general del estudio tuvo como finalidad identificar cual de estos métodos: densímetro nuclear y cono de arena es perfecto para el relleno de afirmado en el acceso al Polvorín. La principal conclusión obtenida muestra, dicha investigación ratifica que la autenticidad parcial de la



hipótesis proyectada, en el que se afirma que el método cono de arena es superior para efectuar con el porcentaje de compactación en suelos afirmados, por otro lado, el método nuclear es óptimo en términos de tiempo así mismo en la economía, paralelamente los dos métodos sirven para realizar las densidades de campo. Por último, la tesista recomienda llevar a la práctica, por lo menos tres lecturas con el densímetro nuclear (rotando el densímetro en conexión con la varilla) en materiales procesados con granulometría inestable y así prevenir equivocaciones por la homogeneidad de los materiales procesados.

Berrocal (2019). Ejecutó una investigación referida a la comparación de control de grado de compactación, usando el deflectómetro de peso ligero, relacionando a los logros del método nuclear y método del cono de arena para un trayecto del proyecto Tocache – Juanjuí. El propósito principal del estudio tubo como finalidad concretar en caso de los resultados con el LWD consiguen ser ejecutados para elaborar el control de compactación de obra con la misma confiabilidad con las que se utilizan los resultados del densímetro nuclear y cono de arena. El resultado que obtuvo con el instrumento LWD no se pueden poner en funcionamiento para efectuar el control de compactación de obra con la misma credibilidad con los que se usan los resultados del densímetro nuclear y cono de arena, ya que los resultados de los ensayos presentan un  $R^2$  estadístico menor al 0.70 esto equivale que las correlaciones localizadas entre el LWD, densímetro nuclear y cono de arena no son garantizados estadísticamente. Finalmente, el tesista recomienda antes de empezar con las medidas para realizar este tipo de investigación deben estar debidamente certificados y calibrados los equipos para los ensayos con el densímetro nuclear, cono de arena y LWD.



Cevero y Teran (2015), sustenta una tesis referida a la cantidad de periodos a nivel de las capas compactadas para adquirir la densidad óptima, empleando los métodos: densímetro nuclear y cono de arena, en la entrada principal al proyecto. El propósito de investigación fue establecer la cantidad de ciclos patrón en las capas afirmadas, para alcanzar un óptimo porcentaje de compactación usando métodos: densímetro nuclear y cono de arena en el acceso al estudio. Tuvo como principal conclusión, después de realizar pruebas con métodos: densímetro nuclear y cono de arena, dieron como resultados que ambos métodos indican ser similares. El tesista recomienda que: se debe efectuar un análisis de comparación, desventajas y ventajas usando dichos métodos densidad de campo: densímetro nuclear, cono de arena y Reemplazo de Agua (volumétrico), en el costo y tiempo.

Cruz (2020) realizó una investigación relacionada con confrontación metodológica y financiero del cono de arena y densímetro nuclear en la evaluación de la densidad in situ. El propósito del estudio fue confrontar ventajas y desventajas, técnicas y financieras que se halla al utilizar el método nuclear y cono de arena en la precisión de la densidad de campo. El principal resultado que se obtuvo de conformidad a las peculiaridades de ambos ensayos, se pudo apreciar que actualmente las limitaciones que presenta uno del otro método, que estos métodos son recomendables para realizar ensayos de densidad de campo. Finalmente, el tesista recomienda que al instante que se debe ejecutar los ensayos de acuerdo del método que se necesite, se debe paralizar las actividades de trabajos vibratorios cercanos a los puntos de ensayo, si no se toma en cuenta la arena calibrada se entrara en exceso agujero en el método cono de arena, y para el caso del método nuclear que los rayos gamma se escapen.



Zeta (2019) efectuó dicha investigación de estudio de semejanza del empleo del método densímetro nuclear y cono de arena para concluir la densidad de campo con materiales adherentes en la carretera Piura - Paita. Como propósito general del estudio fue aplicar las normas NTP 339.143 (ASTM-1556) para el método de la arena y NTP 339.144 (ASTM D 2922) para el densímetro nuclear, para realizar los controles de calidad en campo en suelos cohesivos para terraplenes procedentes de la cantera Ramírez. La principal conclusión indica que la resolución obtenida indica el 73% de ensayo sostienen una desigualdad menor o igual  $\pm 1$  a través del porcentaje de compactación alcanzado con el densímetro nuclear y cono de arena, por otro lado, que el 27% restante sujetan una desigualdad entre ambos métodos sobresalientes al 1%. La tesista recomienda que es responsabilidad consolidar que el desarrollo de constituido sea conveniente asegurar la homogeneidad del material preparado, que el reparto sea adecuado y oportuno del material, por ejemplo, la humedad.

### **2.1.3 Antecedentes Locales:**

Desafortunadamente, no se hallaron estudios de investigación relacionados a este proyecto en la región.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Dique de contención.**

Según Moreno (2019) un dique de contención es una estructura para contener el agua. Puede ser natural o ejecutado por ser humano; de tierra, hormigón o mampostería de piedra; y por lo tanto adyacentes como perpendiculares al trayecto de un río o al borde del mar.

Es la valla creada para la detención de aguas ríos, lagos y mares, con el fin de crear embalses y presas o para reforzar ferrocarriles, carreteras, ferrocarriles y elevaciones del terreno. Fundamentalmente son barreras de retención, que en su profundidad forman un espacio independiente de agua en el que logramos hacer trabajos, así como, una restauración de barcos. En muchas coyunturas para ejecución de direcciones o reforzamiento de vías de ferrocarril que permiten que las aguas que se aglomeren en las pendientes sean retiradas inmediatamente por medio del sistema de bombeo, en el caso de ejecutarse las vías o ferrocarriles en ascenso del terreno estos muros de contención (diques) resguardan las estructuras contra los derrumbes o deformaciones del terreno, que es posiblemente son ocasionados por sismos, aguas subterráneas (capa freática elevada) o agentes exteriores. los óptimos materiales para ejecutar son: gravilla, fragmentos de roca, arena u hormigón. Su intención es contener agua en desplazamiento ya sea días o años. Es recomendable construirlos con material semejante.

Tipos de dique de contención.

- Dique de concreto armado.

### **Figura 1**

*Dique de concreto.*



- Dique de gaviones.

## Figura 2

*Dique de Gaviones.*



Fuente: José García (2019).

- Dique de roca

## Figura 3

*Dique Roca*



Fuente: José García (2019)

- Dique de tierra.

## Figura 4

*Dique de tierra.*



### 2.2.2 Geología y mecánica de suelos.

Según Villalobos (2016) La Mecánica de Suelos contempla el estudio ingenieril de los suelos, sin embargo, resulta fundamental conocer y entender con anterioridad el origen geológico de los suelos. Si se pretende evitar en un principio las investigaciones geológicas, fundamentalmente en proyectos de provisional a superior dimensión, se pueda correr el peligro al no estimar las propiedades geológicas de gran escala que inclusive limiten el equilibrio total de las estructuras del proyecto en el transcurso o posterior a su construcción. La Mecánica de Suelos está limitada a una escala de metros, esto no significa que un proyecto no pueda tapar muchos kilómetros en vista de casos de túneles, embalses y carreteras.

La ingeniería geológica es responsable de combinar la información geológica con los métodos estructurales y de construcción requeridos por el proyecto para lograr un diseño que sea práctico y económico. Asimismo, es importante conocer el origen y composición del suelo.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE LOS MATERIALES

Terzaghi la investigación de mecánica de suelos en si es un análisis que nos permite informarnos el tipo de material de que está compuesto el terreno donde consideramos elaborar la obra, dentro de los materiales logramos hallar varios tipos de rocas, arcillas y arenas.

A partir de esta investigación se puede calcular y planificar la base y la estructura correcta del proyecto. Con base en la información obtenida de las investigaciones podemos determinar con precisión de la capacidad portante del suelo en cuestión, así como las precauciones que se deben tomar en el cálculo y diseño de las estructuras

### 2.3.1 Análisis Granulométrico (ASTM D 6913-17)

Los suelos están formados por partículas con diferentes formas y tamaños. El propósito de este método de medición es dividir partículas en tamaños iguales y comparar su abundancia en cada fase. Estos datos se combinaron para determinar el alcance de la distribución (gradación). Este método de prueba aplica un criterio de tamices de agujero cuadrados para determinar la gradación del suelo usando los tamices de 3 pulgadas (75 mm) hasta N° 200 (75  $\mu$ m). Ver figura 5.

#### Figura 5

*Abertura de juego de tamices estándar*

Alternative	Standard	Alternative	Standard
Lid		No. 10	2.00 mm
3 in.	75 mm	No. 20	850 $\mu$ m
2 in.	50 mm	No. 40	425 $\mu$ m
1-1/2 in.	37.5 mm	No. 60	250 $\mu$ m
1 in.	25.0 mm	No. 100	150 $\mu$ m
3/4 in.	19.0 mm	No. 140	106 $\mu$ m
3/8 in.	9.5 mm	No. 200	75 $\mu$ m
No. 4	4.75 mm	Pan	

Fuente: ASTM D 6913-17

Las muestras para análisis granulométricos pueden provenir de diversas fuentes e incluir una amplia gama de tamaños de muestra; las muestras para análisis granulométricos generalmente están disponibles en las siguientes formas: muestras globales (muestras de bolsa grande o balde), muestras de frascos y bolsas pequeñas. La masa de la muestra deberá cumplir o sobrepasar los requerimientos de masa para el espécimen, como se indica la figura 6.

### Figura 6

*Requisito mínimo de la masa para el espécimen*

Alternative Sieve Designation	Maximum Particle Size, mm	Method A Results Reported to Nearest 1 %	Method B Results Reported to Nearest 0.1 %
No. 40	0.425	50 g	75 g
No. 10	2.00	50 g	100 g
No. 4	4.75	75 g	200 g <sup>B</sup>
3/8 in.	9.5	165 g <sup>C</sup>	D
3/4 in.	19.0	1.3 kg <sup>C</sup>	D
1 in.	25.4	3 kg <sup>C</sup>	D
1-1/2 in.	38.1	10 kg <sup>C</sup>	D
2 in.	50.8	25 kg <sup>C</sup>	D
3 in.	76.2	70 kg <sup>E</sup>	D

Fuente: ASTM D 6913-17

### 2.3.2 Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS (ASTM D2487 – 17)

Este sistema de clasificación distingue tres tipos principales de suelos: suelos gruesos, suelos finos y suelos altamente orgánicos. Estas tres áreas se dividen en 15 grupos básicos de suelos.

- Gravas (G)
- Arenas (S)
- Arcillas (C)
- Limos (M)



- **Orgánicos (O)**

Basado en los resultados de la inspección visual y la planificación. Para las pruebas de laboratorio, los suelos se clasifican según grupos básicos de suelos, se les asigna un símbolo(s) de grupo y un nombre, y así clasificado.

