



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO  
AMBIENTE**



**TESIS**

**EFFECTO EN LA CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE UN SUELO  
CONTAMINADO POR PETRÓLEO DE LA CIUDAD DE PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2024**

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO EN LA CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE UN SUELO CONTAMINADO POR PETRÓLEO DE LA CIUDAD DE PUNO**

AUTOR

**EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ**

RECuento DE PALABRAS

**35969 Words**

RECuento DE CARACTERES

**175373 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**272 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 21, 2024 8:19 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 21, 2024 8:22 AM GMT-5**

● **13% de similitud general**

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

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 3% 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 10 palabras)

  
Dr. VLADIMIRO IBÁÑEZ QUISPE  
DOCENTE PRINCIPAL - UNA - P.  
CIP. 47043



Resumen



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**

**TESIS**

**EFFECTO EN LA CONSISTENCIA Y COMPACTACIÓN DE UN SUELO  
CONTAMINADO POR PETRÓLEO DE LA CIUDAD DE PUNO**



**PRESENTADA POR:**

**EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

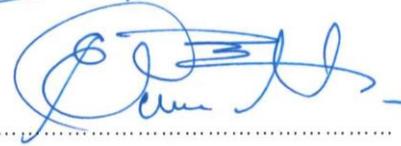
PRESIDENTE

  
.....  
D.Sc. NESTOR QUISPE CONDORI

PRIMER MIEMBRO

  
.....  
D.Sc. JUAN JOSE PAURO ROQUE

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Ph.D. ELMER ELIO CALIZAYA LLATASI

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Dr. VLADIMIRO IBAÑEZ QUISPE

Puno, 25 enero de 2024

**ÁREA:** Ciencias de la Ingeniería.

**TEMA:** Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo.

**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente.



## DEDICATORIA

Un agradecimiento eterno a Dios, quien que en todo momento está conmigo y me ayudó a pasar momentos difíciles de salud en estos dos últimos años; a mis queridos padres, Cirilo y Celedonia Marina por apoyarme a pesar del tiempo; a mi hermosa esposa Silvia Leonor quien con su amor y cariño me brindó esa motivación para concluir este trabajo de investigación, y finalmente a mis hijos Diego Fernando y Jhía Ariana Abigail, quienes alegran e iluminan mi vida.

**Edwin James Medina Alvarez**



## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, por la oportunidad de ampliar mis conocimientos a nivel de posgrado.

Al Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, por el acceso que me brindó para realizar estudios de posgrado.

A todos los docentes del Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente por haber compartido sus conocimientos.

A los representantes del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno por el apoyo en la ejecución de los ensayos de consistencia y compactación.

Al presidente, miembros del jurado evaluador y asesor de esta tesis doctoral, que con sus valiosos aportes coadyuvaron con enriquecer el presente trabajo de investigación.

A mi Asesor Dr. Vladimiro Ibáñez Quispe, por realizar el procesamiento estadístico y entrega de los resultados obtenidos, en un software con código abierto.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	5
1.1.1	El suelo	5
1.1.2	Clasificación de suelos	6
1.1.3	Consistencia del suelo	10
1.1.4	Compactación del suelo	16
1.1.5	Petróleo	21
1.1.6	Fuentes de contaminación del suelo	29
1.2	Antecedentes	30

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	37
2.2	Enunciados del problema	38
2.2.1	Problema general	38
2.2.2	Problemas específicos	38
2.3	Justificación	38
2.4	Objetivos	39
2.4.1	Objetivo general	39
2.4.2	Objetivos específicos	40
2.5	Hipótesis	40
2.5.1	Hipótesis general	40



2.5.2	Hipótesis específicas	40
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
3.1	Lugar de estudio	41
3.2	Población	41
3.3	Muestra	42
3.4	Método de investigación	44
3.4.1	Tipo de investigación	44
3.4.2	Nivel de investigación	45
3.4.3	Variables	45
3.4.4	Diseño de investigación	45
3.4.5	Diseño estadístico del experimento	46
3.4.6	Prueba estadística del experimento	47
3.4.7	Técnicas de investigación	48
3.4.8	Instrumentos de investigación	49
3.4.9	Proceso de la investigación	51
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	52
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
4.1	Caracterización del suelo	54
4.2	Consistencia de un suelo contaminado con tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo	54
4.3	Compactación de un suelo contaminado con tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo	74
4.4	Discusión de los resultados	92
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES		102
BIBLIOGRAFÍA		103
ANEXOS		113

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Símbolos para la identificación de suelos en el sistema unificado	7
2. Sistema unificado de clasificación de suelos	8
3. Análisis Químico de los petróleos	23
4. Derivados del Petróleo y los LGN producidos en Perú	26
5. Resumen de la muestra utilizada en la investigación	44
6. Operacionalización de variables	45
7. ANOVA del diseño bloque completo al azar incluyendo el submuestreo	47
8. Ensayos de Laboratorio realizados en la investigación	50
9. Resumen de resultados de caracterización del suelo	54
10. Resumen de resultados del ensayo de límite líquido	55
11. Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque o calicata “A”	56
12. Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque o calicata “B”	57
13. Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque o calicata “C”	58
14. Estadísticos descriptivos de Límite Líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	60
15. Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para el límite líquido	62
16. Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para el límite líquido	64
17. Resumen de resultados del ensayo de límite plástico	65
18. Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque o calicata “A”	65
19. Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque o calicata “B”	66
20. Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque o calicata “C”	68
21. Estadísticos descriptivos del límite plástico para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	69
22. Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para el límite plástico	72
23. Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para el límite plástico	73
24. Resumen de resultados del ensayo de Próctor Modificado – Densidad máxima seca en gr/cm <sup>3</sup>	74
25. Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca del bloque o calicata “A”	75
26. Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca del bloque o calicata “B”	76



27.	Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca del bloque o calicata “C”	77
28.	Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	79
29.	Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para la densidad máxima seca	81
30.	Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para la densidad máxima seca	82
31.	Resumen de resultados del ensayo de Próctor Modificado – Contenido de humedad óptimo %	83
32.	Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo del bloque o calicata “A”	84
33.	Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo del bloque o calicata “B”	85
34.	Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo del bloque o calicata “C”	86
35.	Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	88
36.	Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para el contenido de humedad óptimo	91
37.	Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de humedad óptimo	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Carta de plasticidad	10
2. Límites de Atterberg	12
3. Diagrama esquemático de (a) dispositivo de límite líquido, (b) herramienta de ranurado, (c) pat de suelo al principio de la prueba, y (d) pat de suelo al final de la prueba	14
4. Naturaleza de la variación de $\gamma_d$ frente a $w$	19
5. Hidrocarburos básicos	22
6. Diagrama de proceso de refinación del petróleo	24
7. Evolución de la producción de petróleo y LGN desde 1880 a 2014	25
8. Imagen del surtidor de petróleo del grifo “Servicentro” de la Universidad Nacional del Altiplano Puno	28
9. Ubicación del lugar de estudio	41
10. Valores promedios del límite líquido para el bloque o calicata “A”	56
11. Valores promedios del límite líquido para el bloque o calicata “B”	57
12. Valores promedios del límite líquido para el bloque o calicata “B”	58
13. Comportamiento de los resultados del límite líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	59
14. Valores promedios del límite líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	60
15. Diagrama de cajas de los valores promedio del límite líquido y tratamientos de contenido de petróleo	61
16. Valores promedios del límite plástico para el bloque o calicata “A”	66
17. Valores promedios del límite plástico para el bloque o calicata “B”	67
18. Valores promedios del límite plástico para el bloque o calicata “C”	68
19. Comportamiento de los resultados del límite plástico para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	69
20. Valores promedios del límite plástico para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	70
21. Diagrama de cajas de los valores promedio del límite plástico y tratamientos de contenido de petróleo	71
22. Valores promedios de la densidad máxima seca para el bloque o calicata “A”	75



23.	Valores promedios de la densidad máxima seca para el bloque o calicata “B”	76
24.	Valores promedios de la densidad máxima seca para el bloque o calicata “C”	77
25.	Comportamiento de los resultados de la Densidad Máxima Seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	78
26.	Valores promedios de la densidad máxima seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	79
27.	Diagrama de cajas de los valores promedio de la densidad máxima seca y tratamientos de contenido de petróleo	80
28.	Valores promedios del contenido de humedad óptimo para el bloque o calicata “A”	85
29.	Valores promedios del contenido de humedad óptimo para el bloque o calicata “B”	86
30.	Valores promedios del contenido de humedad óptimo para el bloque o calicata “B”	87
31.	Comportamiento de los resultados del contenido de humedad óptimo para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	88
32.	Valores promedios del contenido de humedad óptimo para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”	89
33.	Diagrama de cajas de los valores promedio del contenido de humedad óptimo y tratamientos de contenido de petróleo	90



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Matriz de consistencia	113
2. Documento de solicitud para la extracción de muestras	115
3. Imágenes del proceso de extracción de muestras para la ejecución del experimento	116
4. Resultados de ensayos de caracterización del suelo	118
5. Resultados de los ensayos de consistencia para los diversos tratamientos con contenido de petróleo	127
6. Resultados de los ensayos de compactación para los diversos tratamientos con contenido de petróleo	187
7. Resultados del software R V4.3.0	247
8. Datos transformados para prueba de normalidad	260

## RESUMEN

Actualmente existe un problema mundial de contaminación de suelos por derrames de petróleo que afecta grandes áreas de terrenos; en ese escenario, la presente investigación tiene por objetivo evaluar el efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno. La investigación corresponde al enfoque cuantitativo y diseño experimental; para ello, se realizaron ensayos de límite líquido, límite plástico y próctor modificado, con muestras de suelo mezclados con petróleo (Diésel DB-5 S-50 UV) en las proporciones de 0%, 1%, 2%, 4% y 6%, que corresponde a 5 tratamientos, con 3 puntos de muestreo o calicatas, y 4 submuestras o repeticiones, haciendo un total de 60 unidades experimentales en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, con un suelo extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad, distrito, provincia y departamento de Puno; producto de la investigación se obtuvo como resultado que el suelo analizado corresponde a un suelo areno arcilloso (SC), y a través del Análisis de Varianza - ANOVA, se determinó que existe una diferencia altamente significativa ( $p_{valor} < 0.05$ ), entre los valores del límite líquido, límite plástico, densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo considerando un nivel de confianza del 99%; consecuentemente el petróleo afecta a los valores de consistencia y compactación del suelo analizado.

**Palabras clave:** Compactación, consistencia, contaminación, petróleo, suelo.

## ABSTRACT

Currently, there is a global problem of soil contamination due to oil spills that affects large areas of land; in this scenario, the present investigation aims to evaluate the effect on the consistency and compaction of a soil contaminated by oil in Puno city. The research corresponds to the quantitative approach and experimental design; for this, liquid limit, plastic limit and modified proctor tests were carried out, with soil samples mixed with petroleum (Diesel DB-5 S-50 UV) in the proportions of 0%, 1%, 2%, 4% and 6 %, which corresponds to five treatments, with three sampling points or pits, and four subsamples or repetitions, in total sixty experimental units in the Soil Mechanics Laboratory of the Professional School of Civil Engineering of the National University of the Altiplano, with soil extracted from the Maestranza Workshop of Puno Provincial Municipality, located in the city, district, province and department of Puno; as a result of the research, it was obtained that the soil analyzed corresponds to a clayey sandy soil (SC), and through the Analysis of Variance - ANOVA, it was determined that there is a highly significant difference ( $p$ value  $<0.05$ ) between the limit values liquid, plastic limit, maximum dry density and optimal moisture content for a contaminated soil with treatments of 0%, 1%, 2%, 4% and 6% oil content considering a 99% confidence level; consequently, oil affects the consistency and compaction values of the analyzed soil.

**Keywords:** Compaction, consistency, contamination, oil, soil.

## INTRODUCCIÓN

El suelo está afectado por las diferentes actividades de las personas; así pues, para poder estudiar su comportamiento primero es necesario establecer una clasificación internacional, y así evaluar su comportamiento físico y mecánico, entre otras características, mediante la consistencia y compactación, a través de los indicadores como: límites líquido y límite plástico; densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo, respectivamente; en ese contexto, existen diversos estudios realizados a nivel mundial respecto a los efectos en las propiedades para un suelo que fue contaminado con productos derivados del petróleo a fin de poder entender su comportamiento.

En la actualidad existe un problema mundial de contaminación de suelos por derrames de petróleo que afectan grandes áreas de terreno, los mismos que entre otros aspectos, son originados por procesos de transporte y derrames accidentales en la industria del petróleo, así como en el desarrollo de trabajos de construcción civil; el derrame de crudo impacta negativamente al medio ambiente alterando la propiedades físicas y químicas del suelo contaminado; sobre el particular, debido al incremento en la cantidad de vehículos, la industria y la ejecución de inversiones públicas y privadas, existe un riesgo en la contaminación de los suelos debido al el uso del petróleo, por ello se propuso como objetivo de la presente investigación evaluar el efecto que presenta el petróleo en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno, siendo este tema es interés desde un enfoque tecnológico y ambiental; adicionalmente es novedoso, dado que actualmente a nivel nacional no se cuenta con este tipo de investigaciones para que se logre conocer del comportamiento de suelos contaminados por petróleo.

Para poder cumplir con el objetivo propuesto, se extrajo un suelo del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la bahía de la ciudad de Puno, y se realizaron ensayos de límite líquido, límite plástico y próctor modificado, con 60 unidades experimentales de muestras de suelo mezclados con petróleo (Diésel DB-5 S-50 UV) con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6%, que fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno; mediante un método de investigación deductivo, de enfoque cuantitativo, con un nivel explicativo y diseño experimental, con la prueba estadística de Análisis de Varianza – ANOVA.



Producto de la investigación realizada se realizó la caracterización del suelo, y se analizó el comportamiento de las variables de límite líquido, límite plástico, densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo para cada una de las calicatas, bloques o unidades estudiadas, asimismo, se realizó la contrastación para cada una de las hipótesis específicas, y discutieron los resultados con otros autores.