La distribución de suelos voluminoso (grueso) sigue un análisis parecido. Analizamos el tamiz 200, y si detenido más del 50% del suelo, es clasificado como suelo grueso. Aquí, el tamiz 4 cobra trascendencia, al fraccionar la gravas y arenas según el tamaño de partículas. Si la mayoría del suelo es retenido en el tamiz 4, es una grava (G); de lo opuesto, es una arena (S). Por consiguiente, el porcentaje de finos conseguidos en el análisis granulométrico es esencial:

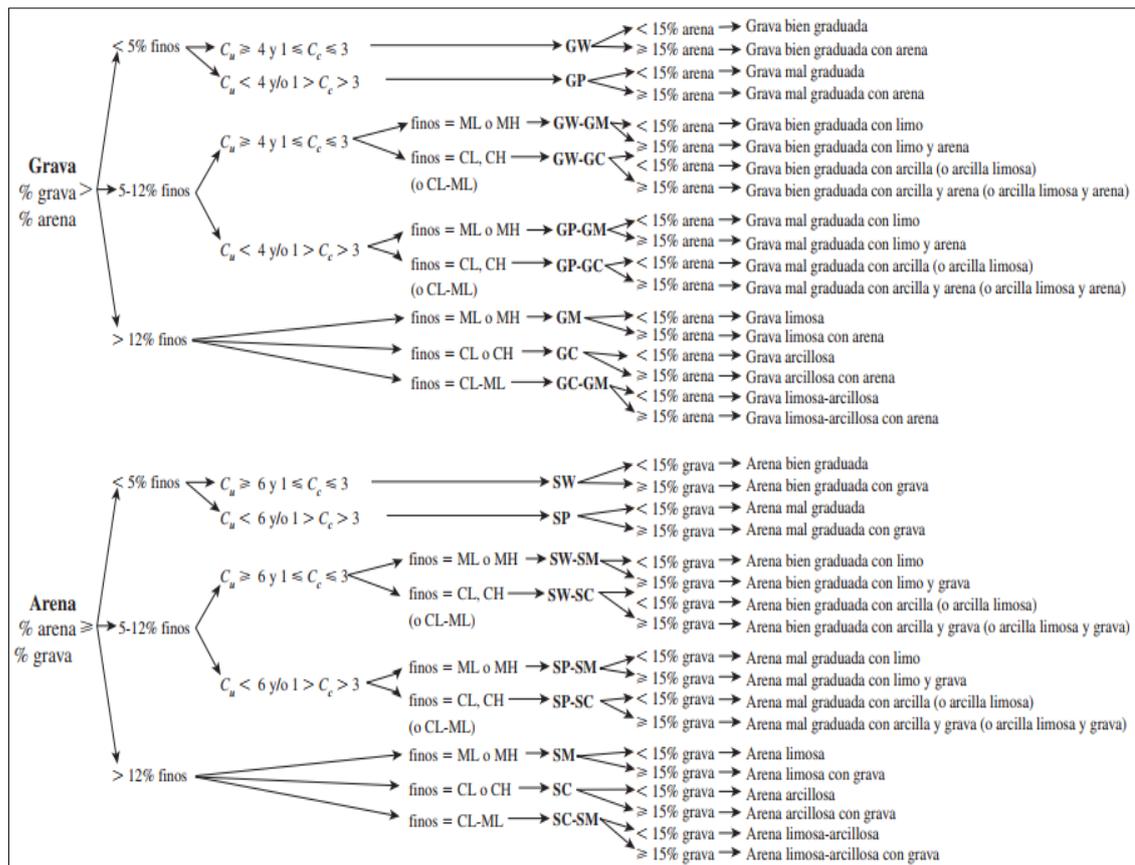
- **Porcentaje de finos menor al 5%:** Facilitan clasificar el suelo en cuatro tipos distintos.
  - **GW:** Gravas bien graduadas.
  - **GP:** Gravas mal graduadas.
  - **SW:** Arenas bien graduadas.
  - **SP:** Arenas mal graduadas.
- **Porcentaje de finos mayor o igual al 12%:** El suelo fino requiere ser clasificado por medio de la *carta de plasticidad*. Formando cuatro tipos de suelos distintos:
  - **GC:** Gravas arcillosas.
  - **GM:** Gravas limosas.
  - **SC:** Arenas arcillosas.



- **SL:** Arenas limosas.
  
- **Porcentaje de finos mayor o igual al 5% y menor al 12%:** Esta clasificación se realiza combinando las dos clasificaciones anteriores porque hay que considerar la gradación del suelo y la clasificación del suelo fino. Lo cual implica que los suelos se dividir en ocho categorías:
  - **GW-GC:** Gravas bien graduadas arcillosa.
  - **GP-GC:** Gravas mal graduadas arcillosa.
  - **GW-GM:** Gravas bien graduadas limosa.
  - **GP-GM:** Gravas mal graduadas limosa.
  - **SW-SC:** Arenas bien graduadas arcillosa.
  - **SP-SC:** Arenas mal graduadas arcillosa.
  - **SW-SM:** Arenas bien graduadas limosa.
  - **SP-SM:** Arenas mal graduadas limosa.

**Figura 7**

Diagrama de flujo para la clasificación de suelos gruesos y finos (sucs).



Fuente: ASTM D2487 – 17

### 2.3.3 Contenido de agua (humedad) (ASTM D 2216)

Estos métodos de prueba cubren la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) en masa de suelo, roca y materiales similares donde la reducción en masa por secado se debe a la pérdida de agua.

El contenido de agua es uno de los indicadores más utilizados para determinar la relación entre la conducta del suelo y las propiedades. El porcentaje de agua de un material se usa para expresar la correlación de la fase sólida, aire y agua en un volumen del material. Ver figura 8.

## Figura 8

*Requisitos mínimos de masa para el cálculo de humedad.*

Tamaño máximo de partícula (100% pasante)		Método A contenido de agua registrado al +/-1%		Método B contenido de agua registrado al +/- 0.1%	
Tamaño de Tamiz de la unidad SI	Tamaño de Tamiz alternativo	Muestra de masa	Lectura de balanza(g)	Muestra de la masa (g)	Lectura de balanza (g)
75.0 mm	3 in	5 kg	10	50 kg	10
37.5mm	1-1/2 in.	1 kg	10	10 kg	10
19.0 mm	3/4 in.	250 g	1	2,5 kg	1
9.5 mm	3/8 in.	50 g	0.1	500 g	0.1
4.75 mm	No.4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00 mm	No.10	20 g	0.1	20 g	0.01

*Fuente: ASTM D 2216*

Una muestra, seca a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C incluso con la masa persistente. La pérdida de masa es debido al secado del material, se estima el agua. El contenido de agua se calcula usando la muestra con contenido de agua y la muestra seca.

Calcule el contenido de agua del material de la siguiente manera:

$$w = [(M_{cms} - M_{cds}) / (M_{cds} - M_c)] \times 100 = (M_w / M_s) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

w = contenido de agua %

M cms = masa del recipiente y espécimen húmedo, g.

M cds = masa del recipiente y muestra seca al horno, g.

M c = masa del recipiente, g.

M w = masa de agua ( $M_w = M_{cms} - M_{cds}$ ), g, y

M s = masa del espécimen seco al horno ( $M_s = M_{cds} - M_c$ ), g.



#### 2.3.4 Límites de consistencia (ASTM D 4318)

Límites de Atterberg: en suelos cohesivos, originalmente, según Albert Atterberg definió seis "límites de consistencia" de suelos de grano fino. El límite superior de flujo viscoso, el límite de cohesión, límite adhesivo y el límite de líquido. El límite plástico y el límite de contracción en el campo de la ingeniería actual, se emplea el término para hacer referencia únicamente al límite plástico y al límite líquido, con algunas menciones al límite de contracción.

**Muestra:** Obtener una cantidad adecuada de la muestra total para obtener entre 200 g a 150 g del material que pasea través del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (40). Se debe combinar bien en una vasija con una espátula y una cantidad adecuada y significativa se separar de la masa total haciendo una o más barridas con la espátula, de la totalidad de la masa mezclada.

**Límite Líquido A** (Método Multipunto), Ajustar la cantidad de agua en el material para lograr una consistencia que requiera aproximadamente entre 25 y 35 golpes en la copa de la casa grande y debe cerrar la ranura.

**Límite Líquido B** (Método de un punto). La cantidad de golpes debe estar al alrededor de 20 y 30.

### Figura 9

*Casa grande.*



El límite plástico, se determina aplastando sucesivamente entre sí y rodando hasta un diámetro de 3,2 mm (1/8 pulg.). Separe una pequeña cantidad de la masa plástica y reduzca el contenido de agua de la masa hasta que el hilo se agriete y ya no pueda doblarse más, presione la masa juntos y vuelva a aplanarla con el rodillo. El contenido de agua en este punto se conoce como el límite plástico.

### Figura 10

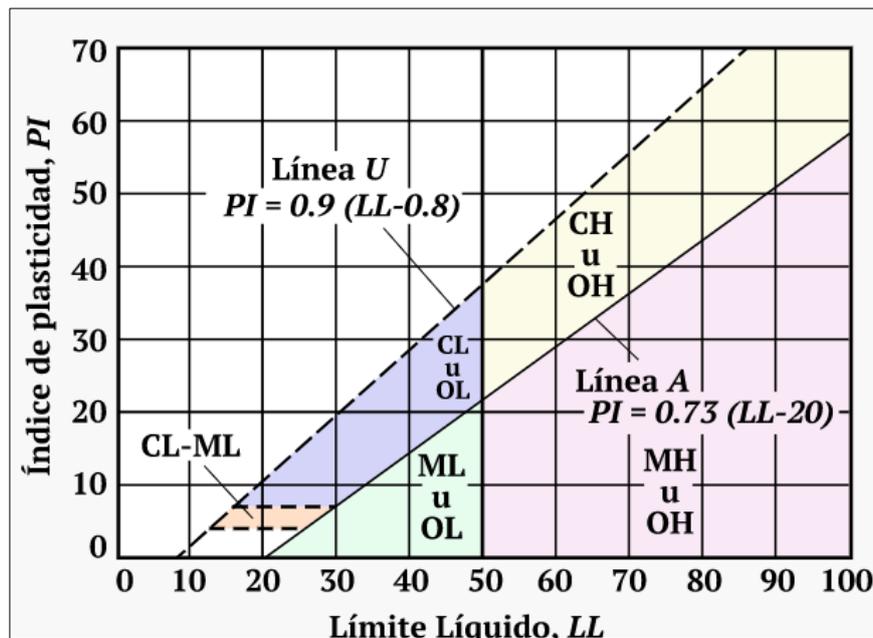
*Elaboración de limite plástico.*



El índice de plasticidad se calcula restando el límite plástico del límite líquido.

**Figura 11**

*Carta de plasticidad de A. Casagrande (Casagrande, 1948)*



Fuente: Casagrande, 1948 (ASTM D 4318).

### 2.3.5 Proctor estándar (ASTM D 698)

El ensayo Proctor se emplea para determinar la relación entre la densidad seca y la humedad de compactación de los materiales a utilizar tanto en explanadas como en capas granulares de firmes. Los resultados de los ensayos serán empleados para el porcentaje de compactación y control de calidad en obra.

El propósito de los ensayos es determinar la relación entre la densidad seca y el porcentaje de humedad de un suelo o capa, para una energía de compactación específica. El objetivo es encontrar la densidad seca máxima y la humedad óptima que se deben probar en el laboratorio para este suelo. Para realizar el ensayo, se debe tener en cuenta lo siguiente, que se muestra en la ver tabla 1.