En ese contexto, el contenido de la presente tesis doctoral tiene cuatro capítulos: Capítulo I, donde se realizó la revisión de literatura, incluye el marco teórico y los antecedentes de la investigación; dentro del Capítulo II, se consideró el planteamiento del problema, donde se tomó en cuenta la identificación y enunciados del problema, la justificación de la tesis, además de los objetivos e hipótesis generales y específicos, respectivamente; el Capítulo III donde se presenta a los materiales y métodos de la investigación, incluyendo el lugar de estudio, la muestra experimental, el método de investigación; el Capítulo IV, donde se realiza la presentación de los resultados, la contratación de las hipótesis, el análisis y la discusión de los resultados de la investigación, para luego presentar las conclusiones y recomendaciones; terminando con la bibliografía utilizada y los anexos correspondientes.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 El suelo

El suelo es todo aquel espesor del globo terráqueo que se encuentra afectado por las diferentes actividades de los seres humanos, los suelos se originan del proceso de separación y/o variación física y/o química de las rocas presentando diferentes propiedades según su alteración, su constitución mineralógica varía a la que tenía la roca madre, dentro de los agentes físicos que cambian a las rocas podemos mencionar al sol, el agua, el viento y los glaciales, entre los agentes químicos destacan la oxidación, la carbonatación y la hidratación (Crespo, 2004); podemos considerar al suelo como un agregado natural con granos minerales, que puede o no tener componentes orgánicos, y son separados por medios mecánicos comunes, como por ejemplo la agitación dentro del agua (Peck et al., 1983).

Es usual pensar que un suelo viene a ser un conjunto de partículas orgánicas e inorgánicas, que no tiene una organización definida, sin embargo, en la realidad sí cuenta con organización definida y sus propiedades varían “vectorialmente”, en la dirección horizontal sus propiedades no cambian significativamente en comparación a la dirección vertical, a la definición de suelo varía de acuerdo a las diferentes profesiones: Para un Agrónomo, el término “suelo” se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal; para el Geólogo es el material intemperizado donde ahora se encuentra incluida materia orgánica ubicada cerca de la superficie; para el comportamiento mecánico del suelo, el agua contenida juega un papel muy importante y tiene que ser considerado como una parte integral del suelo (Badillo y Rodríguez, 2005).

El suelo es un material granular no adherido que cubre gran parte de la superficie de nuestro planeta y que se encuentra debajo del agua; consiste principalmente de partículas sólidas, las cuales pueden variar en tamaño de menos de una micra a varios milímetros; muchos comportamientos de los suelos

dependen principalmente en el tamaño de partícula típico, razón por la cual, se utilizan este criterio para clasificar los suelos como arcillas, limos, arenas o gravas (Powrie, 2014).

Los suelos tienen como iniciación en los preexistentes macizos rocosos que conforman la roca madre, la cual fue sometida a la fuerza de desintegración del medio ambiente, produciendo una erosión en sus tres aspectos: Física, debida a la acción del agua y cambios térmicos y; Química, debido a los fenómenos como hidratación, disolución, oxidación, cementación y Biológica, producto de una actividad bacteriana; estos aspectos dan lugar a fenómenos meteorización y transformación, formándose un perfil de meteorización, en éste perfil, la roca madre se encuentra en la parte inferior y el suelo ocupa la parte superior. Un suelo residual será cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado; y será transportado cuando sufrió un transporte, formando depósitos coluviales, aluviales (Gonzales de Vallejo, 2004).

El suelo dentro de la ingeniería, podemos definirla como los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, producto de una alteración de las rocas, o por suelos que fueron transportados mediante agentes como por ejemplo: el agua, hielo o viento; mediante la contribución de la gravedad como una fuerza direccional selectiva, también un suelo puede contener materia orgánica, se puede considerar al suelo como un cuerpo natural heterogéneo (Duque y Escobar, 2002).

### **1.1.2 Clasificación de suelos**

Para poder detallar a los diferentes materiales producto de la exploraciones, se hace importante tener una clasificación estándar de tipos de suelos, en caso no se contara con un sistema de clasificación, la información que se publica respecto al comportamiento de tipos de suelos o las recomendaciones para el uso de suelos resultarían confusas, y sería complicado la aplicación de experiencias que fueron adquiridas previamente, la mayoría de clasificaciones divide a los suelos en tres grupos principales (Whitlow, 1999):

- a) Gruesos, se incluye a la piedra, grava y arena
- b) Finos, considera a los limos y arcillas

c) Orgánicos, aquí se encuentran las turbas

Con el pasar de los años diversos sistemas de clasificación de suelos han sido propuestos, aún no existe un sistema que haya reconocido internacionalmente, cabe resaltar que, en los Estados Unidos los sistemas más utilizados son el sistema unificado de clasificación de suelos y el sistema de clasificación de la AASHTO (American Asociación of State Highway and Transportation Officials), éste último usado para la construcción de carreteras (Berry y Reid, 1993), para realizar la clasificación de suelos es necesario los ensayos de límite líquido y plástico, además de una análisis granulométrico (Rodríguez, 2016).

Al respecto, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos originalmente fue presentado por Arthur Casagrande en 1948 y luego fue validado en 1952 por el Cuerpo de Ingenieros y la Oficina de Recuperación de los Estados Unidos, a fin de identificar los suelos para el mencionado sistema se usan los siguientes símbolos (Das, 2001):

**Tabla 1**

*Símbolos para la identificación de suelos en el sistema unificado*

Símbolo	Descripción
Grava	G
Aregna	S
Limo	M
Arcilla	C
Limos, orgánicos y arcilla	O
Turba y suelos altamente orgánica	Pt
Alta plasticidad	H
Baja plasticidad	L
Bien graduados	W
Mal graduados	P

*Nota.* Principios de Ingeniería de Cimentaciones (4ta Ed.), Das (2001), International Thomson.

En la actualidad, este sistema es ampliamente usado por varias organizaciones, ingenieros geotécnicos en empresas privadas de consultoría y

códigos de construcción. Inicialmente, hay dos divisiones principales en este sistema. Un suelo se clasifica como suelo de grano grueso (gravoso y arenoso) si más del 50 % se retiene en un tamiz N° 200 y como suelo de grano fino (limoso y arcilloso) si el 50 % o más pasa a través de un tamiz N° 200. Luego, el suelo se clasifica en varias subdivisiones, como se muestra a continuación (Das, 2019):

**Tabla 2**

*Sistema unificado de clasificación de suelos*

Divisiones principales	Símbolo	Nombres típicos	Criterios de clasificación <sup>a</sup>
Suelos de grano grueso (<50% pasa el tamiz No. 200) <sup>a</sup> Gravas (<50% de fracción gruesa que pasa por el tamiz No. 4) Gravas con pocos o ningún fino	GW	Gravas bien graduadas; mezclas de grava y arena (pocos o ningún fino)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$ Entre 1 y 3
	GP	Gravas mal graduadas; mezclas de grava y arena (pocos o ningún fino)	No cumplir los dos criterios para GW
	Gravas con finos	GM	Gravas limosas; mezclas de grava, arena y limo
GC		Gravas arcillosas; mezclas de grava, arena y arcilla	Límites de Atterberg por encima de la línea A con índice de plasticidad superior a 7 <sup>b</sup> (ver Figura 1)
Arenas (≥50% de fracción gruesa que pasa por el tamiz No. 4) Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas; arenas gravosas (pocos o ningún fino)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$ Entre 1 y 3
	SP	Arenas mal graduadas;	

Divisiones principales	Símbolo	Nombres típicos	Criterios de clasificación <sup>a</sup>
Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	arenas gravosas (pocos o ningún fino) Arenas limosas; mezclas de arena y limo	No cumplir los dos criterios para SW Límites de Atterberg por debajo de la línea A o índice de plasticidad inferior a 4 <sup>b</sup> (ver Figura 1)
	SC	Arenas arcillosas; mezclas de arena y arcilla	Límites de Atterberg por encima de la línea A con índice de plasticidad superior a 7 <sup>b</sup> (ver Figura 1)
Suelos de grano fino ( $\geq 50\%$ que pasan el tamiz No. 200)			
Limos y arcilla (límite líquido inferior a 50)	ML	Limos inorgánicos; arenas muy finas; harina de roca; arenas finas limosas o arcillosas	Ver Figura 1
	CL	Arcillas inorgánicas (plasticidad baja a media); arcillas con grava; arcillas arenosas; arcillas limosas; arcillas magras	Ver Figura 1
Limo y arcilla (límite líquido superior a 50)	OL	Limos orgánicos; arcillas limosas orgánicas (baja plasticidad)	Ver Figura 1
	MH	Limos inorgánicos; suelos limosos o arenosos finos micáceos o de diatomeas; limo elástico	Ver Figura 1
	CH	Arcillas inorgánicas (alta plasticidad); arcillas gordas	Ver Figura 1
	OH	Arcillas orgánicas (plasticidad	Ver Figura 1

Divisiones principales	Símbolo	Nombres típicos	Criterios de clasificación <sup>a</sup>
Limos altamente orgánicos	Pt	media a alta); limos orgánicos Turba; mantillo; y otros suelos altamente orgánicos	

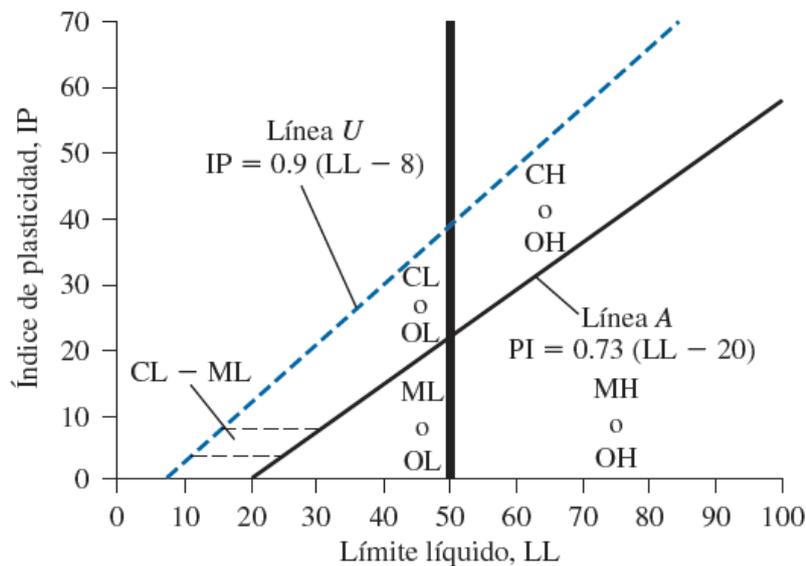
*Nota.* Los símbolos de grupo son G, grava; W, bien graduada; S, arena; P, mal graduada; C, arcilla; H, alta plasticidad; M, limo; L, plasticidad baja; O, limo o arcilla orgánicos; Pt, turba y suelo altamente orgánico.

<sup>a</sup> Clasificación basada en porcentaje de finos: <5% pasando el No. 200: GW. GP. SW. SP: >12% pasando el N° 200: GM. GC. SM. SC: 5%–12% que pasa el N° 200: límites: se requieren símbolos duales como GW–GM. GW–GC. GP–GM. GP–SC. SW–SM. SO–SC. SP–SM. SP–SC.

<sup>b</sup> Los límites de Atterberg por encima de la línea A y el índice de plasticidad entre 4 y 7 son casos límite se necesita símbolos duales (Figura 1).

**Figura 1**

*Carta de plasticidad*



*Nota.* Advanced Soil Mechanics (Fifth Edit), Das (2019), Taylor and Francis Group.

### 1.1.3 Consistencia del suelo

Es muy útil, el análisis del suelo en varios estados tomando en cuenta el contenido de humedad; si es mayor la cantidad de agua que posee un suelo,

mejorará interacción entre sus partículas adyacentes aproximándose de esta manera a un estado líquido (Lambe y Whitman, 2004).

El agua tiene un rol muy trascendente en el comportamiento de ingeniería de las arcillas, si cambia el contenido de agua, la arcilla cambia su carácter de una manera sorprendente; cuando las partículas de arcilla están en una gran cantidad de agua, es similar a una sopa magra (líquida) y, en un estado ligeramente más seco, se vuelve similar a una mantequilla blanda (Ishibashi y Hazarika, 2015).

En 1911, Albert Mauritz Atterberg, un científico sueco, implementó una metodología para referir la consistencia límite de suelos de grano fino sobre la base del contenido de humedad (Das, 2019). Considerando el contenido de agua, la consistencia del suelo se puede clasificar en cuatro estados básicos denominados: sólido, semisólido, plástico y líquido (Badillo y Rodriguez, 2005).

En los estudios de suelos, los límites de consistencia definidos por Atterberg, permiten medir la diferencia en la consistencia de suelos finos tomando en cuenta su contenido de agua, esta alteración estará directamente relacionada con el contenido de partículas coloidales y el tipo de coloides, y estos dos últimos factores, incluyendo al contenido de agua, influirán de manera importante en las propiedades hidráulicas y mecánicas de los suelos finos (Tamez, 2001).

Posterior a que un suelo cohesivo fue amasado, la consistencia puede ser alterada a voluntad, dependiendo si se aumenta o disminuye el contenido de humedad, así por ejemplo, si reducimos de manera lenta el contenido de humedad para un barro arcillosos líquido, la arcilla pasará de manera gradual de una estado líquido a plástico, y posteriormente a un estado sólido; ahora bien, el contenido de humedad para que se origine el cambio de un estado a otro, será diferente para las arcillas, de este modo poder ser utilizado para poder comparar e identificar a las arcillas entre sí; no obstante, esta transición para el paso de un estado a otro no es de manera abrupta, tan pronto se consigue un contenido de humedad crítico, sino es gradual (Terzaghi y Peck, 1973).