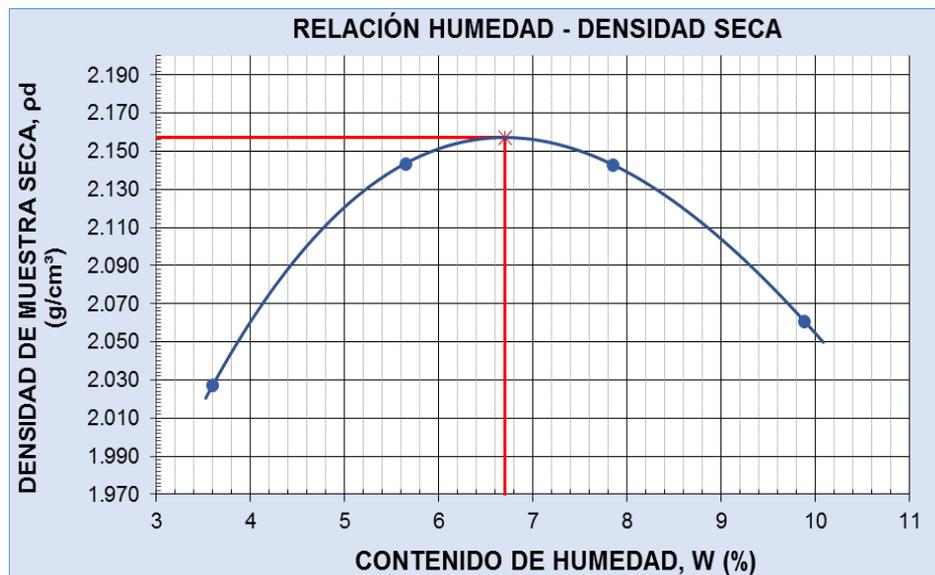
**Tabla 1***Proctor estándar*

TIPO DE ENSAYO MODELO	PROCTOR ESTANDAR ASTM 698-(98)		
	A	B	C
Condiciones para eleccion del modelo	% Ret. Acum N°4 <=25%	% Ret. Acum N°3/8<=25% y %Ret. Acum. N°4>25%	% Ret. Acum. N°3/4<=30% y %Ret. Acum. N°3/8>30%
Tipo de material a utilizarce	Tamizado por la malla N°4	Tamizado por la malla N°3/8	Tamizado por la malla N°3/4
N° capas (n)	3	3	3
N° de golpes (N)	25	25	56
Diametro del molde (cm)	10.16 +- 0.04	10.16 +- 0.04	15.24 +- 0.07
Altura del Molde (cm)	11.64 +- 0.05	11.64 +- 0.05	11.64 +- 0.05
Volumen del Molde (V) (cc)	944 +- 14	944 +- 14	2124 +- 25
Peso del Martillo (W) (Kg)	2.5 +- 0.01	2.5 +- 0.01	2.5 +- 0.01
Altura de caida del Matillo (h) (cm)	30.48 +- 0.13	30.48 +- 0.13	30.48 +- 0.13
Diametro del Martillo (cm)	5.080 +- 0.025	5.080 +- 0.025	5.080 +- 0.025
Energia especifica de compactacion	6054	6054	6027
Observaciones: Corregir el optimo de humeda de la densidad maxima obtenida, utilizando el metodo ASTM D 4718			
NOTA: Cuando mas del 5% de la muestra total es retirado sobre la malla N° 4, se hara la correccion por esta norma.			

Fuente: ASTM D 698

**Figura 12**

*Relación humedad y densidad seca.*



### 2.3.6 Ensayo por cono de arena (ASTM D1556)

Este método se usa ampliamente para determinar la densidad de suelo compactados utilizados en las construcciones en carreteras, terraplenes, presas, diques y estructuras de relleno. La densidad máxima de un suelo compactado se obtiene mediante un método de ensayo estándar. Este método se puede utilizar para determinar la densidad de suelos naturales, agregados, mezclas de suelos y material similar en campo.

Con este método es posible obtener la densidad de los suelos en campo (in situ), utilizando un equipo llamado cono de arena. Este método de prueba se utiliza para suelos que no contienen grandes cantidades de roca o material gravosos de más de 1 1/2 pulgadas (38 mm).

Los suelos y otros materiales que se pueden excavar con herramientas manuales se pueden probar si el material tiene vacíos o abertura de los poros sean pequeños para que la arena utilizada en la prueba no entre en los vacíos naturales.



Este método de prueba no es apropiado para suelos saturados, con alta plasticidad y orgánicos. Estos tipos de suelos pueden deformarse o comprimirse durante la excavación de la prueba.

**El aparato de densidad consiste en lo siguiente:**

Es un recipiente desmontable que se utiliza para contener arena. Tiene una capacidad de volumen mayor que el volumen del orificio necesario para la prueba y el instrumento durante la prueba.

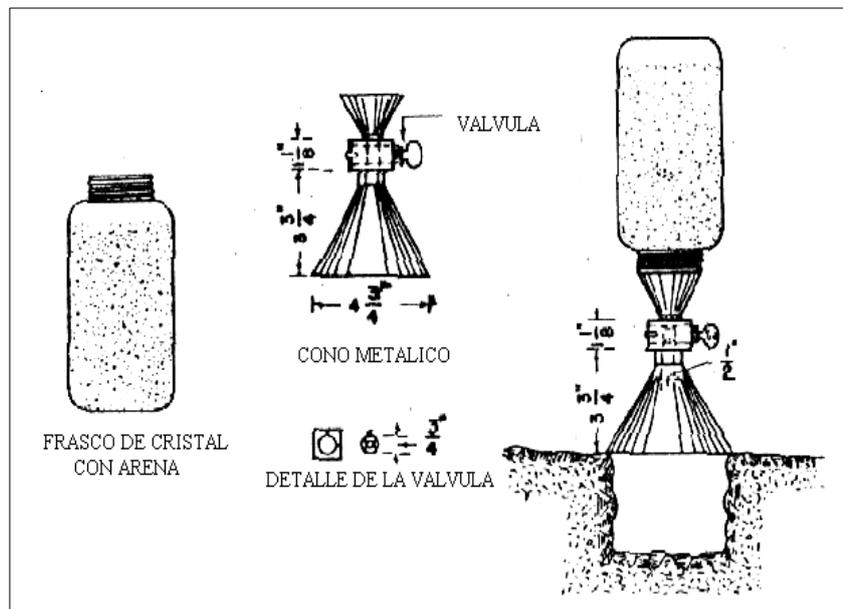
El dispositivo consta de una válvula cilíndrica de 1/2" (13 mm) de diámetro. En un extremo hay un pequeño cono metálico conectado al frasco. En el otro extremo, la válvula de seguridad debe tener un freno para evitar que se gire entre la posición completamente abierta y la posición completamente cerrada.

La placa es de metal, de forma cuadrada o rectangular, tiene un agujero en el centro, también tiene una brida para sujetar el embudo grande (en forma de cono). La placa debe quedar plana en relación a la base y tener suficiente rigidez, con espesor de la placa debe ser de 3/8" a 1/2" (10 a 13 mm).

La arena debe estar seca, debe ser uniforme, debe fluir libremente en el hoyo. El coeficiente de uniformidad ( $C_u = D_{60} / D_{10}$ ) debe ser menor a 2 y tamaño máximo de las partículas debe ser menor a 2.0 mm (malla N°10) menos del 3% en peso de la arena debe pasar a través de la malla 60. La arena debe estar libre de partículas finas y de arena fina para evitar grandes cambios en la densidad del material.

**Figura 13**

*Cono de arena y accesorios.*



Fuente: ASTM D1556

- **Procedimiento:** Determinar la densidad de campo in situ:
  - Llene el dispositivo con la arena que seleccionó previamente para determinar la densidad de la masa. Determine el peso de la herramienta y la arena.
  - Ajuste la superficie sobre la que se colocará la prueba en consecuencia. La placa base es una herramienta, que debe estar limpia y nivelada la superficie.
  - Coloque la placa base sobre una superficie plana; asegurando un buen contacto entre la superficie y la placa y el borde del orificio central. Marca la placa base y verifica que no haya movimiento durante la prueba. Sujete los lados de la placa con clavos o, en caso



contrario, sujete la placa para que no se mueva sin alterar la superficie de la prueba.

- En suelos donde no se puede nivelar, se debe hacer una prueba previa en el punto para medir el espacio entre el plato del embudo y la superficie del terreno. Llenar los espacios con arena del aparato, encontrar la masa de arena usada para llenarlos. Volver a llenar el aparato y encontrar la nueva masa inicial del aparato y la arena antes de hacer las mediciones. Cuidadosamente, cepillar la arena de la superficie preparada.
- Cavar el hoyo para el ensayo dentro del hoyo central del plato base, cuidadosamente de no alterar el suelo que rodea al hueco.
- El volumen del hoyo de prueba debe ser lo suficientemente grande para minimizar errores y no debe ser menor que los volúmenes especificados.
- Los lados del hoyo deberán ser perpendicularmente ligeramente hacia el fondo, tal que éste sea aceptablemente plano o cóncavo. La cavidad se deberá cuidar, en lo posibles obstrucciones filudas y salientes ya que pueda dañar la precisión del ensayo. Los suelos granulares requieren mucho cuidado. Pueden necesitar excavaciones cónicas. Coloca todo el suelo excavado y suelto en un recipiente etiquetado con el número de prueba. Ten mucho cuidado de no perder nada. Protege el material de la pérdida de humedad hasta que se haya determinado el ensayo.



- Limpie el lado del resorte en el centro de la placa de metal, gire la herramienta y coloque el cuello de metal grande en el resorte con los bordes en el mismo lugar marcado durante el ajuste. Abra la válvula y la arena llena el agujero, el cuello y la placa base. Tenga cuidado de no tocar ni hacer vibrar el dispositivo o la placa durante este paso. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- Determine el peso del equipo con la arena restante y calcule el peso utilizado durante la prueba.
- Determinar el peso del material que ha sido removido del hoyo del ensayo.
- Mezcle los materiales y obtenga una muestra para determinar la humedad o use la muestra completa.
- Halle el contenido de humedad.

#### - Cálculos

Los datos se presentan en gramos para el peso y en centímetros cúbicos para el volumen. Se pueden usar otras unidades, siempre y cuando se tengan los factores de conversión apropiados. Esto es para mantener la consistencia de las unidades en los cálculos que se van a realizar.

1. Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = (M1 - M2) \rho_1$$

Donde:



$V$  = volumen del orificio de prueba,  $\text{cm}^3$ .

$M1$  = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, gr.

$M2$  = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, g.

$\rho_1$  = densidad del volumen de la arena,  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

2. Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M4 = 100 \cdot M3 / (W + 100)$$

Donde:

$W$  = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %

$M3$  = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g.

$M4$  = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

3. Calcule la densidad húmeda y seca in situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = M3 / V$$

$$\rho_d = M4 / V$$

Donde:

$V$  = volumen del orificio de prueba,  $\text{cm}^3$



$M_3$  = masa húmeda del material del orificio de prueba, g

$M_4$  = masa seca del material del orificio de prueba, g

$\rho_m$  = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo gr, en g/cm<sup>3</sup>

$\rho_d$  = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco gr, en g/cm<sup>3</sup>.

### 2.3.7 Ensayo por densímetro nuclear (ASTM D 6938)

El método de prueba se utiliza para el control de calidad y las pruebas de aceptación de suelos compactados y mezclas de agregados de suelos utilizados en la construcción y también para investigación y desarrollo. La naturaleza no destructiva permite mediciones repetidas en el mismo punto de prueba y análisis estadístico de los resultados.

Este método de prueba describe métodos para medir la densidad y el contenido de humedad en el suelo y los agregados del suelo utilizando instrumentos nucleares. La densidad de los materiales se puede medir mediante técnicas de transmisión directa o retro dispersión (dispersión). Las mediciones de humedad se realizan en la superficie en modo de retro dispersión. La densidad total del suelo y de los agregados del suelo se determina mediante la atenuación de la radiación gamma donde, en transmisión directa, la fuente se coloca a una profundidad de 300 mm (12") máximo y el detector permanece en la superficie (algunos medidores pueden invertir esta orientación).

**Figura 14**

*Densímetro nuclear y sus accesorios.*



Fuente: IPEN

El método de prueba es útil, es un procedimiento rápido y no destructivo que permite medir la densidad húmeda y el contenido de agua del suelo in situ. También permite calcular la densidad seca. Se utiliza el americio 241 para medir la humedad y se utiliza el cesio 137 para medir la densidad.

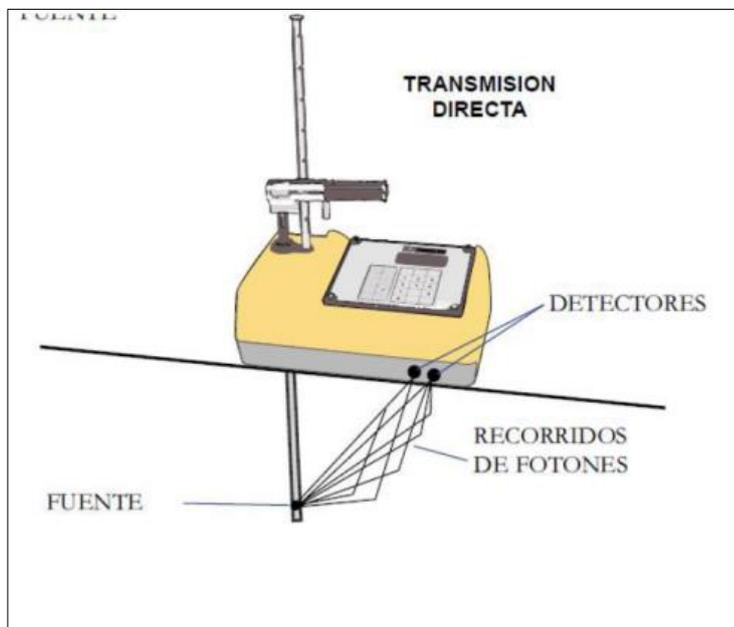
– **Tipos de transmisión:**

**Transmisión directa** (Este es el más peligroso, porque la fuente de radiación sale del dispositivo): El modo de manipulación, la fuente gamma se coloca a una cierta profundidad del material evaluado, penetra por el orificio creado por la varilla. Las emisiones gamma pasan a través del material y llegan a los detectores del densímetro. Este tipo de operación disminuye la incertidumbre causada por las superficies ásperas y la composición química del material evaluado. Esto mejora la precisión de las mediciones: La transmisión directa se

usa para evaluar: capas intermedias a gruesas, agregados, capas de grava, capas de concretos impermeables, capas asfálticas y concreto hidráulico. Se coloca la varilla de Cesio-137 en el suelo a la profundidad deseada, los detectores en la base de la sonda miden la radiación emitida por la varilla, los fotones gamma deben atravesar el material antes de llegar a los detectores, cuando los fotones gamma atraviesan el material, chocan con los electrones que se encuentran allí.

### Figura 15

*Tipos de transmisión: directa.*



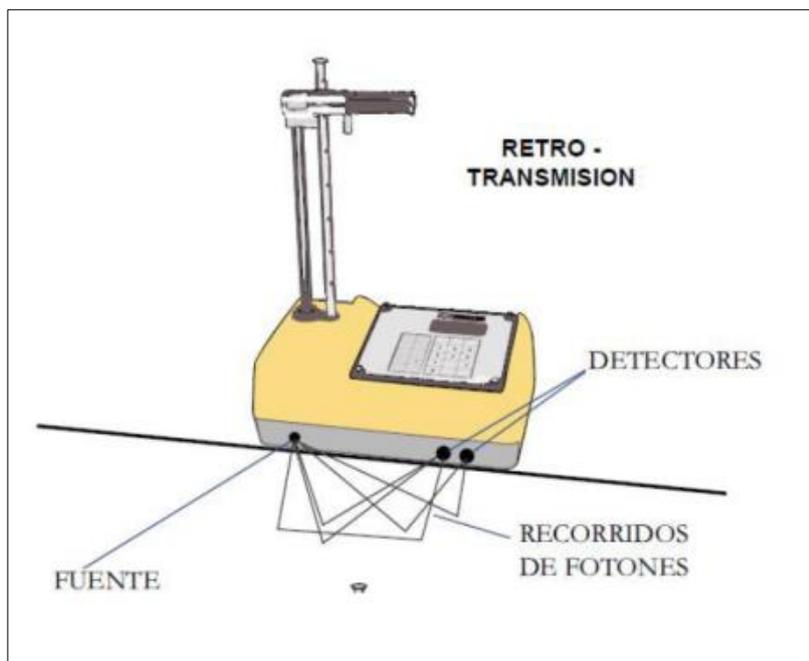
Fuente: IPEN

**Retro Transmisión:** Es un método rápido y que no daña el material, el analizador (densímetro) contiene la fuente de radiación gamma, el analizador se coloca sobre la superficie del material que se va a analizar y cuando la radiación gamma pasa a través del material, los detectores reciben esa radiación. La retro transmisión se utiliza sobre todo para suelos finos, ya sean losas o de hormigón hidráulico. Procesamiento: Los fotones gamma deben dispersarse (o reflejados) al menos una vez, antes de llegar a los sensores del detector. Para lograr esto, se

coloca una varilla de manera que la fuente y los detectores estén en el mismo plano, lo que se conoce como posición de retrodispersión. Los fotones de la fuente son absorbidos por el material y los detectores miden el material disperso. Para evitar que los fotones entren directamente en los detectores sin que el material se disperse, existe una protección entre la fuente y los detectores

### Figura 16

*Tipos de Transmisión: Retro transmisión.*



Fuente: IPEN

#### – Medidas de Seguridad Radiológica (Según la IPEN y ley 28028)

- Guía de procedimientos claros, aprobados y autorizados
- Personal capacitado, entrenado y debidamente licenciado.
- Uso de dosímetro personal y monitores de radiación con calibración actualizada.

- Delimitar el área controlada y colocar barreras y señales de advertencia para evitar que personas ajenas entren en contacto con la fuente o se irradien sin motivo alguno
- Asegurarse de cerrar el obturador del medidor antes de iniciar todo trabajo de mantenimiento y proveerse de herramientas adecuadas.
- Cumplir en todo momento los principios de la protección radiológica y aplicar los parámetros de defensa contra la radiación externa: **distancia, tiempo y blindaje.**
- Trabajo planificado en equipo y cumplir con los procedimientos autorizados.

– **Instrumentación de vigilancia radiológica**

**Figura 17**

*Vigilancia radiológica individual (dosímetro).*



Fuente: IPEN

## Figura 18

*Vigilancia radiológica de áreas (Monitores fijos o portátiles)*



Fuente: IPEN

### – Almacenamiento (Según la IPEN y ley 28028)

- El lugar debe ser seguro y solo el personal autorizado debe tener la llave.
- Proteger el material de daños físicos y factores ambientales.
- Mantener lejos de materiales inflamables, corrosivos y explosivos.
- Contar con un blindaje adecuado.
- Colocar un símbolo y aviso de "Peligro, material radiactivo".
- Registrar cada movimiento del material.
- Revisar regularmente el contenedor.



– **Transporte (Según la IPEN y ley 28028)**

- Ruta principal y rutas alternas de transporte.
- Plan de contingencia en caso de accidente convencional y/o radiológico.
- Información del responsable del transporte.
- Estado de operatividad del vehículo.
- Datos del conductor del Vehículo
- El conductor y los ocupantes deben contar con los dosímetros.
- La tasa de dosis en la cabina del conductor debe ser la más baja posible. En caso contrario adicionar un blindaje entre el bulto y la cabina.
- Se debe acondicionar anclajes en el piso de la carrocería del vehículo y el uso de precintos y candados seguros.
- Señalización reglamentaria en los costados del vehículo.
- Programa de contingencia en caso de accidente y un directorio telefónico.
- Prever escalas en lugares que brinde seguridad.
- No desviarse de la ruta establecida en el plan de transporte.

– **Procedimiento (Según la IPEN y ley 28028)**

- Identifica un lugar de prueba plano y sin obstáculos.



- El área de prueba debe estar libre de materiales dispersos y dañados. Se necesita una superficie horizontal y plana para instalar el medidor y asegurar un buen contacto.
- Cuando midas con accionamiento directo, coloca la varilla de modo que sobresalga a través de la herramienta de perforación y luego a través de los rieles guía de la placa.
- Asegura el dispositivo de seguridad, sostén la placa con el pie y empuja el extremo de la varilla de perforación hasta que alcance una profundidad de 50 mm (2 pulgadas) para la medición.
- Registra una o más lecturas durante el período normal de medición.
- Determina las lecturas a los 15 segundos, 60 segundos y 4 minutos.
- A partir de esta relación de conteo, la calibración adecuada y la información de ajuste, determina la densidad húmeda en campo.



## 3 CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos que se emplearon para el trabajo de investigación, a continuación, se menciona:

##### 3.1.1 Materiales

- Libreta de campo.
- Laptop (para procesar datos).
- Manual de mecánica de suelos.
- Manual del densímetro nuclear.

##### 3.1.2 Equipos

- Cono de arena y sus accesorios.
- Densímetro nuclear y sus accesorios.
- Proctor estándar y sus accesorios.
- Juego de tamices.
- Dispositivos de límites de consistencia (Casa grande).
- Horno.
- Balanzas de 30 Kg. Y 5 Kg.
- Tazones de acero inoxidable (para contenido de humedad).

**Figura 19**

*Ejecución del ensayo cono de arena.*



**Figura 20**

*Ejecución de ensayo densímetro nuclear.*



### 3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para esta investigación la metodología a seguir fue lo siguiente:



El trabajo de investigación corresponde a un enfoque cuantitativo y diseño descriptiva. Es un diseño que consiste en recolectar dos o más muestras con el propósito de observar y compararlos. En esta investigación para describir las diferencias en la variación de los resultados del cono de arena y densímetro nuclear, se han realizado 30 de cada uno de estos ensayos distribuidos por el área dique de contención del DMI del proyecto San Gabriel.

Para realizar los controles de densidad de campo y controles de calidad nos basamos al plan de puntos de inspección (PPI) que nos indica la frecuencia de ensayos a realizar en el proyecto.