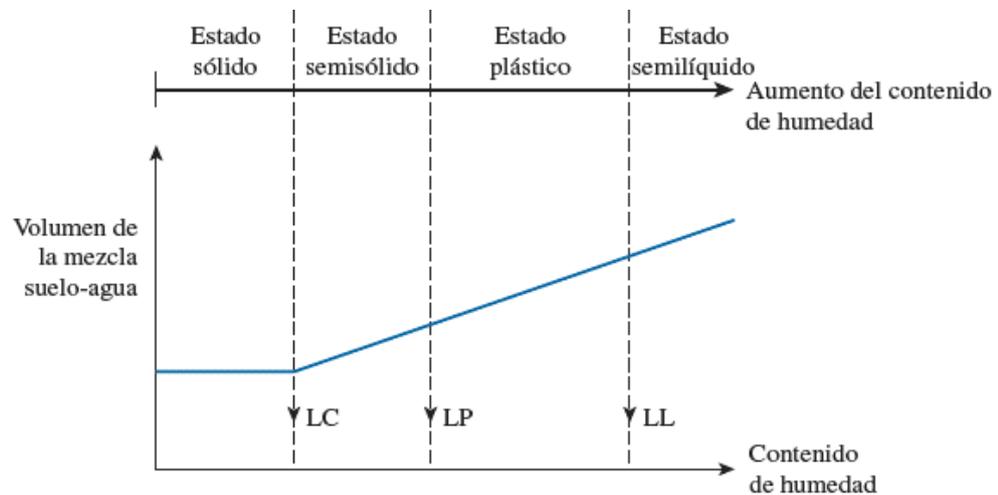
Para los suelos llamados finos, pueden o no dejarse moldear o puede adquirir una forma de consistencia característica, ello dependiendo de la presencia

de agua; la consistencia del suelo podría ser modificada a voluntad, incrementado o bajando la humedad; una cantidad de agua producirá el cambio de un estado a otro, que será diferente para cada tipo de suelo, e es este proceso existe una humedad crítica, mediante la cual se puede obtener los llamados límites de consistencia o de Atterberg que tienen como propósito coadyuvar en la clasificación de los suelos (Calla, 2012).

Un suelo arcilloso puede fluir como un semilíquido si es que se mezcla con agua en una cantidad excesiva; ahora bien, si un suelo gradualmente se seca, su comportamiento será como un material plástico, semisólido o sólido, esto en función del contenido de humedad que se aplique; así pues, el contenido de humedad, que se logra cuando un suelo cambia de estado líquido a plástico se definirá como el límite líquido; asimismo, el contenido de humedad, cuando el suelo cambia de estado plástico a semisólido se definen como límite plástico, y cuando el suelo cambia de estado semisólido a uno sólido se denomina límite de contracción (Figura 2); a los mencionados límites se les conoce como Límites de Atterberg (Das, 2012).

**Figura 2**

*Límites de Atterberg*



*Nota.* Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma Ed.), Das (2012), Cengage Learnig Editores.

Cabe resaltar que, los límites líquido y plástico fueron y vienen siendo usados en todas partes del mundo, siendo su principal objetivo lograr la identificación y clasificación de suelos; en el caso del límite de contracción ha sido valioso en áreas geográficas en las cuales el suelo tiene grandes cambios de volumen de su estado seco al húmedo; un presunto problema de cambio de volumen podría ser detectado de resultados de ensayos de límite líquido y plástico (Bowles, 1981).

### **A. Límite Líquido**

El límite líquido es el contenido de humedad expresado en porcentaje (%), cuando el suelo se ubica en el término entre los estados líquido y plástico, de manera arbitraria se otorga como el contenido de humedad cuando un surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo para una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo (MTC, 2016).

Para dos suelos A y B, y si el suelo A tiene una mayor tendencia a absorber agua sobre la superficie de sus partículas; se puede presumir que para el suelo A se obtendría un límite líquido mayor al suelo B (Lambe y Whitman, 2004).

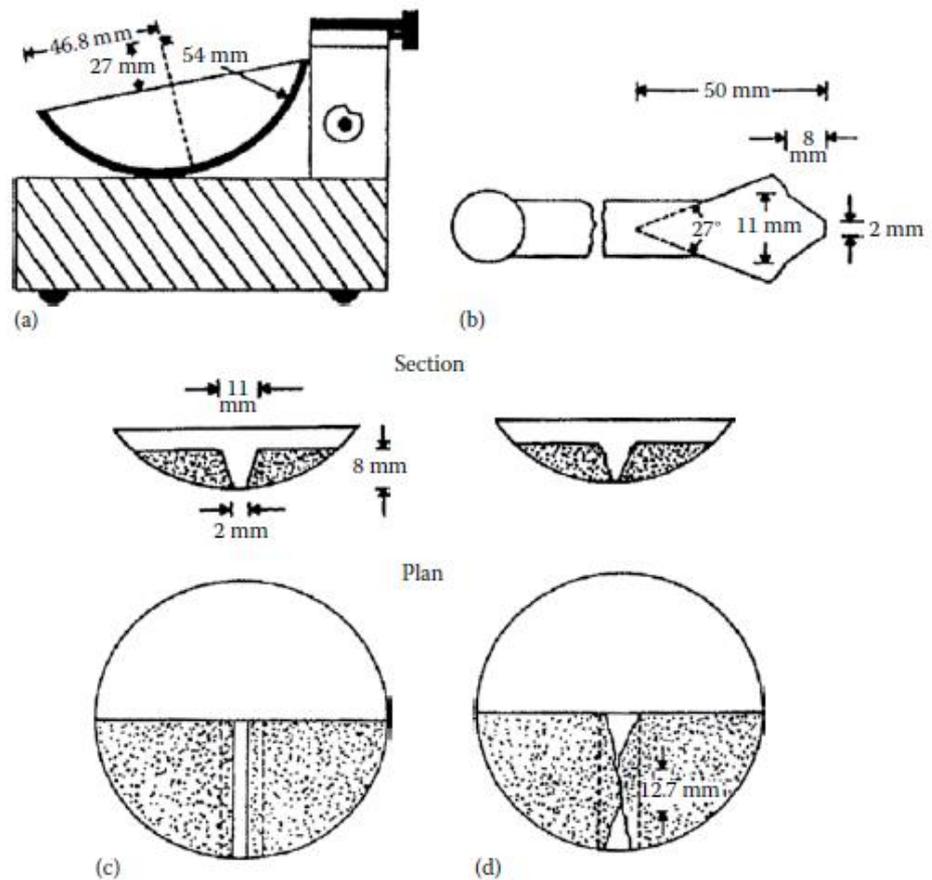
El límite de líquido para un suelo se determina por el dispositivo Standard “Casagrande”, la designación de prueba por la American Society for Testing and Materials - ASTM es D-4318, y se especifica como un contenido de humedad cuando se cierra la ranura de 12.7 mm con 25 golpes (ASTM, 2014).

En la Figura 3a se aprecia un diagrama esquemático en vista lateral, para un dispositivo de cálculo del límite líquido. Este dispositivo consta de un vaso de latón y una base de goma dura. La copa de latón puede dejarse caer sobre la base mediante una leva accionada por una manivela. Para realizar la prueba del límite líquido, hay que colocar una pasta de suelo en la copa. A continuación, se corta una ranura en el centro

de la pasta de suelo con la herramienta de ranurado estándar (Figura 3b). Utilizando la leva accionada por manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10 mm. El contenido de humedad, en porcentaje, necesario para cerrar una distancia de 12,7 mm a lo largo de la parte inferior de la ranura (véase la figura 3c y d) después de 25 golpes se define como el límite líquido (Das, 2019).

**Figura 3**

*Diagrama esquemático de (a) dispositivo de límite líquido, (b) herramienta de ranurado, (c) pat de suelo al principio de la prueba, y (d) pat de suelo al final de la prueba*



*Nota.* Advanced Soil Mechanics (Fifth Edit), Das (2019), Taylor and Francis Group.

Resulta complicado ajustar un contenido de humedad del suelo para poder cumplir con el requisito de 12,7 mm de cierre de la ranura del suelo a 25 golpes; en ese sentido, se ejecutan por lo menos tres pruebas para el mismo suelo con diferentes contenidos de humedad, y el número de golpes,  $N$ , necesarios para lograr el cierre varía entre 15 y 35, una de las pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes; posteriormente se determina el contenido de humedad del suelo de cada prueba siguiendo el procedimiento de la Norma Técnica Peruana NTP 339.127 (INDECOPI, 1998), luego se representa la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes correspondiente de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica se trazar la mejor línea recta que pase por los tres o más puntos graficados; se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo, el procedimiento para la ejecución del ensayo de laboratorio se encuentra establecido en el Norma Técnica Peruana NTP 339.129 (INDECOPI, 1999c).

## **B. Límite Plástico**

La plasticidad es la capacidad de un material para soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin cambios significativos en su volumen y sin agrietarse ni demorarse (Huanca, 2010).

El comportamiento plástico permite que el suelo entre los dedos se moldee sin agrietarse. Pero al perder agua debido a la evaporación, se comienza en agrietar al comprimirlo entre los dedos, lo que lo convierte en una consistencia frágil; en ese sentido, el límite plástico se refiere al contenido de agua del suelo en ese momento (Tamez, 2001).

La prueba de límite plástico es simple y se realiza enrollando repetidamente una masa de suelo de tamaño elipsoidal a mano encima de

una placa de vidrio rectificadas (Das, 2019); el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta para formar un rollito de 3.18 mm de diámetro es lo que conocemos como el límite plástico, la designación de la prueba por la ASTM es D-4318 (ASTM, 2014).

Así pues, el límite plástico lo podemos definir como el contenido de humedad del suelo en el que un cilindro se rompe o se resquebraja cuando se enrolla con un diámetro de aproximadamente 3 mm; esta prueba pareciera subjetiva dado que depende del operador que realiza el ensayo, de su interpretación del resquebrajamiento del cilindro de suelo y que diámetro sea 3 mm; durante el ensayo se puede medir el diámetro haciendo una comparación con un alambre común o de soldadura del mismo diámetro (Bowles, 1981).

Como procedimiento para la ejecución del ensayo, primero la mitad de la muestra se moldea en forma de elipsoide y luego se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa con la presión necesaria para formar cilindros; si el cilindro no se desmorona antes de llegar a un diámetro de alrededor de 3,2 mm (1/8"), se vuelve a hacer una elipsoide y se repite el proceso cuantas veces sea necesario hasta que llegue a dicho diámetro; con la porción obtenida se determina el contenido de humedad; se repite el procedimiento descrito con la mitad restante de la masa (MTC, 2016).

Para la obtención del límite plástico, se determina el promedio de los dos contenidos de humedad; si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados, se repite el ensayo. Esto se hace de acuerdo con las especificaciones de la Norma Técnica Peruana NTP 339.129 (INDECOPI, 1999c).

#### **1.1.4 Compactación del suelo**

La compactación se refiere al aumento artificial del peso específico del suelo mediante medios mecánicos; este proceso es muy importante para el suelo porque aumenta su resistencia y reduce su capacidad de deformación al reducir

sus vacíos; la compactación generalmente es utilizada en rellenos artificiales como presas de tierra, diques, terraplenes y pavimentos (Badillo y Rodriguez, 2005).

El proceso de compactación produce el aumento de la densidad del suelo con la consecuente la disminución del volumen aire-vacíos, sin cambiar el volumen de agua, esto se lleva a cabo a través de medios mecánicos como el rodillado, apisonado o vibrado; tres pueden ser los objetivos que se buscan con la compactación de los suelos: Reducir la relación de vacíos, aumentar la resistencia al corte y conseguir que el suelo disminuya la susceptibilidad a variaciones de volumen evitando así los asentamientos (Whitlow, 1999).

La compactación de los suelos es una forma importante de aumentar su resistencia y reducir su compresibilidad. En 1933, Ralph Próctor publicó investigaciones sobre este tema y descubrió que el peso volumétrico de un suelo se ve afectado por el contenido de humedad (Crespo, 2004), el proceso de compactación implica la aplicación en una energía externa al material para densificar, para ellos se emplea un agente que permita el mejor acomodo entre particular por lubricación entre ellas, este elemento es el agua (Márquez, 2005).

El suelo tendrá un peso específico si se agrega una pequeña cantidad de agua a un suelo que luego se compacta. El peso específico del suelo seco del suelo aumentará gradualmente si el contenido de humedad del suelo aumenta gradualmente y la energía de compactación permanece la misma. Esto se debe a que, durante la compactación, el agua actúa como un lubricante entre las partículas del suelo y ayuda a reacomodar las partículas sólidas en un estado más denso. El peso específico seco de un suelo aumentará junto con su contenido de humedad hasta un punto en el que agregar más agua al suelo resultará en una reducción de su peso específico seco. El contenido de humedad óptimo es el que tiene el peso específico seco más alto (Das, 2012).

Las características de compactación de un suelo determinado se investigan tradicionalmente en el laboratorio mediante el ensayo de compactación Próctor, el cual consiste en la compactación de la muestra de suelo (de la que se han

eliminado las partículas de más de 20 mm) en un molde cilíndrico de 1 litro de capacidad y 105 mm de diámetro interior, mediante un pisón estándar de 2,5 kg de masa que cae libremente a través de una altura de 300 mm, o mediante un pisón pesado de 4,5 kg de masa que cae libremente a través de una altura de 450 mm. En el primer caso, el suelo se compacta en tres capas iguales, cada una de las cuales recibe 27 golpes del pisón. En el segundo caso, el suelo se compacta en cinco capas iguales, también con 27 golpes en cada capa. Se realiza un ensayo de compactación con al menos cinco muestras del mismo suelo, cada una de ellas con un contenido de agua diferente (Powrie, 2014).