**Tabla 2**

*Plan de puntos de inspección.*

PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION					
CUMBRA					
NOMBRE DEL PROCESO O ACTIVIDAD: MOVIMIENTO DE TIERRAS					
CODIGO: PJ0030-GP-PPI-001					
Elaborado por: Johann Jimenez					
Código y Nombre Proyecto: PJ.0030 /		Ubicación: Ichuña-General		PPI N°: PJ0030-GP-MT-	
Contrato N° 104688-C4-501		Sanches Cerro-Moquegua		PPI-001.R0	
Cliente: Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.					
N°	Actividades	Actividades de Control	Criterio de aceptación. Referencias/Normas/P rocedimientos	Formato de Inspección	Frecuencia
4.1		Granulometria	EETT. de "Movimiento de Tierras" 104688-EB-00000-27281-002 -Huso granulométrico en Tabla 7-1 -Tamaño máximo de 3" (75 mm) -% Finos < 25% -ASTM D-6913	PJ0030-GP-MT-FR-004 Análisis Granulométrico por Tamizado	1/2500 m3
4.2		Límites de consistencia	EETT. de "Movimiento de Tierras" 104688-EB-00000-27281-002 -Índice de plasticidad en Tabla 7-2 -ASTM D-4318	PJ0030-GP-MT-FR-005 Límites de Atterberg	1/2500 m3
4.3	4. Ensayos de los materiales para relleno estructural	Contenido de humedad	Manual de Aseguramiento de la Calidad en la Construcción (CQA) 104688-EB-00000-23231-004 / Tabla 8-2 -ASTM D-4959 -ASTM D-2216	PJ0030-GP-MT-FR-010 Contenido de humedad de suelos	1/2500 m3
4.4		Proctor estándar	EETT. de "Movimiento de Tierras" 104688-EB-00000-27281-002 -Ítem 7.7.1 Relleno estructural	PJ0030-GP-MT-FR-006 Relación densidad - humedad Proctor	1/2500 m3
4.5		Peso específico, absorción y corrección por sobretamaño	-ASTM C-127 -ASTM C-4718	PJ0030-GP-MT-FR-011 Peso específico y absorción PJ0030-GP-MT-FR-012 Corrección por	1/2500 m3
9.2	9. Compactación de plataformas de relleno	Medición de densidad y humedad en Relleno Estructural -Cono de arena -Densímetro nuclear	EETT. de "Movimiento de Tierras" 104688-EB-00000-27281-002 -Ítem 7.7.1 Relleno estructural -Espesor de capa: 0.30m -Grado de compactación: 95% / Proctor Estándar -Humedad: +/- 2% de OCH -ASTM D-6938 / ASTM D-1556 /	PJ0030-GP-MT-FR-009 Densímetro nuclear PJ0030-GP-MT-FR-008 Cono y arena PJ0030-GP-MT-FR-010 Contenido de humedad de suelos	Densidad, humedad, Densímetro nuclear 1/500 m3 Densidad con cono y arena 1/2500 m3 Humedad en horno 1/2500 m3"

### 3.2.1 Trabajos en laboratorio.

Dentro de los ensayos que se realizar en laboratorio es indispensable realizar estos ensayos para caracterizar los materiales de nuestro proyecto, los cuales son:

- Contenido de Humedad: Norma ASTM D 2216
- Análisis Granulométrico: Norma ASTM D 6913-17 .
- Límites de consistencia: Norma ASTM D 4318
- Proctor estándar: Norma ASTM D 698 .
- Peso específico: Norma ASTM C 127-15.

#### Figura 21

*Realización de análisis granulométrico.*



## Figura 22

*Realización de Proctor estándar.*



### 3.2.2 Trabajos en campo.

El objetivo de realizar los ensayos en campo es para determinar el porcentaje de compactación de las capas en la ejecución del dique contención del DMI que de vital importancia para el control de calidad.

- Ensayo por cono de arena: Norma ASTM D1556.

**Figura 23**

*Cono de arena in situ.*



- Ensayo por densímetro nuclear: Norma ASTM D6938

**Figura 24**

*Densímetro nuclear in situ*





- Rendimiento del cono de arena (ASTM D1556.) y densímetro nuclear (ASTM D6938) (Ver tabla 3)

**Tabla 3**

*Rendimiento de cono de arena y densímetro nuclear.*

Ítem	Jornada laboral	Rendimiento
Cono de arena	8 horas	10 ensayos
Densímetro nuclear	8 horas	90 ensayos

Fuente: Cruz 2020.

Según Cruz (2020) Para la determinación del rendimiento de cada uno de los métodos, se realiza un análisis considerado la jornada laboral de 8 horas diarias: el rendimiento de 10 puntos por día con el cono de arena que está en función del tiempo en ejecutar el ensayo, y para el densímetro nuclear un rendimiento de 90 puntos por jornada.

### **3.2.3 Actividades finales en oficina.**

Con los datos obtenidos de los ensayos en laboratorio y campo, correctamente digitalizados y con sus resultados propios, para desarrollar nuestra investigación.

## 4 CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

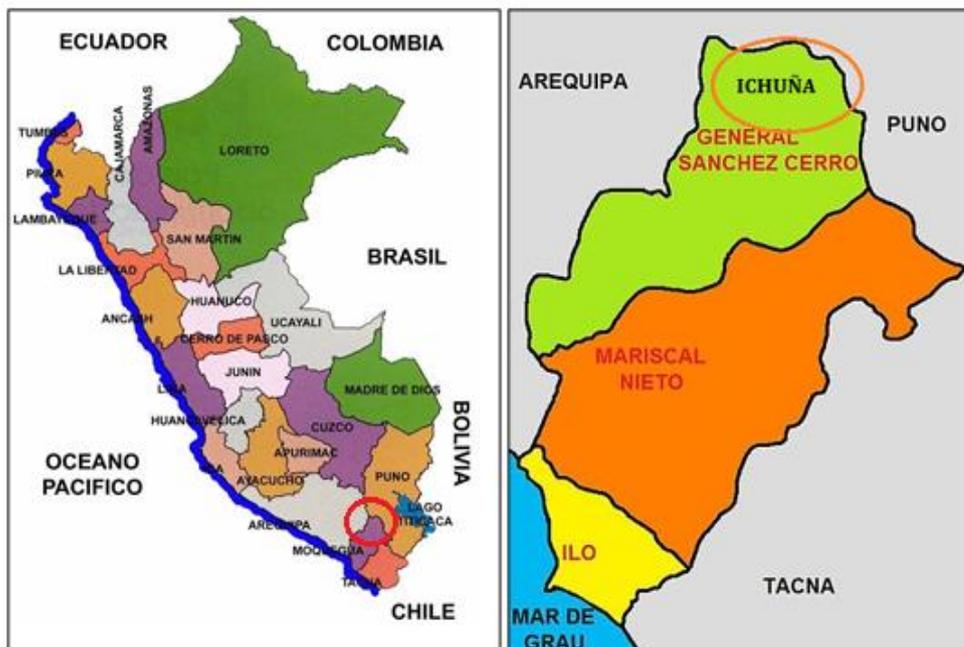
#### 4.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El proyecto de investigación se realiza en la comunidad de Santa Cruz de Oyo Oyo del distrito de Ichuña, provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua.

Políticamente, el proyecto San Gabriel se sitúa en el Distrito de Ichuña, Provincia de General Sánchez Cerro y de la Región Moquegua, ver figura 25 aproximadamente 1200 km de la capital Lima, 226 km del departamento de Moquegua y 98 km del departamento de Puno.

**Figura 25**

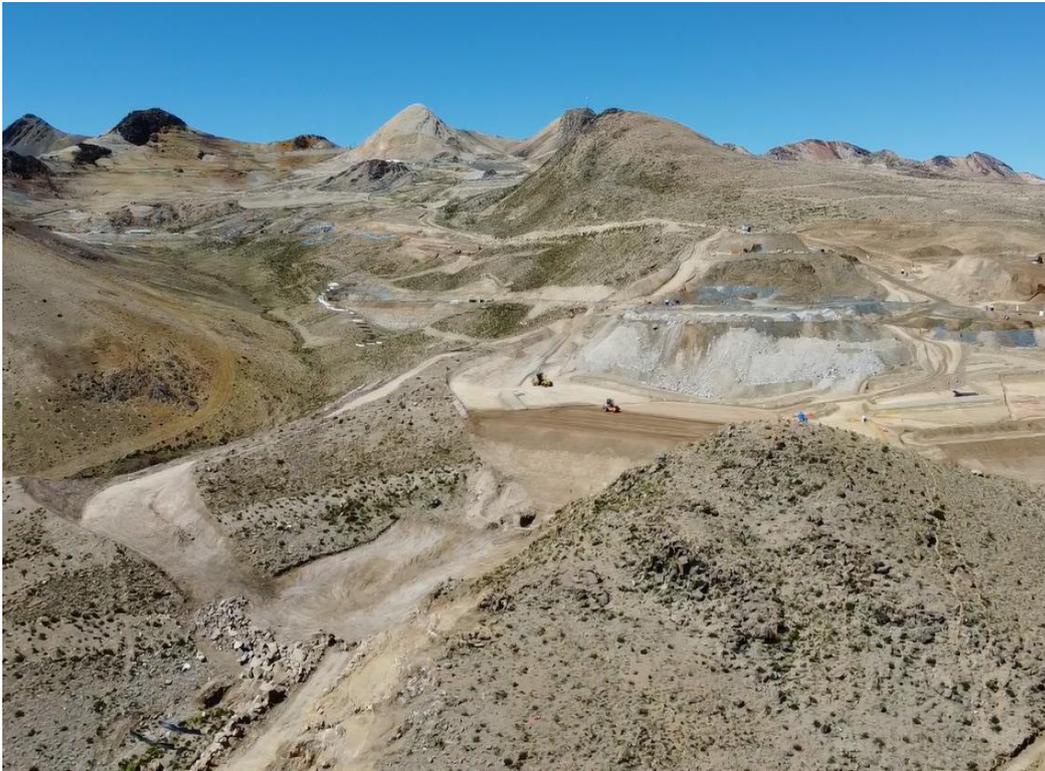
*Mapa político del Perú y Moquegua.*



Fuente: Google maps

## Figura 26

*Imagen de Dron del proyecto.*



## 4.2 ACCESIBILIDAD

**Tabla 4**

*Accesibilidad a la zona de estudio.*

Vía de acceso	Tramo	Características de la vía distancia Km	Tiempo Hora	Medio de transporte
vía aérea	Callao	Aéreo	1 hora	Avion
	(Lima) -	841 Km	30 minutos	
Vía terrestre	Moquegua -	Carretera asfaltada	3 horas	Unidad vehicular de transporte de personal
	Titire	161 Km	20 minutos	
	Titire -	Trocha carrosable	2 horas	
	Ichuña	52 Km		

## 4.3 CLIMA Y METEOROLOGÍA

Para la evaluación climatológica del Proyecto de San Gabriel se consideró la información meteorológica de la estación Ichuña (333 263 E, 8 217 345 N) operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

### 4.3.1 Temperatura del aire

La temperatura media mensual es de 11°C. Los meses más fríos son de mayo a septiembre (temporada seca) y los más cálidos de octubre a abril (temporada húmeda).

### 4.3.2 Humedad relativa:

Es relativamente alta y en época de lluvias alcanza un valor de humedad diario del 95% y 96%.



### **4.3.3 Precipitación**

La precipitación media anual es de 513 mm, la precipitación mínima y máxima anual es de 236,9 mm y 753,8 mm. Durante la estación seca, la precipitación promedio es de 22 mm y durante la estación húmeda de 493 mm.

### **4.3.4 Velocidad y dirección del viento**

La velocidad media es de poco más de 3 m/s, con velocidades registradas de 3,1 m/s y 3,3 m/s.

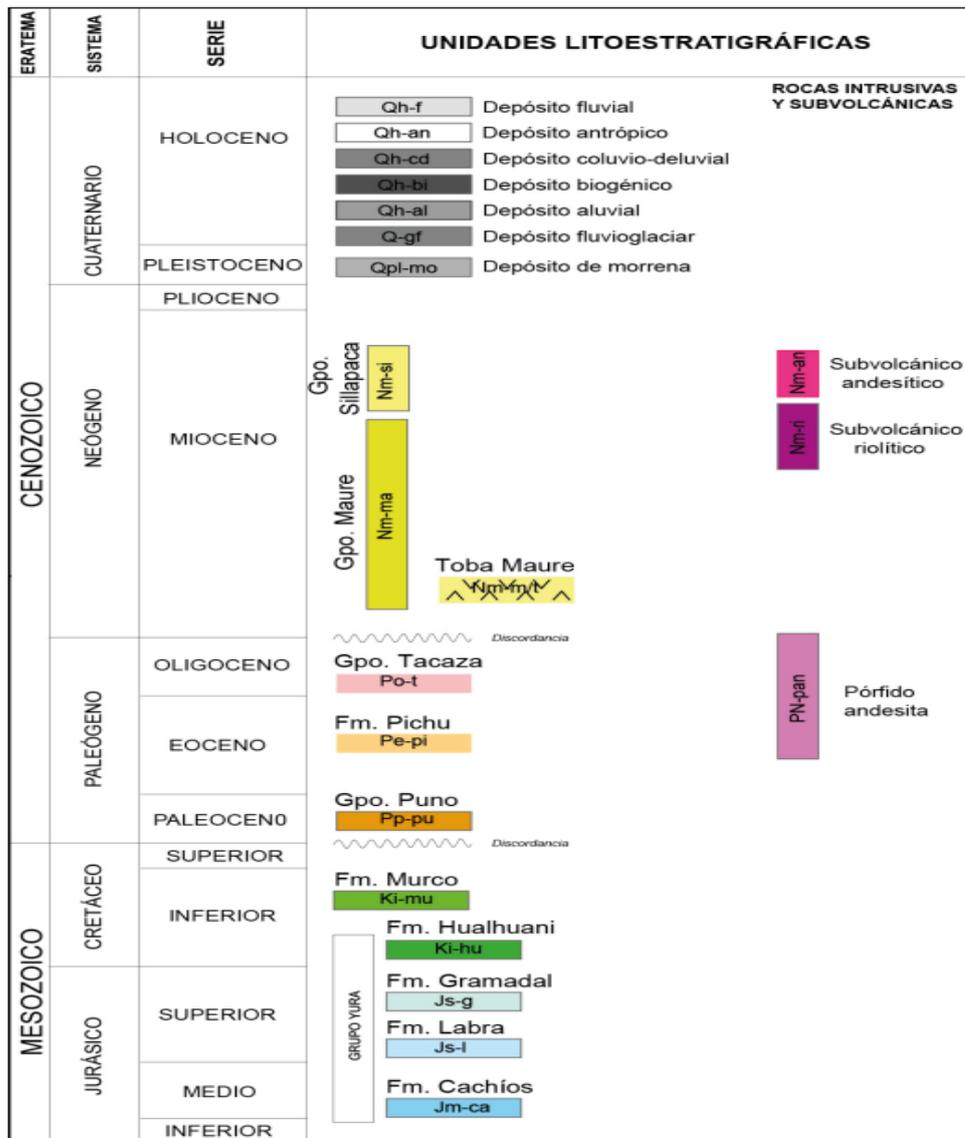
## **4.4 GEOLOGÍA**

Según Lipa, Valdivia y Carrasco (2001) el presente trabajo es el resultado de la Revisión del cuadrángulo de Ichuña (33-u), desarrollado como parte de la tarea de Revisión y Actualización de la Carta Geológica Nacional (Franja 1) llevado a cabo por la Dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en el año 2000.

El cuadrángulo de Ichuña (33-u), se encuentran las unidades estratigráficas que van desde el Jurásico medio hasta el Cuaternario. Se han tomado como base los estudios y cartografiado geológico anteriores, publicado como: “Geología del cuadrángulo de Ichuña (Marocco R. Y Del Pino M., 1966) y Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Sur-peruana (Vicente, J. C. 1981), entre otros.

**Figura 27**

*Unidades estratigráficas de la zona*



Fuente: INGEMET

#### 4.5 GRUPO PUNO (P-pu) CENOZOICO

Según Lipa, Valdivia y Carrasco (2001) el cuadrángulo de Ichuña se le dio este nombre a una hilera de conglomerados irregulares de color rojo del Grupo Yura. Al sur de Exchaje en el Valle de Ciguaya, se reconoció una secuencia de unos 350 m de espesor con clastos ángulosos y subredondeados de cuarcita y caliza negra incrustada en arenisca

arenosa; su espesor varía de 30 a 40 m en el valle del río Ichuña, y alcanza de 100 a 150 metros en el río Paltuture. En general, la recaudación muestra un rápido adelgazamiento.

**Tabla 5**

*Roca arenisca.*

MUESTRA N° 1	
ARENISCA	
	<b>PROPIEDADES:</b> Es una roca sedimentaria Son generalmente de pardo a rojizo, bien clasificadas masivas a bien estratificadas (compactadas) y de tamaño variable (de grano medio a grueso)

#### 4.6 GRUPO TACAZA

El Grupo Tacaza está formado por una serie de niveles volcánicos y piroclásticos andesíticos y clásticos. Cuando aparece el ancho, puede alcanzar el 30% del cuadrángulo. Dentro de este grupo se conocen las formaciones Pichu y Llallahui.

##### 4.6.1 Formación Pichu (P-pi)

Fue definido por Marocco y Del Pino (1966) y consiste de andesitas, areniscas gris verdosas, conglomerados y volcánicas y piroclastos. En la Formación Pichu, las rocas volcánicas sobre los sedimentos son distintas y muestran una forma lenticular, provocando un cambio litológico de corta distancia.

Una secuencia de areniscas, grandes microconglomerados y andesitas de 400 m de espesor se presenta al norte de Yanahuara en el cerro Hurmanayo. Al norte del pueblo de Coalaque, su espesor es muy fino, alcanzando sólo 80 m.

**Tabla 6**

*Roca andesita.*

MUESTRA N°2	
ANDESITA	
	<b>PROPIEDADES:</b> Es una roca volcánica de color gris de grano porfírico teniendo fenocristales de hasta de 5mm. de diámetro; horblenda y los feldespatos y minerales ferromagnesianos oscuros.

## 4.7 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

### 4.7.1 Depósitos Fluvioglaciares Pleistocénicos (Qpl-fg)

Consiste en pequeños guijarros clásticos redondeados con un diámetro de 5 cm, en algunos lugares entretejidos con capas de arena y barro limo. Se extiende hacia el este del área de estudio en Tiquini y frecuentemente está cubierto por morrenas.

### 4.7.2 Depósitos Morrenicos (Qpl-mo)

Los depósitos de morrenas son bloques angulares de estructura irregular de diversos tamaños, incrustados en arenisca y caracterizados por una estratificación. Se distribuye por varios puntos del cuadrángulo de Ichuña y la mayoría de las formaciones volcánicas.



#### **4.7.3 Lahars (Qpl-bxa)**

Hay una variedad de bloques de roca volcánica y arenisca arcillosa, junto con tobas, lapilli, cenizas volcánicas, fragmentos de roca volcánica y piedras pómez de diferentes tamaños. Estos elementos se encontraron al este del área de estudio, en la comunidad de Cangallo Chico.

#### **4.7.4 Depósitos aluviales y arenas de alteración (Qh-el,Qh-al):**

Los depósitos están formados por limos, arenas y limos. Estos depósitos se forman por erosión y sedimentación en pendientes pronunciadas cerca de conos volcánicos. Las rocas son el resultado de la erosión local junto con depósitos de arena erosionados. Las pampas de Confital son fáciles de identificar en el campo.

#### **4.7.5 Depósitos Aluviales (Qh-al)**

Estos depósitos consisten en areniscas, limolitas y ripios con acuíferos activos. Contienen clastos sub redondeado y sub angulosos en un núcleo arenoso limoso.

#### **4.7.6 Cenizas volcánicas (Qh-ce)**

La ceniza volcánica es de menor potencia y de color gris. Contiene fragmentos de feldespatos, ferromagnesianos, pomes, cuarzo y lapillis. Estos son productos de emisiones volcánicas.



## 5 CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 PRESENTACION DE RESULTADOS

El estudio de investigación tiene una población de muestra de 30 ensayos de: método cono de arena y densímetro nuclear, en el dique de contención del DMI, los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 7**

*Registro de densidades*

Item	N° Registro	Procedencia del material	Laboratorio		
			Fecha de ensayo	Maxima densidad(g/cm <sup>3</sup> )	Humedad Optima (%)
1	LAB-CUM-RE-004	Acopio DMI	28/03/2023	2.223	6.0%
2	LAB-CUM-RE-006	Acopio DMI	30/03/2023	2.225	6.2%
3	LAB-CUM-RE-009	Acopio DMI	03/04/2023	2.219	5.9%
4	LAB-CUM-RE-011	Acopio DMI	07/04/2023	2.222	6.1%
5	LAB-CUM-RE-015	Acopio DMI	11/04/2023	2.221	5.8%
6	LAB-CUM-RE-017	Acopio DMI	18/04/2023	2.224	6.0%
7	LAB-CUM-RE-018	Acopio DMI	24/04/2023	2.218	5.7%
8	LAB-CUM-RE-021	Acopio DMI	01/05/2023	2.226	6.3%
9	LAB-CUM-RE-023	Acopio DMI	06/05/2023	2.220	6.0%
10	LAB-CUM-RE-025	Acopio DMI	14/04/2023	2.226	6.2%

Según la tabla 7 el resumen del registro de densidades del Proctor estándar y la certificación de estos ensayos ver anexos.

##### 5.1.1 Comparación del porcentaje de compactación.

La teoría indica que existen métodos normados para determinar la densidad en campo. Uno de ellos es un método destructivo (cono de arena) y el otro es un método radiactivo (no destructivo).



Es importante controlar la homogeneidad del material cuando se coloca en las capas del dique de contención del depósito de material inadecuado (DMI), para así poder obtener resultados confiables sobre el porcentaje de compactación. Además, se debe supervisar que se realice una compactación adecuada con el rodillo.

Para asegurar la credibilidad de los resultados, se utilizaron dos métodos de prueba en el mismo lugar.

- Primero se utilizó el método destructivo (cono de arena)
- Segundo se realizó el método no destructivo (densímetro nuclear).