La compactación de los rellenos sueltos es una forma sencilla de aumentar la estabilidad y la capacidad de carga de los suelos, y generalmente se consigue utilizando rodillos de rueda lisa, rodillos de pata de oveja, rodillos con ruedas de goma y rodillos vibratorios. Con el fin de redactar las especificaciones para la compactación sobre el terreno, se suelen realizar ensayos de compactación Próctor en el laboratorio. A continuación, se describe brevemente el procedimiento del ensayo o prueba de compactación Próctor (Das, 2019):

#### **A. Ensayo de compactación Próctor Estándar**

Ralph Próctor en 1933 fue el primero en desarrollar un ensayo estándar de compactación de suelos en laboratorio, que suele denominarse ensayo Próctor Estándar, cuya designación es el ensayo ASTM D-698 (ASTM, 2007); el ensayo se realiza mediante la compactación de 3 capas de suelo en un molde de 944 cm<sup>3</sup> de volumen, cada capa de suelo se somete a 25 golpes con un martillo de 24,6 N con una caída de 304,8 mm; a partir del volumen conocido del molde, el peso del suelo compactado húmedo en el molde y el contenido de humedad del suelo compactado, el peso unitario seco de compactación puede determinarse como (Das, 2019):

$$\gamma_{\text{húmedo}} = \frac{\text{Peso del suelo húmeda en el molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{\text{húmedo}}}{1 + \omega}$$

Donde:

$\gamma_{húmedo}$  = Es el peso unitario húmedo del suelo compactado

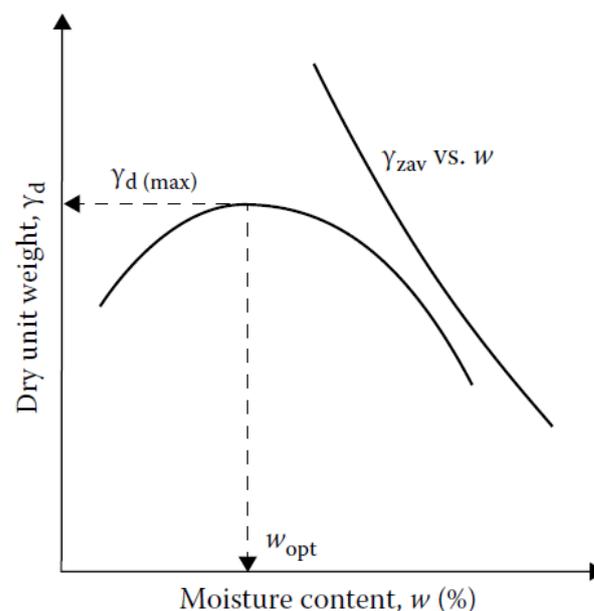
$\gamma_d$  = Es el peso unitario seco de suelo compactado

$\omega$  = Es el contenido de humedad del suelo

La prueba puede repetirse varias veces con distintos contenidos de humedad del suelo. Trazando un gráfico de  $\gamma_d$  frente al contenido de humedad correspondiente, puede obtenerse el contenido de humedad óptimo  $w_{opt}$  y el peso unitario seco máximo  $\gamma_{d(max)}$  conforme se aprecia en la siguiente figura (Das, 2019):

**Figura 4**

*Naturaleza de la variación de  $\gamma_d$  frente a  $w$*



*Nota.* Advanced Soil Mechanics (Fifth Edit), Das (2019), Taylor and Francis Group.

## **B. Ensayo de compactación Próctor Modificado**

Con el desarrollo de equipos de compactación más pesados, el ensayo Próctor Estándar se ha modificado para representar mejor las condiciones de campo, en el ensayo Próctor Modificado, cuya designación es el ensayo ASTM D-1577 (ASTM, 1998), se utiliza el mismo molde que

en el ensayo Próctor Estándar; sin embargo, el suelo se compacta en 5 capas, con un martillo de 44,5 N dando 25 golpes a cada capa. La altura de caída del martillo es de 457,2 mm. El peso unitario seco máximo obtenido en la prueba Próctor modificada será superior al obtenido en la prueba Próctor estándar debido a la aplicación de una energía de compactación más elevada. También irá acompañado de un contenido de humedad óptimo inferior en comparación con el obtenido en la prueba de compactación Próctor Estándar (Das, 2019).

El ensayo de compactación modificado introduce cerca de cinco veces la energía nominal de compactación al suelo que el ensayo de compactación estándar; la densidad aumenta entre el 5 y el 10% y el contenido de humedad disminuye para esta energía mayor; también se muestran curvas de densidad seca contra contenido de humedad con los datos del ensayo de compactación modificado. Según la gráfica de densidad seca contra contenido de humedad, el proceso de compactación se vuelve cada vez más eficiente a medida que aumenta el contenido de humedad, después de lo cual su eficiencia disminuye; al agregar agua, la eficiencia aumenta debido a la saturación y ruptura general de las uniones interparticulares de los grumos de arcilla y posiblemente alguna lubricación; después, el exceso de humedad crea presiones de poros extremadamente altas mientras el martillo actúa, lo que reduce significativamente la resistencia al corte del suelo. Como resultado, el martillo simplemente corta el suelo (remoldea), pero no aumenta la densidad (Bowles, 1981).

Dentro de la normativa técnica peruana, el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016), detalla el procedimiento del ensayo MTC E 115 que señala el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio con una energía modificada llamada “Próctor Modificado”; asimismo, el ensayo MTC E 116 detalla el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio usando una energía estándar llamada “Próctor Estándar”, asimismo, el procedimiento de los

mencionados ensayos se encuentran detallado en el Método de para la compactación del suelo utilizando energía modificada NTP 339-141 (INDECOPI, 1999b) y Método de para la compactación del suelo utilizando energía estándar NTP 339-142 (INDECOPI, 1999a).

### 1.1.5 Petróleo

El petróleo ha sido conocido desde hace muchos siglos atrás; no obstante, su aplicación comercial data a partir de su descubrimiento que se dio en los Estados Unidos, específicamente el 27 de agosto de 1859 en las cercanías de un pequeño centro de explotación forestal, en la parte occidental del estado de Pensilvania, éste acontecimiento provocó una nueva era (Standard Oil Company, 2013).

Aunque hay algunas objeciones, la mayoría de las personas están de acuerdo en que los hidrocarburos tienen un origen orgánico, lo que significa que los organismos vivos tuvieron que sintetizar la materia orgánica y, por lo tanto, debió depositarse y preservarse en sedimentos; parte de este material se transforma en compuestos de naturaleza petrolera dependiendo de las condiciones geológicas. La fotosíntesis, que comenzó hace alrededor de 2000 millones de años, fue la base para la producción masiva de materia orgánica, en conclusión, los principales colaboradores de material orgánico en los sedimentos son: bacterias, fitoplacton, zooplacton y plantas de mayor tamaño (Escobar, 2012).

De manera general, la prospección petrolífera procede de forma secuencial. En primer lugar, suelen generarse "plays" dentro de una región. Se trata de zonas o tendencias geográficas que parecen especialmente prometedoras desde el punto de vista de la exploración. Un "play" puede ser un concepto concebido por una sola persona o empresa, o puede ser ampliamente percibido y de gran interés para toda la industria de la exploración. A menudo se definen por atributos geológicos que sugieren la presencia de hidrocarburos producibles, o pueden surgir a raíz de un descubrimiento real. En un extremo, una prospección puede basarse en detalles geológicos y geofísicos y, en el otro, puede representar simplemente el comportamiento colectivo de la industria (el "instinto del rebaño")

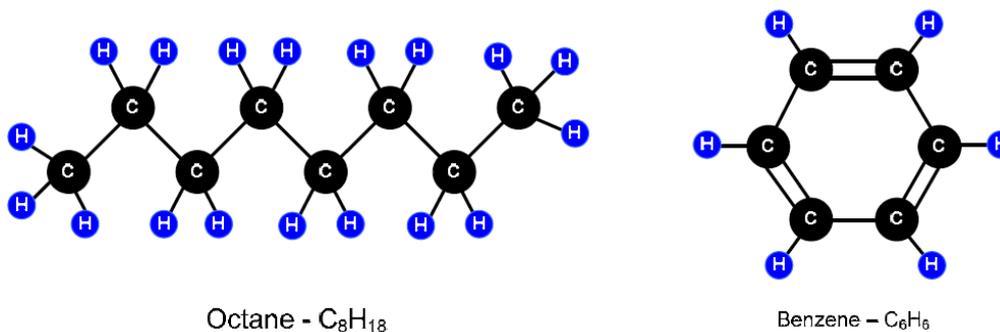
en una competición por la superficie provocada por una empresa que se embarca en una enérgica campaña de arrendamiento en una zona específica (Harbaugh et al., 1995).

El término "bitumen" se refiere a aquellas sustancias naturales de color, dureza y volatilidad variables, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y generalmente asociadas con materia mineral.; así pues; El petróleo es un tipo de bitumen que se compone principalmente de hidrocarburos; en forma simplificada, podemos definir que el petróleo crudo como una sustancia aceitosa, inflamable, menos densa que el agua, con un color que va del negro al marrón claro (Escobar, 2008).

El petróleo crudo es una compleja mezcla conformada por 200 o más compuestos orgánicos diferentes. compuestos orgánicos, en su mayoría alcanos, hidrocarburos de enlace simple de la forma  $C_nH_{2n+2}$ ; y una fracción menor de aromáticos, moléculas de seis anillos como el benceno  $C_6H_6$ , como se puede apreciar a continuación (Havard, 2013):

**Figura 5**

*Hidrocarburos básicos*



*Nota.* Oil and Gas Production Handbook - An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry, Havard, D. (2013).

Los hidrocarburos y compuestos, que incluyen trazas de metales, nitrógeno, oxígeno y azufre, constituyen la mayoría de los petróleos crudos. Las características físicas y químicas de los petróleos crudos varían significativamente según el porcentaje de los diferentes compuestos presentes. Sus gravedades

específicas abarcan una amplia gama, pero la mayoría de los petróleos crudos se sitúan entre 0,80 y 0,97 g/ml o una gravedad de entre 45 y 15 grados MI. También hay una gran variación en las viscosidades, pero la mayoría de los petróleos crudos están en el rango de 2,3 a 23 centistokes (Nolan, 1996).

Las propiedades físico químicas de los petróleos varían en función a la procedencia, inclusive si son pozos diferentes dentro de un mismo yacimiento, la literatura especializada establece hidrocarburos con más de 80 átomos de carbono que están presentes en los petróleos, y considerando la cantidad de isómeros posibles (compuestos con la misma fórmula química pero con diferente disposición de átomos dentro de las moléculas), y las series que pueden haber involucradas, dan mezclas muy complejas; en la Tabla 3 se aprecia el análisis químico de algunos petróleos (Cerutti, 2001).

**Tabla 3**

*Análisis Químico de los petróleos*

Petróleo	Densidad	Por ciento de				
		C	H	N	O	S
Pennsylvania	0.862	85.5	14.2			
California	0.951	86.4	11.7	1.1	0.6	
Texas	0.910	85.7	11.0	2.6		
Tuimaza	0.856	85.5	12.7	0.1	0.2	1.4
C. Rivadavia	0.912	85.7	12.5	0.5	1.0	0.2

*Nota.* La refinación de petróleo. Cerutti, A. (2001)

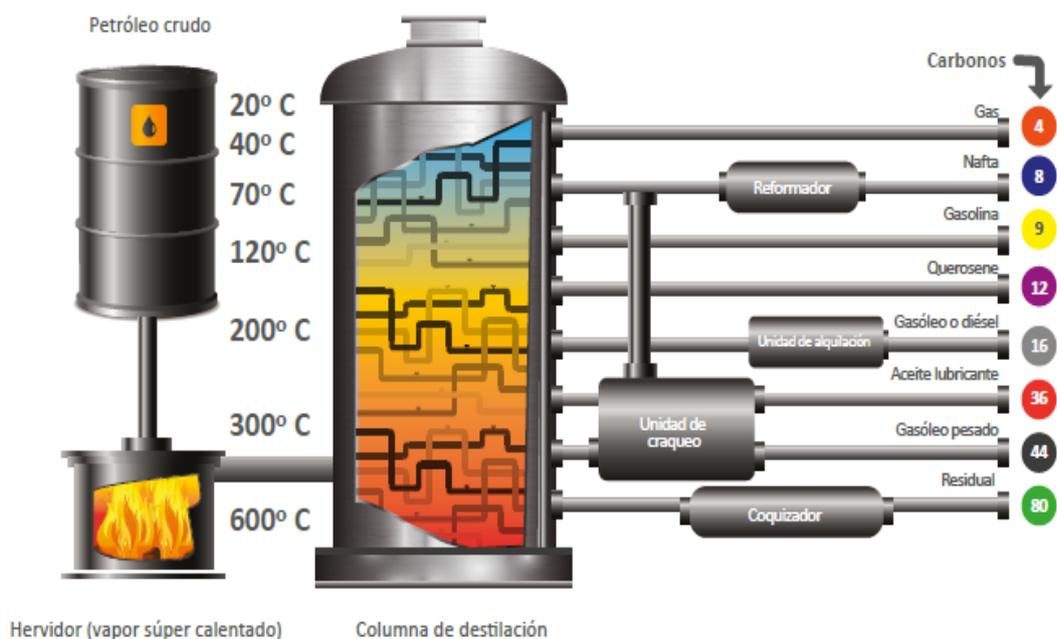
El primer procedimiento en el refinado del petróleo es la separación del crudo en distintos grupos de hidrocarburos, o destilación. Las características del petróleo crudo procesado están directamente relacionadas con los productos finales. La gran parte de estos productos de destilación cambian su composición física y molecular. Varios productos del refino se utilizan o se forman como resultado del procesamiento de hidrocarburos, dentro de los cuales se encuentran los combustibles, que a su vez se dividen en principales productos como el gas de petróleo licuado, la gasolina, el queroseno, el gasóleo diésel entre otros. El gas licuado de petróleo (GPL) está compuesto por mezclas de parafina e

hidrocarburos olefínicos, como el propano y el butano, se produce para su uso como combustible y se almacena y manipula en estado líquido a presión. El GPL es incoloro, con puntos de ebullición que oscilan entre unos 74 °C y +38 °C, y tiene vapores extremadamente inflamables que son más pesados que el aire. Las principales características del GPL desde el punto de vista de la salud y la seguridad de los trabajadores son el control de los vapores y el control de los contaminantes (Kraus, 1998).

El petróleo y sus derivados son hidrocarburos líquidos que se refinan o procesan para producir productos de alto valor comercial como gasolinas, diésel y gas licuado de petróleo (GPL), entre otros. La refinación del petróleo implica la extracción de diferentes hidrocarburos a través del calor, y posteriormente su mezcla con componentes que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas en el país para su venta (ejemplo: octanaje), en la Figura 6 se muestra el proceso de refinación (Osinergmin, 2015).