De esta manera, la muestra no fue modificada ni alterada, lo que se refleja en los resultados que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8***Comparación: cono de arena y densímetro nuclear.*

Item	Fecha de ensayo	Procedencia del material	N° de capa	% Compactacion	
				Cono de Arena	Densímetro Nuclear
1	02/04/2023	Acopio DMI	2	96.4	97.5
2	05/04/2023	Acopio DMI	4	97.7	98.5
3	08/04/2023	Acopio DMI	6	97.3	98.4
4	11/04/2023	Acopio DMI	8	96.6	97.4
5	14/04/2023	Acopio DMI	10	96.5	97.5
6	17/04/2023	Acopio DMI	12	97.9	98.1
7	20/04/2023	Acopio DMI	14	96.8	97.1
8	23/04/2023	Acopio DMI	16	97.1	97.9
9	26/04/2023	Acopio DMI	18	96.8	97.5
10	29/04/2023	Acopio DMI	20	97.5	97.8
11	02/05/2023	Acopio DMI	22	97.3	98.2
12	05/05/2023	Acopio DMI	24	97.8	98.3
13	08/05/2023	Acopio DMI	26	97.4	98.7
14	11/05/2023	Acopio DMI	28	97.2	98.5
15	14/05/2023	Acopio DMI	30	97.5	98.5
16	17/05/2023	Acopio DMI	32	96.5	98.9
17	20/05/2023	Acopio DMI	34	97.2	98.4
18	23/05/2023	Acopio DMI	36	96.8	98.6
19	26/05/2023	Acopio DMI	38	97.5	98.1
20	29/05/2023	Acopio DMI	40	97.1	98.6
21	01/06/2023	Acopio DMI	42	98.4	98.9
22	04/06/2023	Acopio DMI	44	96.8	98.3
23	07/06/2023	Acopio DMI	46	97.5	98.1
24	10/06/2023	Acopio DMI	48	96.9	98.7
25	13/06/2023	Acopio DMI	50	96.8	98.1
26	16/06/2023	Acopio DMI	52	97.4	99.2
27	19/06/2023	Acopio DMI	54	97.5	98.6
28	22/06/2023	Acopio DMI	56	98.3	99.1
29	25/06/2023	Acopio DMI	58	97.2	98.9
30	28/06/2023	Acopio DMI	60	96.9	98.6

De la tabla 8, se muestra que ambos métodos contribuyen paralelamente en la determinación de la densidad de campo, ya que el valor está por encima del 95% de compactación, quiere decir que ambos métodos pueden ser utilizados. Los resultados de este material evaluado propio del DMI se evidencia en los anexos.



### 5.1.2 Variación de resultados.

Posterior a ello, se explica la diferencia entre los resultados obtenidos para el porcentaje de compactación mediante el método del cono de arena y el método nuclear. Consulte la tabla 9.

**Tabla 9**

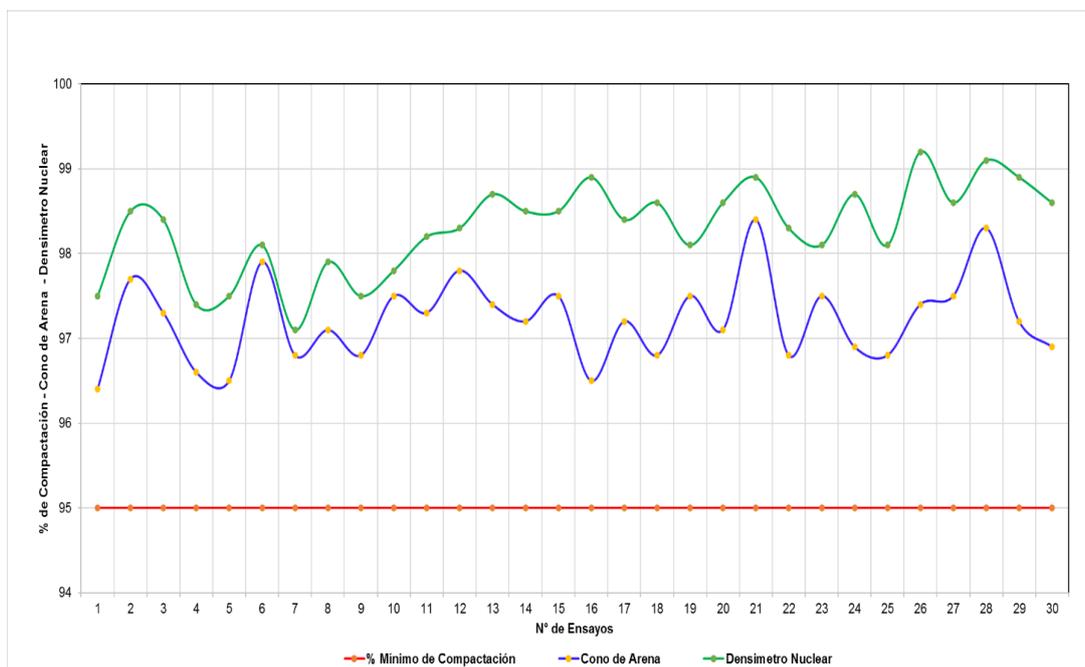
*Variación del Porcentaje de Compactación del cono de arena con respecto al densímetro nuclear.*

Item	Fecha de ensayo	N° de capa	% Compactacion		$\Delta$
			Cono de Arena	Densímetro Nuclear	
1	02/04/2023	2	96.4	97.5	-2
2	05/04/2023	4	97.7	98.5	-2
3	08/04/2023	6	97.3	98.4	-2
4	11/04/2023	8	96.6	97.4	-2
5	14/04/2023	10	96.5	97.5	-2
6	17/04/2023	12	97.9	98.1	-1
7	20/04/2023	14	96.8	97.1	-1
8	23/04/2023	16	97.1	97.9	-2
9	26/04/2023	18	96.8	97.5	-2
10	29/04/2023	20	97.5	97.8	-1
11	02/05/2023	22	97.3	98.2	-2
12	05/05/2023	24	97.8	98.3	-2
13	08/05/2023	26	97.4	98.7	-2
14	11/05/2023	28	97.2	98.5	-2
15	14/05/2023	30	97.5	98.5	-2
16	17/05/2023	32	96.5	98.9	-3
17	20/05/2023	34	97.2	98.4	-2
18	23/05/2023	36	96.8	98.6	-3
19	26/05/2023	38	97.5	98.1	-2
20	29/05/2023	40	97.1	98.6	-3
21	01/06/2023	42	98.4	98.9	-2
22	04/06/2023	44	96.8	98.3	-3
23	07/06/2023	46	97.5	98.1	-2
24	10/06/2023	48	96.9	98.7	-3
25	13/06/2023	50	96.8	98.1	-2
26	16/06/2023	52	97.4	99.2	-3
27	19/06/2023	54	97.5	98.6	-2
28	22/06/2023	56	98.3	99.1	-2
29	25/06/2023	58	97.2	98.9	-3
30	28/06/2023	60	96.9	98.6	-3

A continuación, se detalla gráficamente los resultados obtenidos para el la variación del porcentaje de compactación por los métodos cono de arena y densímetro nuclear en la Fig. 28.

### Figura 28

*Variación del Porcentaje de Compactación Cono de arena – Densímetro nuclear.*



De la tabla 9 la población muestra de 30 ensayos para la variación porcentaje de compactación, 27 ensayos que representa 90 % tiene variación  $\pm 2\%$  y 3 ensayos que representa el 10% tiene una variación del  $\pm 1\%$ . Del mismo modo, la tendencia lineal evidenciada para ambos métodos ver tabla 6 está asociada con diferenciaciones estadísticas. Así mismo, debido a la relación variable de los resultados evaluaremos la existencia de la correlación (comprobante) entre el método cono de arena y método nuclear.

La **Correlación de Pearson**, desde el punto de vista de Flores (2014), indica la expresión correlación, a fin de conocer que tal cercano es la conexión

entre dos variables, señalando que el coeficiente de correlación  $r$  se localiza entre los valores  $-1$  y  $1$ , puesto que si  $r$  es cercano o igual a  $\pm 1$  la correlación se estima fuerte o perfecta, sin embargo si el valor  $r$  es igual o próximo a  $0$  la correlación se estima nula o débil, definiendo  $r = \sqrt{R^2}$  (p.94).

**Tabla 10**

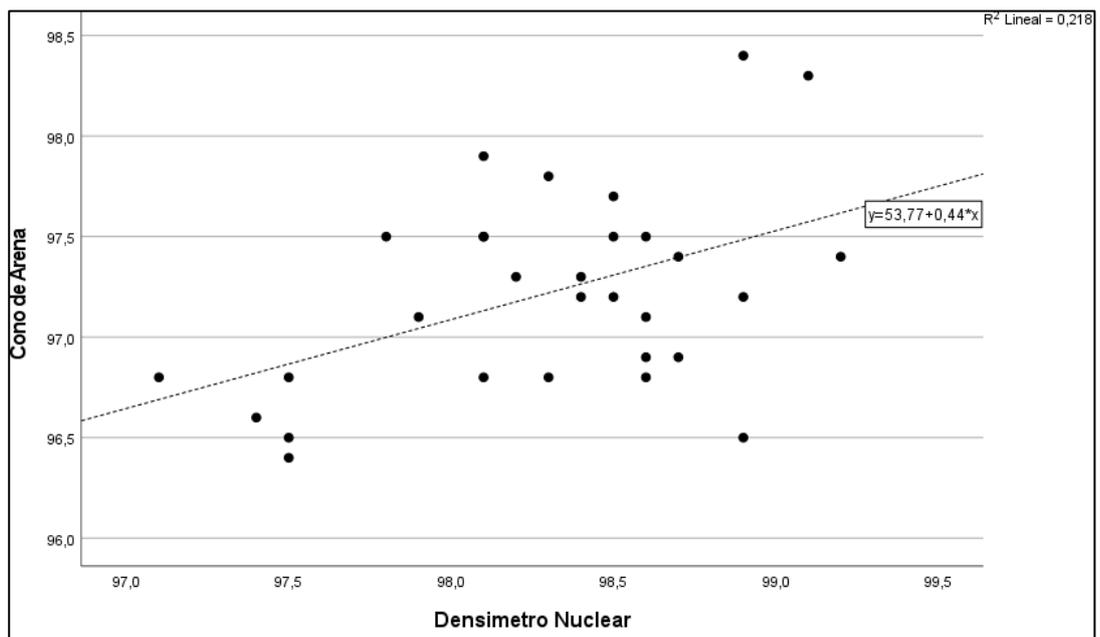
*Interpretación del coeficiente "r" de Pearson*

Interpretación del coeficiente "r" de Pearson	
r	Grado de correlación
1	Correlación perfecta
0.80 - 0.99	Correlación muy alta
0.60 - 0.79	Correlación alta
0.40 - 0.59	Correlación moderada
0.20 - 0.39	Correlación baja
0.01 - 0.20	Correlación muy baja
0	Correlación nula

Fuente: Hernandez, Fernandes & Batista, 2016, pags 304 – 305

**Figura 29**

*Correlación cono de arena y densímetro nuclear*



**Tabla 11**

*Correlación de Pearson*

		Cono de arena	Densímetro Nuclear
Cono de arena	Correlación de Pearson	1	0,467**
	Sig. (bilateral)		0,009
	N	30	30
Densímetro Nuclear	Correlación de Pearson	0,467**	1
	Sig. (bilateral)	0,009	
	N	30	30

\*\* La correlacion es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

De la figura 28 y 29, y la tabla 10. La correlación en la variación del porcentaje de compactación de cono de arena y densímetro nuclear se adquiere que  $R^2$  es 0.218, por lo tanto, se desprende que; “r” tiene como valor 0.47; resultado que representa una relación verdadera media (moderada) entre el grado de compactación alcanzado tanto del cono de arena como del densímetro nuclear.