**Figura 6**

*Diagrama de proceso de refinación del petróleo*



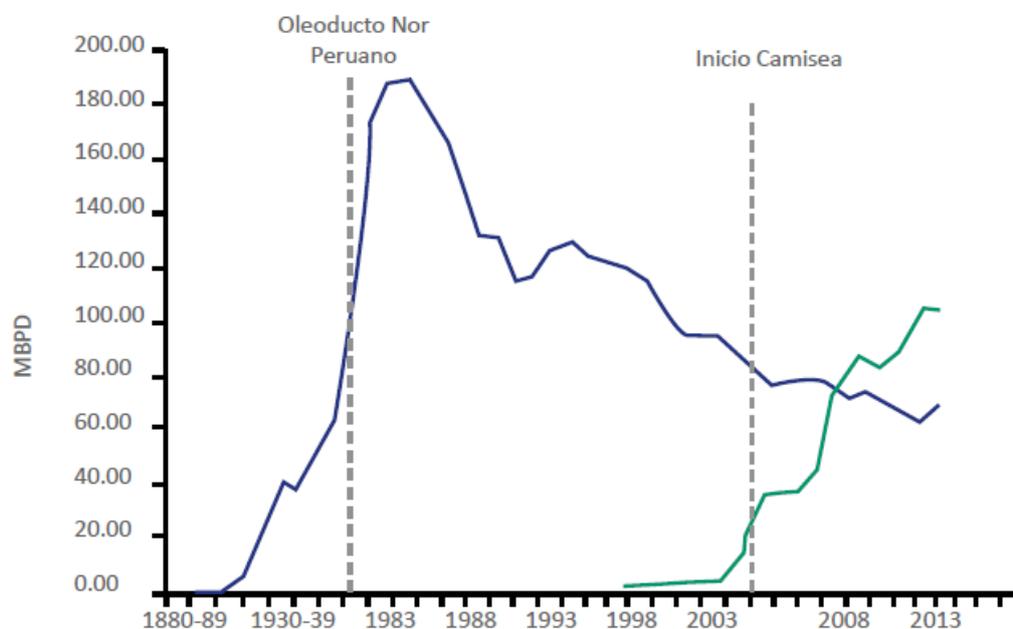
*Nota.* La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte a desarrollo del país, Osinergmin. (2015).

Para el año 2000, gran parte de los casi 79 millones de barriles diarios de crudo producidos en el mundo se vendían internacionalmente en los mercados, los precios del crudo han sido sensibles a los acontecimientos políticos internacionales y a las políticas de producción (Hale et al., 2002); la opinión generalizada en los últimos años ha sido que el actual excedente de petróleo será sustituido gradualmente por una creciente escasez de oferta que ejercerá una presión al alza sobre los precios (Parra, 2004).

En el Perú se tiene constancia de la existencia de hidrocarburos desde antes de la Colonia; a finales del siglo XIX y principios del XX se produjo un crecimiento sistemático hasta la década de 1980; después, se produjeron cambios con la llegada del Proyecto Camisea, que condujeron a un aumento de la producción del gas natural licuefactado (LGN) y a un descenso con el descubrimiento de nuevas reservas de petróleo como se aprecia en la Figura 7 (Osinermin, 2015).

### Figura 7

*Evolución de la producción de petróleo y LGN desde 1880 a 2014*



*Nota.* La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte a desarrollo del país, Osinermin. (2015).

Asimismo, en el Perú, los hidrocarburos líquidos abarcan el petróleo y sus subproductos, así como los líquidos de gas natural, en la Tabla 4 se muestra los principales productos con los cuales se mueve la industria de hidrocarburos líquidos (Osinergmin, 2015).

#### **Tabla 4**

##### *Derivados del Petróleo y los LGN producidos en Perú*

###### **Petróleo: Productos terminados en refinerías**

GLP

Gasolina 97 Octanos

Gasolina 95 Octanos

Gasolina 90 Octanos

Gasolina 84 Octanos

Gasohol 98 Plus

Gasohol 97 Plus

Gasohol 95 Plus

Gasohol 90 Plus

Gasohol 84 Plus

Turbo Jet A-1

Diésel 2

Página 5 de 68

Diésel Marino 2

Diésel B-2/ S50

Diésel B-5

Diésel B-5/ S50

Intermediate Fuel Oil - IFO 180/380

Petróleo Industrial N° 5

Petróleo Industrial N° 6

Petróleo Industrial 500

Asfalto Líquido RC/MC

Asfalto Sólido

Solvente 1

Solvente 3

Naftoil Industrial Premium

Destilados medio para mezclas

HAS/HAL

Petróleo: productos en proceso en refinerías

---

**Petróleo: Productos terminados en refinerías**

---

Gas Seco/ Gas Combustible/ Gas UDP  
Gas UDV  
Nafta Primaria  
Nafta Pesada  
Nafta Virgen  
Nafta Craqueada  
Gasolina Primaria de Exportación/Gasolina Base  
Gasolina Natural  
Solvente MC  
Gasóleo Liviano  
Gasóleo Pesado  
Material de Corte  
Petróleo Ind. Maple  
Residual Asfáltico  
Crudo Reducido  
Slop  
Slop Wax  
Combustibles Uso Propio

---

**LGN: Productos de Plantas Procesadoras**

---

GLP  
Propano  
Butano  
GN  
HAS/HAL  
Destilado medio para mezcla

---

*Nota.* La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte a desarrollo del país, Osinergmin (2015).

Al respecto, el producto Diésel B-5 S50, es el mayor uso comercial en los distintos grifos del territorio nacional, siendo utilizado como combustible para motores Diésel y sistemas de generación de energía, en la Figura 8 se muestra este producto.

### Figura 8

*Imagen del surtidor de petróleo del grifo “Servicentro” de la Universidad Nacional del Altiplano Puno*



El Diésel B5 S-50 tiene un contenido máximo de 50 mg/Kg (ppm) de azufre y está conformado por una mezcla del 95% de Diésel N° 2, que es una mezcla compleja de hidrocarburos, cuya composición consta de cadenas carbonadas que contienen entre 9 y 30 carbonos (C9-C30) aproximadamente; y un 5% de Biodiesel (B100), que se compone principalmente de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (FAME: Mín. 96.5% Masa), y cuenta con las siguientes propiedades físicas y químicas (Petroperú, 2019):

- Apariencia: Líquido claro y brillante
- Color: Típico 1.0, máx. 3.0 (ASTM), el producto puede tener un color comercial diferente a la tonalidad natural (ámbar), por adición de colorantes.
- Olor: Característico
- Punto inicial de ebullición, °C: 160 aprox.
- Punto final de ebullición, °C: 360 aprox.
- Punto de inflamación, °C: 52 mínimo
- Inflamabilidad: Líquidos y vapores inflamables
- Límites de inflamabilidad, % vol. en aire: Inferior = 1.3, Superior = 6

- Presión de vapor a 37.8°C, atm : 0.004
- Gravedad específica a 15.6/15.6°C: 0.81 – 0.85 aprox.
- Solubilidad en agua: Insignificante
- Temperatura de autoinflamación, °C: 257 aprox.
- Viscosidad cinemática a 40°C, cSt: 1.9 a 4.1

### 1.1.6 Fuentes de contaminación del suelo

El término suelo contaminado tiene importantes connotaciones en muchas jurisdicciones y países; en ellos, suelo contaminado es una designación especial asignada a un terreno en el que se ha detectado contaminación del suelo; además, es más que probable que estos contaminantes se consideren amenazas importantes para nuestro medio ambiente y para la salud humana. La caracterización de la gravedad de las distintas amenazas que suponen los terrenos contaminados no siempre es fácil de realizar, esto se debe a que no siempre se llega a un acuerdo sobre el grado de riesgo y los factores de riesgo, ni se establece de manera uniforme; en gran medida, esto se debe a la falta de comprensión o concienciación sobre: (a) la naturaleza y distribución de los contaminantes en el suelo contaminado, y (b) la naturaleza, magnitud y gravedad de las distintas amenazas que plantean los contaminantes (Yong, 2001).

La entrada de contaminantes en el suelo se produce a través de muchas vías; el vertido deliberado de sólidos o residuos líquidos en pilas o balsas de residuos es uno de los tipos más visibles de contaminación del suelo. Los desechos municipales, industriales o mineros, o los suelos o sedimentos contaminados excavados pueden contener una amplia gama de contaminantes, que puede suponer una amenaza para el entorno. Las emisiones de contaminantes industriales al suelo pueden también ocurrir accidentalmente, por ejemplo, como resultado de accidentes de tráfico o derrames accidentales de instalaciones industriales. Las sustancias líquidas, en particular, pueden contaminar fácilmente grandes volúmenes de la tierra, porque penetran y se dispersan fácilmente en el suelo (Van der Perk, 2014).

Es importante señalar que el crudo en sí no es un contaminante del suelo ya que, debido a su naturaleza líquida, enormes cantidades de petróleo y gas se filtran de forma natural desde placas desplazadas o fallas geológicas, atrayendo al plancton y a las bacterias que se alimentan de estas fuentes. No obstante, la principal causa de la contaminación petrolífera actual del planeta se debe a la extracción industrial de petróleo y al consumo excesivo de esta materia prima en poco tiempo; esto incluye las actividades de exploración, refinado y comercialización, así como los accidentes siniestros o descarrilamientos deliberados que se producen en cualquier zona del ecosistema terrestre, que inevitablemente provocan el deterioro gradual o irreversible del medio ambiente (Barois et al., 2018).

## 1.2 Antecedentes

Entre los estudios relacionados con la tesis doctoral, tenemos experimentos sobre la influencia de la contaminación por petróleo en las propiedades geotécnicas de algunas muestras de suelo como la arena pobremente graduada (SP), arcilla de baja plasticidad (CL) y limo (ML), las muestras fueron artificialmente contaminadas con 3%, 6% y 9% de petróleo, entre otros resultados, se tiene una reducción de la densidad máxima seca y del contenido óptimo de humedad producto del ensayo de compactación, la variación de la densidad en los suelos muestra una caída significativa cuando se añadió petróleo al 3% a los suelos; y para las muestras altamente contaminadas la densidad se mantiene casi constante, el estudio reveló una tendencia en la reducción del contenido de humedad óptimo con el aumento del contenido de petróleo en todos los tipos de suelo, esto implica que el contenido de agua necesario para conseguir la máxima densidad ha disminuido cuando el contenido de petróleo aumenta; asimismo, los resultados indicaron que el límite líquido y el límite plástico aumentó en el suelo arcilloso (CL) y en el suelo limoso (ML) con el aumento de porcentaje de petróleo (Nasehi et al., 2016).

De otro lado, del estudio al comportamiento de la compresibilidad de un suelo arcilloso (CL) contaminado con productos del petróleo en 2%, 4%, 6% y 8%, los resultados mostraron una seria influencia negativa sobre las propiedades geotécnicas; no obstante, se advirtió un incremento inicial en la resistencia a la compresión no confinada (UCS) con la adición de productos del petróleo al 2%; para una adición del 4% la UCS

disminuyó ligeramente y se tuvo un valor mínimo para un contenido del 8% de productos de petróleo (Ijimdiya y Igboro, 2012).

En un estudio comparativo del efecto del petróleo y la gasolina sobre las propiedades de arenas, se prepararon muestras mezclando dos arenas (Tipo A y B) con petróleo y gasolina en una cantidad de 0%, 5% y 10%; los resultados indicaron que el límite líquido y plástico aumenta con el incremento del porcentaje de contaminantes en ambas arenas, destacando que éste aumento fue mayor cuando ambas arenas estaban contaminadas con diésel que con gasolina; de otro lado, de los resultados de los ensayos de compactación de Próctor Estándar, se advierte que, el valor del peso unitario seco máximo de ambas arenas crece con el aumento del porcentaje de ambos contaminantes; con la presencia de diésel y gasolina se lograron mejores características de compactación hasta en un 10%, este aumento en el peso unitario seco para ambas arenas con contaminantes hasta en un 10% se atribuye al hecho de que el efecto lubricante causado por la presencia de diésel y gasolina; y respecto al contenido óptimo de humedad se encontró que disminuye con el aumento del contenido de contaminantes en ambas arenas (Aghbari et al., 2011).

En un extenso estudio se realizaron pruebas de laboratorio para establecer los efectos de la contaminación del petróleo crudo en algunas de las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos y arenosos como CL, SM y SP extraídos de los suelos costeros de la llanura costera del sur de Irán, se prepararon muestras contaminadas mezclando los suelos con petróleo crudo en la cantidad de 2%, 4%, 8%, 12% y 16%; obteniendo como resultados que tanto el límite líquido y plástico disminuyen al aumentar la contaminación por el petróleo crudo; asimismo, producto de las pruebas de Próctor Estándar, se evidenció que ante un aumento del contenido de petróleo crudo en los suelos contaminados provoca una reducción de la densidad máxima seca y el contenido óptimo de agua (Khamehchiyan et al., 2007).

En un trabajo respecto a la resistencia al corte y comportamiento de tensión-deformación de suelos contaminados, se ejecutaron una serie de pruebas de compresión no confinada en suelos de grano fino contaminadas con cantidades variables de productos químicos encontrando una disminución en la resistencia al cizallamiento y el comportamiento de tensión-deformación; no obstante, para un suelo limo arcilloso no

resultó en un cambio significativo en las interacciones físico-químicas o mecánicas con contaminación. Por lo tanto, no hubo ningún cambio significativo en el comportamiento de tensión-deformación; asimismo, el suelo limo arcilloso probado mostró una reducción marginal en la resistencia al cizallamiento, lo que indica que el efecto neto fue insignificante (Ratnaweera y Meegoda, 2006); asimismo, respecto a experimentos sobre el comportamiento de consolidación de suelos contaminados con glicerol y etanol, se estudiaron suelos A y B clasificados como arcilla con baja plasticidad (CL) y arcilla con alta plasticidad (CH), respectivamente; llegando a la conclusión que tanto los factores físico-químicos como los mecánicos afectan la consolidación de suelos contaminados (Estabragh et al., 2014).

De un programa de laboratorio destinado a promover una mayor comprensión de la influencia de contaminantes derivados del petróleo sobre las propiedades geotécnicas de los suelos, se efectuaron entre otras, pruebas de laboratorio a fin de evaluar la influencia de la contaminación de las características de plasticidad del suelo en muestras de caolinita (arcilla) limpias y contaminadas con 2%, 4%, 6%, 12%, 16%, y 20% de petróleo, respecto al límite plástico, límite líquido, y el índice de plasticidad, los resultados indican que a medida que el contenido de petróleo aumenta a un 12%, el límite plástico disminuye a partir de ahí existe un ligero incremento para un 16% de petróleo; mientras que el límite líquido aumenta hasta un 12% y disminuye para un 16% de contaminante; finalmente, el índice de plasticidad aumenta a medida que incrementa el contenido de contaminante alcanzando su pico en un 12%, seguido por una reducción con un contenido de petróleo del 16%; el límite plástico alcanza una meseta en el contenido de petróleo de 12%, mientras que el límite líquido y el índice de plasticidad tiene una disminución a partir de dicho contenido (Khosravi et al., 2013).

En un estudio sobre la arena contaminada con petróleo se encontró que las propiedades mecánicas de la arena contaminada con petróleo disminuyeron, pero algunas propiedades importantes mejoraron hasta cierto nivel de contaminación; la resistencia al corte en la arena fina con un 1% de contaminación por petróleo crudo ligero es mayor que la de la arena fina no contaminada, esto debido al aumento significativo en la cohesión; asimismo se concluye que la resistencia a la compresión del mortero con arena no contaminada indica que se puede utilizar como un material emergente y sostenible en

la construcción y la edificación (Abousnina, et al., 2015); asimismo, Abousnina et al. (2018) en un similar estudio, adicionaron geopolímetros a la arena contaminada para producir mortero de cemento; a fin de realizar una comparación con el mortero tradicional, viendo entre otras propiedades la resistencia a la compresión, los deducciones mostraron que el mortero de geopolímero con 1% de contaminación de petróleo crudo ligero produjo una resistencia a la compresión 20% más alta que el mortero tradicional, a partir de los resultados de este estudio, se demostró que el mortero de geopolímero tiene el potencial de utilizar arena contaminada con petróleo y reducir sus impactos ambientales.

También, en estudios realizados sobre arenas contaminadas con petróleo, se ejecutaron pruebas de compactación para determinar el efecto del petróleo crudo en las características de compactación de la arena, esto a través de ensayos de Próctor Estándar, teniendo como resultados que el peso máximo seco obtenido con el mismo esfuerzo de compactación es de aproximadamente 6% más alto cuando se utiliza el petróleo crudo como fluido de poro cuando se compara con agua, esto es probablemente debido al hecho de que el petróleo es más eficaz en la reducción de la fricción entre los granos de arena; en ese sentido, se concluyó que las características de compactación de la arena de prueba usando petróleo como fluido de poro son generalmente similares a las características de compactación usando agua como fluido de poro (Puri, 2000); en un estudio sobre el comportamiento de la variable de resistencia al corte en suelos contaminadas con biodiesel mezclado con petróleo (80% diésel de petróleo con aceite puro de palma 20%) en 0%, 3%, 6% y 10%; se ha encontrado, que en general la adición del contaminante disminuye la resistencia al corte (Mousavi, 2017)

Respecto a estudios de contaminación por hidrocarburos y su influencia en la composición granulométrica de un suelo arcilloso, se estudiaron las diferencias microestructurales (tejido, fuerzas y composición) debidas a la contaminación por hidrocarburos en el suelo arcilloso mediante microscopía electrónica de barrido (análisis de microtejido) y prueba de banco de sedimentación (PSD); corroborando que suelo arcilloso contaminado con petróleo muestra una porosidad más abierta, que consiste en agregados más sueltos, que se dispersaron más fácilmente en el agua durante las mediciones del PSD que la muestra de arcilla no contaminada (Trzciński et al., 2015);

asimismo, en un estudio para proponer un método para la estabilización de suelos que fueron contaminados por hidrocarburos aromáticos policíclicos (formados por la combustión incompleta del carbón, petróleo, gasolina, basuras y otras sustancias orgánicas), se encontró que, con la adición de 0.02% de SO (Óxido de azufre) se mejoran significativamente los valores de la resistencia a la compresión no confinada de un suelo contaminado (Ma et al., 2018).

En un estudio sobre propiedades de ingeniería de materiales controlados de baja resistencia, se incorporó residuos de arenas contaminadas con petróleo como un reemplazo parcial de arena o cenizas volantes para la fabricación de materiales cementosos autonivelantes autocompactados; los resultados muestran que las mezclas realizadas cumplieron con los límites y requisitos del comité ACI-229 sin peligros ambientales; la incorporación de las arenas contaminadas con petróleo incrementó la fluidez de todas las mezclas y, en consecuencia, redujo la cantidad de agua necesaria para alcanzar la fluidez requerida, por lo que consiguientemente incrementó su resistencia a la compresión (Mneina et al., 2018); también, en un estudio se recolectaron y examinaron suelos de diferente procedencia, seleccionando un suelo aledaño al campo de almacenamiento de hidrocarburos con una proporción de partículas minerales de: arena 6.74%, limos 35.75% y arcillas 57.50%, la cual clasificaron con un suelo de textura arcillosa, a este suelo se contaminó con derivados del petróleo como gasolina, diésel y combustóleo, productos más recurrente que se presentan en derrames de hidrocarburos, teniendo como conclusión que los mencionados hidrocarburos producen efectos importantes sobre las propiedades de la textura, la materia orgánica, la densidad real y la porosidad para un suelo arcilloso, y dependiendo del tipo y concentración del contaminante (Martines y Lopez, 2016).

En un trabajo experimental, a un suelo cohesivo que se contaminó con 5%, 10% y 15% de gasolina, las pruebas experimentales mostraron que las propiedades de suelo contaminado son diferentes de suelo natural, que existe un cambio en sus propiedades en función del porcentaje de la gasolina, el límite líquido para el suelo natural fue 40%, pero mediante la adición de 5%, 10% y 15% de gasolina se cambió a 50%, 56% y 37%; esta tendencia también se puede ver por la variación del índice de plasticidad, de acuerdo a las curvas de compactación para el suelo contaminado con 5%, 10% y 15% de gasolina

(Estabragh et al., 2018); asimismo, para entender mejor el comportamiento de los suelos arcillosos contaminados con petróleo, una investigación de laboratorio experimental se contaminó a un suelo de arcilla “illita” a diferentes cantidades de petróleo (0 a 20%), realizando los ensayos de compactación con la prueba de Próctor estándar, con la finalidad de explicar mejor el efecto de petróleo en las curvas de compactación, se usó petróleo en lugar del contenido de agua, se ahí se pudo observar que “illita” con agua (en la muestra limpia) llega a una unidad de peso seco mayor en una menor cantidad de contenido de petróleo; en consecuencia, el agua tiene una mayor influencia en las características de compactación de “illita” en comparación con las moléculas del petróleo; con la con la adición de 4% de diésel en cada etapa, el peso unitario seco máximo disminuye aproximadamente 2,5% y la cantidad de agua que necesita para llegar a él disminuye casi 2%, esto significa que la eficiencia del diésel en el proceso de compactación de la “illita” es casi la mitad del agua (Safehian et al., 2018).

De la evaluación sobre la presencia de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los efectos respecto a las propiedades de suelos en una zona urbana, se pudo advertir que la contaminación del suelo por los TPH genera cambios tanto en las propiedades físicas como químicas del suelo afectando su condición natural, esto en mayormente en las capas que estuvieron expuestas directamente al mencionado contaminante (Castellanos et al., 2015); de otro lado, a fin de apreciar las variaciones de las propiedades mecánicas de suelos contaminados por derrames producidos en la industria del petróleo, se eligió al aceite como un agente contaminante, y se consideró a una matriz de suelo arenoso, de ello se concluyó que la capacidad de compactación para el suelo arenoso contaminado disminuyó con respecto a los valores del suelo no contaminado, producto de los resultados de densidad máxima de las pruebas de Próctor estándar (Serrano et al., 2013).

En una investigación sobre los efectos de la contaminación por petróleo crudo en las propiedades geotécnicas de los suelos costeros, se realizaron pruebas de compactación de Próctor Estándar en muestras de suelos contaminados con petróleo, los resultados muestran una reducción en la densidad seca máxima con el aumento del contenido de petróleo, esta reducción es más rápida en las muestras SM y CL, esto refleja el efecto lubricante que provoca la presencia de petróleo, que facilita la compactación y reduce la cantidad de agua necesaria para alcanzar la máxima densidad, la reducción de la densidad

seca en las muestras de SP es muy baja, porque los espacios porosos son más grandes y el aceite puede moverse a través del suelo al igual que el agua y tiene un efecto lubricante similar (Khamehchiyan et al., 2006).

En el trabajo sobre la caracterización mecánica de suelos arcillosos afectados por derrames superficiales de hidrocarburos, los resultados indican que el límite líquido en los suelos que fueron contaminados presentan variaciones respecto al suelo sin contaminar esto debido a las altas concentraciones de hidrocarburos utilizados (5%, 10%, 15% y 30%), respecto al límite plástico los suelos contaminados presentaron un incremento en su plasticidad respecto al suelo no contaminado; de otro lado, de los resultados de las pruebas de compactación se evidenció cambios importantes en el contenido de humedad óptimo, por lo que se concluyó que el porcentaje de petróleo afecta directamente el contenido de humedad óptimo, teniendo como conclusión general que, las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos se verán afectados ante la presencia del petróleo como agente contaminante (Galindo y Rueda, 2012).

Para una investigación sobre mezclas de suelo con aceite residual, se encontró que las propiedades físico mecánicas para un suelo arcilloso de baja plasticidad, existe una correlación inversa en las propiedades de plasticidad, densidad seca máxima, y contenido de humedad óptimo con el contenido de aceite residual como agente contaminante, advirtiéndose que los valores para el límite líquido, límite plástico, índice plástico, densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo fueron reducidos con el incremento de aceite, desde el 0% al 10%, en 20.48%, 8.23%, 12.25%, 0.19g/cm<sup>3</sup> y 4.8% respectivamente; no obstante, se ha encontrado que el aceite residual favorece el proceso de compactación dado existe un aumento en la densidad seca máxima para el rango del 2% al 4%, este valor se reduce cuando aumenta se incrementa el mencionado contaminante después del 4%, por lo que, la aplicación de suelos contaminados para la estabilización o mejoramiento de suelos sería adecuado para mezclas de suelo con aceite residual sólo para el intervalo del 2% a 4% (Huaquisto, 2014).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

La contaminación del suelo por petróleo es un problema ambiental mundial; por ejemplo, más de 100,000 barriles de petróleo se derraman en promedio cada año en los EE.UU. (Vidonish et al., 2016), los derrames de petróleo afectan a grandes extensiones de tierra (Kimes et al., 2014), en el Perú el petróleo ha sido extraído de su Amazonía durante más de cuarenta años (Rosell-Melé et al., 2018). Al respecto, son muchas las formas de contaminación por petróleo podemos mencionar inadecuados procesos de transporte, fugas en los pozos de petróleo, eliminación inadecuada de los desechos derivados del petróleo y derrames accidentales (Moldes et al., 2011), también se incluyen a fuentes históricas de infraestructura y estaciones abandonadas, vertederos de desechos, descargas de aguas residuales entre otros (Raymond et al., 2016).

Estos aspectos son originados por el error humano durante el proceso de producción y separación (Khosravi et al., 2013), a pesar de los mejores esfuerzos por parte de la industria del petróleo, liberaciones, fugas y derrames de productos derivados del petróleo se producen con frecuencia, estas contaminaciones con frecuencia dan lugar a los modificaciones en las propiedades geotécnicas o variabilidad en los suelos contaminados (Al-Aghbari et al., 2011), en el subsector de hidrocarburos en Perú, el procedimiento más importante es el traslado de los hidrocarburos desde las baterías hasta las plataformas de desembarque para su utilización final. Los ductos de gran longitud se utilizan para llevar a cabo este transporte, y si se rompen, pueden causar derrames, lo que daña el agua y el suelo (Ministerio del Ambiente, 2016).

Por ejemplo, la arena contaminada con petróleo es un material de desecho que afecta el medio ambiente (Abousnina et al., 2018); así también, la contaminación por derrames de aceites pueden influir en el comportamiento ingenieril de los suelos (Puri, 2000), según experimentos en suelos arcillosos illíticos mezclados con cantidades de diésel, se advirtió impactos ad versos (Safehian et al., 2018); en experimentos en un suelo cohesivo contaminado con de gasolina, se evidenció que sus propiedades son diferentes a las del

suelo natural, dicho cambio es en función del porcentaje de gasolina mezclado (Estabragh et al., 2018).

No obstante, se ha encontrado que hasta un 10% de contaminación del suelo con petróleo crudo ligero, la resistencia a la compresión puede ser comparada a la de un mortero con arena sin contaminar, lo cual refleja que un suelo contaminado podría ser utilizado como un material emergente y sostenible en la construcción y el mantenimiento de obras públicas (Abousnina, et al., 2015), así los recursos energéticos, principalmente petróleo e hidrocarburos de petróleo, son los principales contaminantes del medio ambiente prestándose mucha atención en el desarrollo de tecnologías alternativas para su eliminación (Karlapudi et al., 2018), siendo preponderante la investigación de las propiedades geotécnicas en suelos contaminados con petróleo con fines de ingeniería y ambientales (Khomehchiyan et al., 2007).

## **2.2 Enunciados del problema**

### **2.2.1 Problema general**

¿Qué efectos se presentan en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno?

### **2.2.2 Problemas específicos**

- ¿Existe diferencia en la consistencia de un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno?
- ¿Existe diferencia en la compactación de un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno?

## **2.3 Justificación**

Con presente tesis doctoral permitirá conocer los efectos en la consistencia y compactación que se producen en un suelo con diversos porcentajes del agente contaminante; lo cual abrirá la posibilidad de poder utilizar suelos contaminados en un determinado porcentaje en la ejecución de obras civiles.

El tema de la presente tesis es novedosa, en vista que a la fecha actualmente en la región se carece de investigaciones nacionales respecto a los efectos de suelos

contaminados por petróleo; y con la evaluación de la medida se afecta la consistencia y compactación de un suelo contaminado por dicho hidrocarburo, puede abrir la posibilidad de dar uso a dicho suelo para su estabilización y aplicación en la ejecución de obras civiles; y continuar con otras investigaciones; y en caso que no solucionar la problemática planteada se continuará con el deterioro ambiental que venimos padeciendo.

### **2.3.1 Importancia**

Ante incremento de la cantidad de vehículos, industria y ejecución de obras, existe un riesgo de contaminación de suelos por el uso de petróleo, en ese sentido, esta investigación doctoral es de interés desde el punto de vista tecnológico y ambiental.

### **2.3.2 Limitaciones**

La presente investigación considera únicamente como agente contaminante al petróleo específicamente el producto Diésel B5 S-50 que se utiliza en mayor medida en la vida cotidiana; en ese sentido; no se consideró otros productos derivados del petróleo, los cuales pueden ser analizados en otras investigaciones.

Asimismo, en la presente tesis se evaluó tanto la consistencia como la compactación de un suelo contaminado al ser los más importantes de suelo; por lo tanto, no se evaluaron otros parámetros físicos y mecánicos del suelo, asimismo, no se evaluó parámetros químicos del suelo contaminado; todas estas variables pueden ser analizadas en futuras investigaciones.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar si existe diferencia en la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.
- Determinar si existe diferencia en la compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.

## **2.5 Hipótesis**

### **2.5.1 Hipótesis general**

El contenido de petróleo afecta a la consistencia y compactación de un suelo de la ciudad de Puno.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

- No existe diferencia en los valores de la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.
- No existe diferencia en los valores de la compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Lugar de estudio

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Puno; específicamente en el Taller de Maestranza perteneciente a la Municipalidad Provincial de Puno en las coordenadas geográficas de  $15^{\circ}50'40.0''$  en Latitud Sur y  $70^{\circ}00'59.3''$  en Longitud Oeste, en la dirección Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno, al costado del Terminar Terrestre y frente al puerto Banchero Rossi de la mencionada ciudad (Figura 9).

#### Figura 9

*Ubicación del lugar de estudio*



### 3.2 Población

Una población que es llamada también universo, viene hacer el conjunto de casos que tienen una serie de especificaciones o características similares (Galindo-Domínguez, 2020); también respecto a diseños experimentales, se define como un conjunto de

observaciones que cuentan con una característica en común, que es materia de investigación (Varillas, 2012).

En ese contexto, la población para esta investigación doctoral estuvo conformada por los suelos propensos a la contaminación por petróleo que se encuentran ubicados en la ciudad de Puno, de manera específica en lugares donde existe equipo y maquinaria usada en el sector construcción por parte de la Municipalidad Provincial de Puno, conocida como el Taller de Maestranza.

### **3.3 Muestra**

La muestra se considera a un subgrupo representativo de la población o el universo (Arias, 2020); uno de los principales objetivos de las investigaciones científicas es poder realizar generalizaciones a partir de una muestra, para lograr este objetivo de debe ser representativa (Cruz del Castillo et al., 2014).

Al respecto, la investigación realizada corresponde a un diseño experimental; en ese contexto, para la determinación de la muestra de tomo en cuenta los siguientes aspectos:

#### **3.3.1 Tratamientos**

Melo et al. (2020), señala que los tratamientos son determinados por los factores que se desean investigar, para esta investigación, los materiales usados fueron el suelo y petróleo; éste último se mezcló con el suelo en proporciones de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% del peso seco de la muestra; en tal sentido, en la presente investigación se consideró 5 tratamientos, como se aprecia a continuación:

- T1 = 0%
- T2 = 1%
- T3 = 2%
- T4 = 4%
- T5 = 6%

### 3.3.2 Bloques

El uso de bloques estratifica las unidades experimentales en grupos homogéneos, o unidades experimentales que son parecidas; entre otros criterios, la proximidad ayuda disminuir la variación entre las unidades experimentales dentro de los bloques en comparación con las unidades experimentales de diferentes bloques (Kuehl, 2001).

En la presente investigación se consideró 3 bloques; que serán la cantidad de calicatas donde se extrajeron las muestras de suelo que fueron sometidas a los distintos tratamientos.

### 3.3.3 Repeticiones

Un aspecto fundamental del diseño de experimentos son los tratamientos a realizar y el número de repeticiones, de manera que se obtenga la máxima información al mínimo costo posible, repetir es volver a realizar el tratamiento, sin no se hacen repeticiones es imposible estimar la variabilidad natural o el error aleatorio, esto imposibilita la construcción de estadísticas reales para el análisis de los datos (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

En la presente tesis, se realizó 4 submuestras o repeticiones por cada tratamiento, a fin de garantizar el experimento, que los tratamientos estén debidamente repetidos, consiguiendo una variedad de unidades experimentales por tratamiento.

En resumen, para la presente investigación se ejecutó 5 tratamientos con 3 bloques, y de cada bloque con 4 submuestras o repeticiones, haciendo un total de 60 unidades experimentales (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Resumen de la muestra utilizada en la investigación*

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)				
		T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
A	1	Y111	Y211	Y311	Y411	Y511
	2	Y112	Y212	Y312	Y412	Y512
	3	Y113	Y213	Y313	Y413	Y513
	4	Y114	Y214	Y314	Y414	Y514
B	1	Y121	Y221	Y321	Y421	Y521
	2	Y122	Y222	Y322	Y422	Y522
	3	Y123	Y223	Y323	Y423	Y523
	4	Y124	Y224	Y324	Y424	Y524
C	1	Y131	Y231	Y331	Y431	Y531
	2	Y132	Y232	Y332	Y432	Y532
	3	Y133	Y233	Y333	Y433	Y533
	4	Y134	Y234	Y334	Y434	Y534

### 3.4 Método de investigación

En la presente tesis doctoral se utilizó el método de investigación deductivo, el cual consiste en obtener conclusiones particulares a partir de una proposición general (efectos en la contaminación de suelos), éste método consta de etapas como: determinación de los hechos más importantes del fenómeno analizado, deducción de las relaciones que dan lugar al fenómeno, en base a ello la formulación de las hipótesis, observar la realizada para comprobar la hipótesis, y finalmente la deducción de la conclusión (Munch y Ángeles, 2012).

#### 3.4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es cuantitativo, debido a la obtención de resultados de laboratorio que se encuentran apoyados en escalas de carácter numérico, este tipo de investigación se caracteriza por ser objetivo, dado que se dedica a recopilar, procesar y analizar datos de diversas unidades, que se pueden cuantificar y medir; también estudia la relación entre las variables, a fin de dar explicaciones en base a sus resultados (Muñoz, 2011).

### 3.4.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación corresponde al explicativo, que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto, las investigaciones explicativas se ocupan de efectos que se analizan en las investigaciones experimentales, haciendo uso de la prueba de hipótesis, los resultados y las conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos (Arias, 2012).

### 3.4.3 Variables

En la Tabla 6, se detalla la operacionalización de las variables que fueron planteadas para la investigación.

**Tabla 6**

*Operacionalización de variables*

Variable	Tipo	Dimensión	Indicador	Categoría	Instrumento
Petróleo	Independiente	% Petróleo	Contenido de petróleo en la masa de suelo 0%, 1%, 2%, 4% y 6%.	Cuantitativa	Jeringa descartable
Consistencia del suelo	Dependiente	Límite Líquido	%	Cuantitativa	Cuchara de casagrande, vidrio esmerilado, balanza, horno.
		Límite Plástico	%		
Compactación del suelo	Dependiente	Densidad Máxima Seca	g/cm <sup>3</sup>	Cuantitativa	Equipo de próctor modificado.
		Contenido de agua óptimo	%		

### 3.4.4 Diseño de investigación

El diseño investigación ejecutado en la presente tesis fue el experimental, debido a que éste tipo de diseño corresponde a la estrategia de responder a un problema de investigación (Palella y Martins, 2012), y se da cuando mezclamos sustancias químicas y vemos la reacción provocada, además que se realizó la

manipulación intencional de una acción para el análisis de los posibles resultados, y se manipularon y probaron tratamientos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

En la investigación, se realizó un análisis de los efectos de un suelo contaminado con diversos porcentajes de petróleo; asimismo, la tesis se clasifica como cuasiexperimental, debido a la manipulación de la variable independiente mediante tratamientos de incrementos de porcentajes de petróleo, además que los grupos o bloques conformados por calicatas para la extracción de las muestras fueron formadas antes del experimento y su ubicación fue decidida por el investigador (Hernández et al., 2017).

### **3.4.5 Diseño estadístico del experimento**

Para ello se consideró la técnica de diseño conocida como formación de bloques, debido a que la variabilidad es un factor perturbador que afecta a los resultados de cualquier experimento, y lograr que el error experimental sea tan pequeño como sea posible (Montgomery, 2004), también se optó por este diseño, porque nos permitió tener en cuenta las fuentes de variabilidad correspondientes en el análisis estadístico, y con ello ayudó a reducir el tamaño de la muestra (Bate y Clark, 2014).

Asimismo, se tomó en cuenta el diseño de bloques completos al azar, debido a que las unidades experimentales fueron agrupadas formando grupos homogéneos llamados bloques, cada uno de estos bloques tiene el mismo número de tratamientos y de repeticiones (Huata, 2017); asimismo, durante el desarrollo del experimento en cada bloque las unidades experimentales fueron tratados de la misma forma, con excepción de la aplicación de los tratamientos, las diferencias que no sean a causa del tratamiento fue removida y pasó a ser parte del error experimental (Segura, 2000), y de manera específica para la ejecución del experimento se optó por el diseño por bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, a fin de controlar el error experimental (Ibañez, 2009).

### 3.4.6 Prueba estadística del experimento

Como prueba estadística se optó por el Análisis de Varianza – ANOVA, que es utilizada para la comparación de 3 o más grupos de muestras independientes (Flores-Ruiz et al., 2017), la Tabla 7 se muestra la información necesaria para la construcción de la tabla ANOVA (Ibañez, 2009).

**Tabla 7**

*ANOVA del diseño bloque completo al azar incluyendo el submuestreo*

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fobs	Significancia
Bloques	r-1	$\sum_{j=1}^r \frac{Y_{j.}^2}{ts} - \frac{Y_{...}^2}{trs}$	$\frac{SC_{bloque}}{r-1}$	$\frac{CM_{bloque}}{CM_{ee}}$	$\sigma_s^2 + s\sigma_e^2 + ts\sigma_\beta^2$
Tratamientos	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{rs} - \frac{Y_{...}^2}{trs}$	$\frac{SC_{trat.}}{t-1}$	$\frac{CM_{trat.}}{CM_{ee}}$	$\sigma_s^2 + s\sigma_e^2 + rs\sigma_t^2$
Error Experimental (EE)	(r-1)(t-1)	Por diferencia	$\frac{SC_{e.exp.}}{(t-1)(r-1)}$	$\frac{CM_{ee}}{CM_{em}}$	$\sigma_s^2 + s\sigma_e^2$
Error de muestreo (EM)	tr(s-1)	$\sum_{i,j} \left( \sum_k Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{ij.}^2}{s} \right)$	$\frac{SC_{em}}{tr(s-1)}$		$\sigma_s^2$
Total	trs-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^s Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{trs}$			

*Nota.* Métodos Estadísticos por Ibañez, V. (2009), Editorial Universitaria, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Estadística e Informática.

Para la prueba de hipótesis del experimento se optó por el diseño por bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, el modelo estadístico que fue utilizado es el siguiente (Ibañez, 2009):

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : Es la variable respuesta de la k-ésima muestra (subunidad) de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento

$\mu$  : La media general poblacional o constante común.

$\tau_i$  : Es el verdadero efecto del i-ésimo tratamiento

$\beta_j$  : Es el verdadero efecto del j-ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  : Es el efecto verdadero de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento

$\delta_{ijk}$ : Es el verdadero efecto aleatorio del error muestral en la k-ésima subunidad, de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

### 3.4.7 Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación que conducen a la verificación del problema planteado (Behar, 2008); según Arias (2012), las técnicas de investigación constituyen en procedimientos para la obtención de datos; para la tesis se hizo uso de las siguientes técnicas:

#### A. Investigación documental o revisión bibliográfica

Consideran procedimientos para el uso óptimo y racional de recursos documentales, siendo importante tener en cuenta la validez de la información para que sea idónea en la investigación (Ortiz y García, 2006), mediante esta técnica se recopiló información de los antecedentes que se obtuvieron de revistas científicas indizadas de alta calidad de bases de datos como Sciencedirect y otros; asimismo sirvió para la construcción de las bases teóricas de la investigación, para la metodología y diseño de investigación experimental.

#### B. Observación

La observación es una técnica de investigación por excelencia (Münch y Angeles, 1996), consistió en observar el fenómeno o caso que se está investigando, tomar la información de sus resultados y registrarlos

en formatos para su análisis correspondiente (Huamán, 2005); la observación es un proceso riguroso que permite conocer al investigador de manera directa, el objeto de estudio para describir y analizar las situaciones sobre la realidad estudiada (Bernal, 2006).

En la presente tesis doctoral se utilizó esta técnica en el desarrollo de los ensayos de laboratorio para la obtención de valores de consistencia y compactación del suelo contaminado con petróleo, permitiendo conocer sus resultados, que fueron utilizados para el análisis estadístico correspondiente.

### **3.4.8 Instrumentos de investigación**

Los instrumentos con el conjunto de herramientas que son usadas por los investigadores para la obtención de información sobre el estudio que se está realizando; por ejemplo, se tiene como instrumentos entre otros a: fichas de observación, formatos o cuadros de registro, listas de cotejo (Suárez et al., 2022), para Morán y Alvarado (2010) el instrumento es un dispositivo o conector que permite captar datos para su posterior análisis; los instrumentos que proporcionan una información más valiosa al investigador son los instrumentos de medición (Mejía, 2005), para la presente tesis se usó los siguientes instrumentos:

#### **A. Pruebas o ensayos de laboratorio**

Para la obtención de datos se realizó mediante las pruebas o ensayos de laboratorio para el análisis de la consistencia y compactación del suelo contaminado con petróleo, las cuales fueron realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, en la Tabla 8 se aprecia los ensayos de laboratorio.

**Tabla 8**

*Ensayos de Laboratorio realizados en la investigación*

Ensayo	Normativa Internacional	Normativa Nacional	Equipos utilizados
Para la consistencia del suelo			
Límite Líquido	ASTM D4318-98	NTP 339.129.1999	MTC E 110
Límite Plástico	ASTM D4318-98	NTP 339.129.1999	MTC E 111
Para la compactación del suelo			
Ensayo de próctor modificado	ASTM D1557-91	NTP 339.141.1999	MTC E 115

### B. Fichas de observación

De manera específica se hizo uso de las fichas o formatos de resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, que se muestran en los Anexos 5 y 6 de la presente tesis doctoral, conforme a las especificaciones de las normatividades nacionales e internacionales, detalladas anteriormente.

### C. Cuadro de registro de observación

Es un formato de tipo matricial, para el registro de las variables observadas y para su consecuente manejo estadístico (Munch y Ángeles, 2012); para la presente tesis se consolidó todos los resultados de laboratorio de consistencia y compactación del suelo contaminado con petróleo, considerando los bloques, repeticiones y tratamientos, del diseño de investigación.

### 3.4.9 Proceso de la investigación

- Para la ejecución de la tesis se solicitó mediante documento (Anexo 2), la autorización por parte de la Gerencia de la Ingeniería de la Municipalidad Provincial de Puno, para la extracción de muestras del Taller de Maestranza de la referida Entidad.
- Contando con la autorización, el 24 de octubre de 2022, previo reconocimiento del lugar del estudio, se realizó la extracción de muestras de suelo a una profundidad de 2.0 metros en 3 calicatas (Bloques), donde se encontró material no alterado, las cuales fueron debidamente etiquetadas para su envío al Laboratorio de Mecánica de Suelos, cabe precisar que para este procedimiento se contó con el apoyo de una Retroexcavadora y personal de apoyo, y del Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, el proceso de extracción de se muestra en el Anexo 3 de la presente tesis.
- Las muestras debidamente codificadas fueron entregadas al mencionado Técnico de Laboratorio, quien realizó la preparación de las muestras, una vez secadas al sol fueron mezclados con petróleo, en las proporciones según el tratamiento correspondiente; cabe resaltar que, para el caso de las condiciones iniciales del suelo, las muestras no fueron contaminadas con petróleo, vale decir el tratamiento fue del 0%.
- En el Laboratorio de Mecánica de Suelos se determinó la consistencia y compactación del suelo para los tratamientos propuestos en la investigación, mediante ensayos de límite líquido y plástico, y próctor modificado, respectivamente; de acuerdo a la normativa nacional e internacional.
- Los datos entregados Laboratorio Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno; fueron resumidos en un cuadro resumen de registro de acuerdo al diseño experimental propuesto, y procesados con el programa estadístico R V4.3.0 y ayuda del Microsoft Excel, para luego organizarlos en cuadros y figuras, que se muestran en los resultados de la presente investigación.

### 3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

A continuación, se presenta los métodos por cada uno de los objetivos específicos realizados en la presente investigación:

#### 3.5.1 Determinación de la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno

Para este objetivo, se realizó el mezclado de muestras de suelo con petróleo en cantidades del 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% del peso seco de la muestra, el número de tratamientos fue de 5, con 3 puntos de muestreo o calicatas (Bloques) y cada bloque con 4 submuestras o repeticiones, haciendo un total de 60 unidades experimentales como muestra, a los cuales se realizó los ensayos de límite líquido y plástico en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, evaluando el efecto que produce el incremento del petróleo en la consistencia del suelo, la técnica utilizada fue la observación a través de pruebas o ensayos de laboratorio con equipos como: Cuchara de casagrande, vidrio esmerilado, balanza y horno.

##### A. Método Estadístico

Para la contrastación de la hipótesis del experimento del objetivo específico 1, se optó por el Análisis de Varianza - ANOVA; se consideró 5 tratamientos a fin de poder determinar si existen diferencias para ello se planteó las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : No existe diferencia en la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.
- $H_1$ : Existe diferencia en la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.

### **3.5.2 Determinación de la compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno**

Para este objetivo, se realizó el mezclado de muestras de suelo con petróleo en las proporciones de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% del peso seco de la muestra, el número de tratamientos fue de 5, con 3 puntos de muestreo o calicatas (Bloques) y cada bloque con 4 submuestras o repeticiones, haciendo un total de 60 unidades experimentales como muestra, a los cuales se realizó los ensayos de próctor modificado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, evaluando el efecto que produce el incremento del petróleo en la consistencia del suelo, la técnica utilizada fue la observación a través de pruebas o ensayos de laboratorio con equipos como Molde 4", Pisón o Martillo, Balanza, con aproximación a 0,01 g., Horno o Estufa

#### **A. Método Estadístico**

Para la contrastación de la hipótesis del experimento del objetivo específico 2, de manera similar al objetivo específico 1, se optó por el Análisis de Varianza ANOVA, se consideró 5 tratamientos a fin de poder determinar si existen diferencias para ello se planteó las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : No existe diferencia en los valores de compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.
- $H_1$ : Existe diferencia en los valores de compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización del suelo

El suelo extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno fue ensayado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, para 3 puntos de muestreo (Bloques o calicatas), los resultados de caracterización se muestran en el Anexo 4 de la presente tesis doctoral.

**Tabla 9**

*Resumen de resultados de caracterización del suelo*

Propiedades	Calicata A	Calicata B	Calicata C
Contenido de Humedad %	8.50	7.99	8.28
Límite Líquido %	37.06	36.93	36.96
Límite Plástico %	21.80	21.30	20.50
Índice de Plasticidad %	15.30	15.60	16.40
% de Grava	21.58	23.22	20.76
% de Arena	57.51	56.46	55.60
% que pasa malla N° 200	20.91	20.33	23.64
Clasificación del suelo SUCS	SC	SC	SC
Nombre del grupo de suelo SUCS	Arena Arcillosa		

*Nota.* Resultados de laboratorio Anexo 4

La Tabla 9, muestra el resumen de resultados de la caracterización de materia del experimento, el cual corresponde a un suelo areno arcilloso (SC), para el estrato de 0.00 m a 2.00 m; el contenido de grava es de 21.58%, 23.22%, 20.76%; de arena de 57.51%, 56.46%, 55.60%; % que pasa malla N° 200 de 20.91%, 20.33%, 23.64%; para las calicatas A, B y C, respectivamente.

#### 4.2 Consistencia de un suelo contaminado con tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo

Para el estudio de la consistencia, se realizaron ensayos de límite líquido y límite plástico del suelo extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo,

los cuales se muestran en el Anexo 5 de la presente tesis doctoral; a continuación, se detalla los resultados obtenidos y la prueba de hipótesis correspondiente.

#### 4.2.1 Resultados del límite líquido

En esta investigación se tomó en cuenta 3 bloques o calicatas, 5 tratamientos y 4 repeticiones; obteniendo 60 unidades experimentales; al respecto, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, hizo alcance de los resultados del ensayo del límite líquido, adjuntos en el Anexo 5 de la presente tesis, en la Tabla 10 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 10**

*Resumen de resultados del ensayo de límite líquido*

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)				
		T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
A	1	36.93%	35.96%	35.58%	35.88%	37.45%
	2	37.15%	35.62%	35.55%	36.07%	37.09%
	3	37.14%	35.37%	35.72%	36.08%	37.69%
	4	36.25%	35.91%	35.51%	35.94%	36.68%
B	1	36.93%	35.95%	35.52%	35.91%	37.46%
	2	36.70%	36.06%	35.19%	36.26%	37.85%
	3	36.84%	35.78%	35.68%	36.17%	36.92%
	4	36.83%	36.06%	35.61%	35.93%	37.31%
C	1	37.01%	35.93%	35.53%	35.92%	37.47%
	2	37.47%	35.60%	35.83%	35.77%	37.25%
	3	37.09%	35.43%	34.95%	35.71%	37.35%
	4	37.19%	36.19%	35.38%	35.88%	37.57%

De los resultados para el límite líquido (Tabla 10); en relación al bloque o calicata “A”, se obtuvo un valor promedio de límite líquido de 36.87%, 35.71%, 35.59%, 35.99% y 37.23% para tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4%, y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 11).

**Tabla 11**

*Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque o calicata “A”*

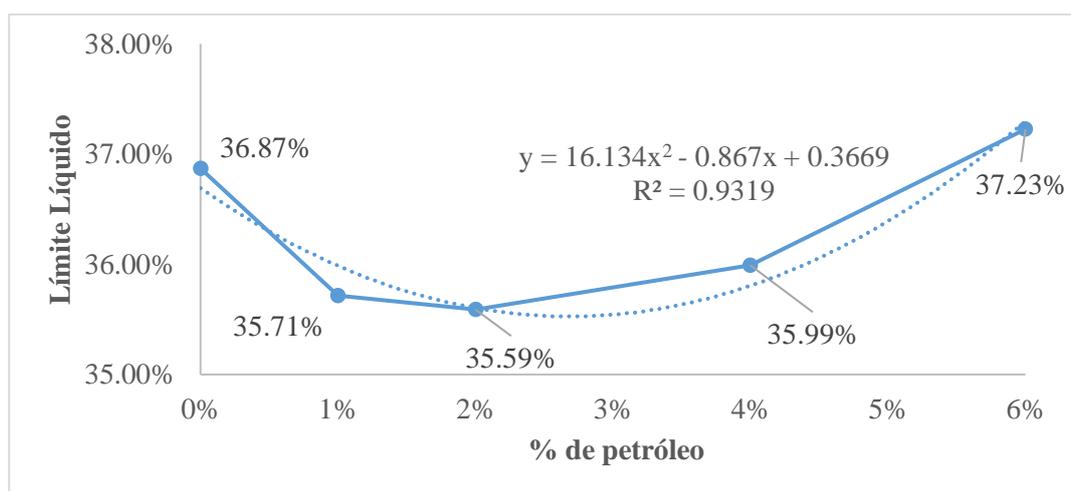
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	36.87%	35.71%	35.59%	35.99%	37.23%
Error típico	0.21%	0.14%	0.05%	0.05%	0.22%
Desviación estándar	0.42%	0.27%	0.09%	0.10%	0.44%
Rango	0.90%	0.59%	0.22%	0.19%	1.01%
Mínimo	36.25%	35.37%	35.51%	35.88%	36.68%
Máximo	37.15%	35.96%	35.72%	36.08%	37.69%
Suma	147.47%	142.86%	142.36%	143.96%	148.90%
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 11, respecto al bloque o calicata “A”; se advierte que, existe un decrecimiento de 1.16% y 0.12% con 1% y 2% de contenido de petróleo, en los valores del límite líquido, posteriormente existe un incremento de 0.40% y 1.24% del valor del límite líquido para 4% y 6% de contenido de petróleo; sobre el particular, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9319$  (Figura 10).

**Figura 10**

*Valores promedios del límite líquido para el bloque o calicata “A”*



Ahora bien, en relación al bloque o calicata “B”; se obtuvo un valor promedio de límite líquido de 36.83%, 35.96%, 35.50%, 36.07% y 37.38%, para

tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 12).

**Tabla 12**

*Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque o calicata "B"*

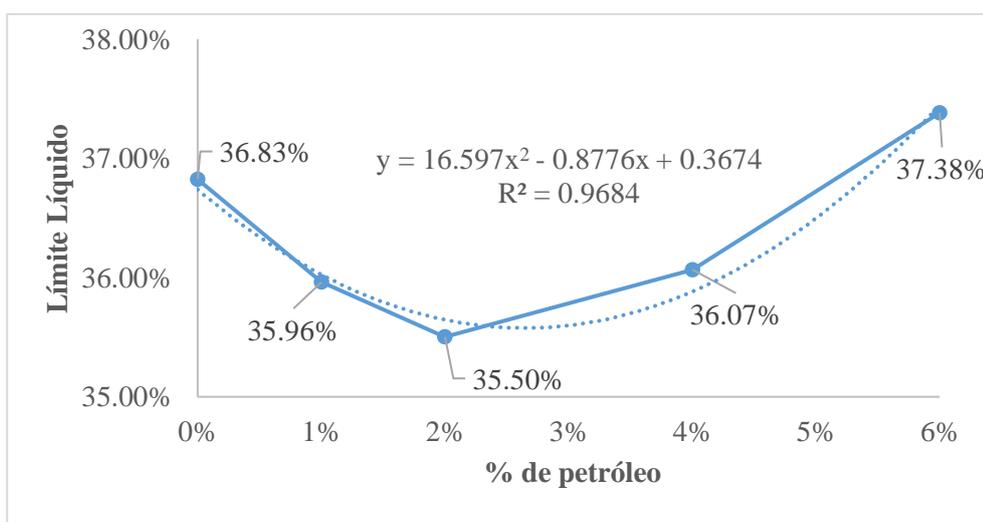
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	36.83%	35.96%	35.50%	36.07%	37.38%
Error típico	0.05%	0.07%	0.11%	0.09%	0.19%
Desviación estándar	0.09%	0.13%	0.22%	0.17%	0.39%
Rango	0.23%	0.29%	0.49%	0.35%	0.93%
Mínimo	36.70%	35.78%	35.19%	35.91%	36.92%
Máximo	36.93%	36.06%	35.68%	36.26%	37.85%
Suma	147.30%	143.84%	142.01%	144.27%	149.53%
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 12, respecto al bloque o calicata "B"; existe un decrecimiento del valor del límite líquido para un 1% y 2% del contenido de petróleo, posterior a ello existe un aumento del valor del límite líquido para el 4% y 6% del contenido de petróleo, vale decir a mayor contenido de petróleo mayor valor del límite líquido; al respecto, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9684$  (Figura 11).

**Figura 11**

*Valores promedios del límite líquido para el bloque o calicata "B"*



También, en relación al bloque o calicata “C”; el valor promedio obtenido para el límite líquido es de 37.19%, 35.79%, 35.42%, 35.82% y 37.41%, para tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque o calicata “C”*

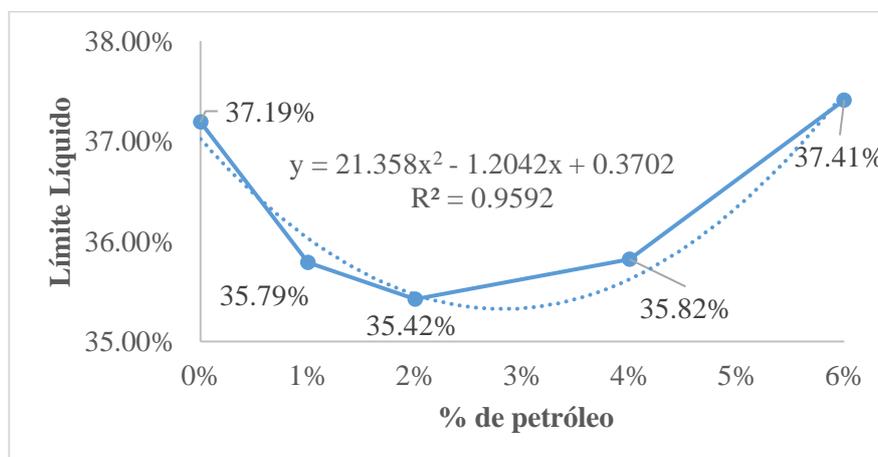
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	37.19%	35.79%	35.42%	35.82%	37.41%
Error típico	0.10%	0.17%	0.18%	0.05%	0.07%
Desviación estándar	0.20%	