**Tabla 12**

*Prueba de normalidad – porcentaje de compactación.*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cono de arena	0,121	30	0,200*	0,960	30	0,319
Densímetro Nuclear	0,119	30	0,200*	0,959	30	0,286

\*. Esto es un limite inferior de la significacion verdadera  
a. Correccion de significaciones de Lilliefors

Para examinar la repartición de los datos se ejecutó la prueba de Shapiro-Wilk en vista de que la cantidad de datos es menor a 50. La variable del porcentaje de compactación cono de arena y densímetro nuclear manifiesta una distribución normal, a causa del nivel de significancia:  $p = 0.319$  (cono de arena)  $p = 0.286$



(densímetro nuclear) esto implica que es mayor al 0.05 según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Entonces significa que los datos de los ensayos son válidos en su totalidad.

### **5.1.3 La eficiencia de las características y el tiempo de ejecución de ensayos.**

En función al análisis de las cualidades analizadas de cada ensayo se va a comenzar a concluir qué ventajas y desventajas posee cada método. Asimismo, ver tabla 10, para concluir que método se adecua el tiempo empleado por cada ensayo. Según requiere nuestro objetivo específico 2.

Es importante aclarar que el tiempo mencionado se refiere a los ensayos realizados en el sitio, no a los análisis de laboratorio. Los ensayos se llevaron a cabo de manera continua en la misma área de muestra, comenzando con el método del cono de arena y luego continuando con el método del densímetro nuclear. Cabe señalar que los ensayos se realizaron en condiciones climáticas favorables, sin presencia de lluvias o tormentas eléctricas, lo que permitió completar los ensayos en su totalidad.

**Tabla 13**

*Ventajas y desventajas del método cono de arena y densímetro nuclear.*

Item	CONO DE ARENA	DENSIMETRO NUCLEAR
VENTAJAS	El procedimiento y la medición es de fácil aprendizaje. No requiere técnico especializado, con licencia de operación Se puede hacer una inspección visual del estrato que se ensaya.	Procedimiento fácil de ejecutar. Profesional licenciado por la IPEN Los resultados se adquiere de manera inmediata Metodo no destructivo Optimiza recursos para la empresa No hay error de toma de datos, ya que son digitalizados Se pueden ejecutar mayor cantidad de ensayos en menor tiempo. Reduce la necesidad de realizar pruebas demorosos en laboratorio. Amplio rango de aplicaciones: carreteras puentes, suelos y
	DESVENTAJAS	Mayor intervención del factor humano (cansancio y fatiga por el tiempo) Metodo destructivo El error en toma de datos y cálculos. La duración del ensayo es prolongada debido a que es un Se debe evitar trabajos de compactación cercanos u otros que produzcan vibración pues altera el

Analizando las características de ambos métodos es evidente que el densímetro nuclear es eficiente en menor tiempo.



**Tabla 14**

*Tiempo empleado de ensayos – Cono de Arena y Densímetro Nuclear*

Item	Fecha de ensayo	N° de capa	Tiempo empleado por cada ensayo (minutos)	
			Cono de Arena	Densímetro Nuclear
1	02/04/2023	2	32	8
2	05/04/2023	4	38	7
3	08/04/2023	6	32	9
4	11/04/2023	8	35	8
5	14/04/2023	10	38	7
6	17/04/2023	12	34	9
7	20/04/2023	14	38	8
8	23/04/2023	16	34	7
9	26/04/2023	18	37	8
10	29/04/2023	20	34	9
11	02/05/2023	22	33	8
12	05/05/2023	24	38	7
13	08/05/2023	26	35	8
14	11/05/2023	28	36	7
15	14/05/2023	30	39	8
16	17/05/2023	32	37	9
17	20/05/2023	34	35	8
18	23/05/2023	36	34	9
19	26/05/2023	38	38	7
20	29/05/2023	40	36	8
21	01/06/2023	42	34	9
22	04/06/2023	44	36	7
23	07/06/2023	46	37	8
24	10/06/2023	48	38	9
25	13/06/2023	50	34	8
26	16/06/2023	52	36	7
27	19/06/2023	54	37	9
28	22/06/2023	56	35	7
29	25/06/2023	58	38	8
30	28/06/2023	60	34	9



**Tabla 15**

*Promedio: tiempo empleado de por cada método.*

Item	Promedio: tiempo empleado
Cono de Arena	36 minutos por ensayo
Densímetro nuclear	8 minutos por ensayo

Al realizar el promedio aritmético, la variación del tiempo muestra que existe una desigualdad representativa entre los métodos cono de arena y densímetro nuclear, en el que da a conocer que el densímetro nuclear nos brinda con promedio de tiempo 8 minutos por ensayo, mientras que el cono de arena nos brinda un promedio de tiempo de 36 minutos por ensayo, lo que significa la validez de nuestra hipótesis específica 2.



## VI. CONCLUSIONES

- Se determinó que ambos métodos contribuyen paralelamente en la determinación de la densidad de campo, ya que el valor está por encima del 95% de compactación. Según resultados obtenidos en la investigación podemos sostener que la variación de los resultados entre los métodos: cono de arena y densímetro nuclear en base de la muestra de 30 ensayos: 27 ensayos que representa 90 % tiene variación  $\pm 2\%$  y 3 ensayos que representa el 10% tiene una variación del  $\pm 1\%$ . Esto corresponde a una relación positiva media ( $r=0.47$ ) según la correlación de Pearson. Que no hay una variación significativa de ambos métodos, es decir que ambos métodos pueden ser utilizados.
- Las características observadas de las ventajas y desventajas de ambos métodos nos permitieron comprobar la validez de nuestra hipótesis, según el PPI la frecuencia de ensayos se debe realizar de cada método: el densímetro nuclear al realizar  $1/500 \text{ m}^3$  y cono de arena  $1/2500 \text{ m}^3$ , al comparar los 30 ensayos el promedio aritmético de cada método: el densímetro nuclear nos brinda con promedio de tiempo 8 minutos por ensayo, mientras que el cono de arena nos brinda un promedio de tiempo de 36 minutos por ensayo, por lo tanto, el más eficiente para utilizar en menor tiempo es el método densímetro nuclear, también es 4.5 veces más rápido que el cono de arena.



## VII. RECOMENDACIONES

- Durante las pruebas de control de densidad, se debe evitar el tránsito de maquinaria pesada. No se debe realizar compactación cerca de la zona de prueba. El personal no capacitado no debe estar presente en la prueba, hay que evitar los factores climáticos estos factores pueden producir resultados erróneos en la prueba y los resultados erróneos pueden afectar la comparación posterior de la densidad en el campo.
- El densímetro nuclear es muy útil para obras de carreteras, diques y terraplenes. Esto se debe a la rapidez en la obtención de datos con este equipo. Por lo tanto, se recomienda seguir cuidadosamente todas las exigencias del manual del equipo. Además, se deben cumplir con los procedimientos establecidos por el IPEN.
- Se recomienda usar el método del densímetro nuclear este método nos permite determinar rápidamente la densidad seca, húmeda y la humedad de los suelos. Lo hace de manera precisa y rápida. No es necesario usar métodos que involucren la extracción física del material como el cono de arena.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badillo, E. J., & Rico Rodríguez, A. (1996). *Mecánica de suelos tomo i, fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa Noriega.
- Barrera Ramos, V. V. (2022). *Comparación del método cono de arena y método nuclear para determinar densidad de campo en afirmado - acceso polvorín Quellaveco 2020*.
- Berrocal Espinal C. N. (2019). *Comparación de control de grado de compactación, usando el deflectómetro de peso liviano, comparando a los resultados del método nuclear y método del cono de arena para un tramo del proyecto Tocache – Juanjuí San Martín*.
- Borda, A. R. (1996). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Lima - Perú: 210 H. B.
- Cavero y Terran (2015) *Cantidad de periodos a nivel de las capas compactadas para adquirir la densidad optima, empleando los métodos: densímetro nuclear y cono de arena, en el acceso principal a Conga, Cajamarca*
- Cruz Angeldonis, L. D. (2020). *Comparación técnica - económica entre el densímetro nuclear y el método de cono y arena en la determinación de la densidad in situ*.
- Guerrón AVECILLAS, S. A. (2013). *Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear*.
- Hernández Sampieri R. & Mendoza Torres C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGRAW-HILL-Primera Edición.



- Pasmíño (2023) *Evaluación del grado de compactación en la red de caminos vecinales de Riobamba comparando métodos convencionales y alternativos in situ*, Riobamba Ecuador.
- Torres (2021) *Elaboración de un manual de seguridad y protección radiológica para el densímetro nuclear*, Riobamba Ecuador.
- Universidad Nacional de Ingeniería. (1975). “*Manual de Laboratorio de Suelos*”. Editorial UNI: Lima - Perú.
- Universidad Nacional del Altiplano. (2004). “*Manual para Elaborar Proyectos de Tesis en Pregrado*”. Editorial UNA: Puno – Perú.
- Valderrama, M. (2001). *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación*.
- Villalaz, C. C. (1990). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa Noriega - México.
- Zeta Eche, D. G. (2019). *Semejanza del empleo del método densímetro nuclear y cono de arena para concluir la densidad de campo con materiales adherentes en la carretera Piura – Paita*.



## **ANEXOS**

**ANEXO 1: PLANO DEL PROYECTO**

**ANEXO 2: PERFIL DEL PROYECTO**

**ANEXO 3: PLANO GEOLÓGICO**

**ANEXO 4: PLANO GEOMORFOLÓGICO**

**ANEXO 5: ENSAYOS DE LABORATORIO**

**ANEXO 6: ENSAYOS DE CONO ARENA**

**ANEXO 7: ENSAYOS DE DENSIMETRO NUCLEAR**

**ANEXO 8: LICENCIA DE OPERADOR DEL DENSIMETRO NUCLEAR**

**ANEXO 9: CONSENTIMIENTO DE USO DE DATOS**



## ANEXO 10: AUTORIZACIÓN PARA EL DEPOSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

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

Por el presente documento, Yo Victor Mario Mayhua Escalviana  
identificado con DNI 48045424 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Geológica.

.informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"Comparación de resultados entre los métodos cono de arena y densímetro nuclear para la determinación de densidad de campo en la ejecución del dique de contención por saneo"

"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 10 de Setiembre del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 11: DECLARACION JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Victor Mario Mayhua Ccalwuma  
, identificado con DNI 48045424 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Geológica  
, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"Comparación de resultados entre los métodos cono de arena y densímetro nuclear para determinar la densidad de campo en la ejecución del dique de contención de proyecto San Gabriel - Ichuña"  
" 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 10 de Setiembre del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella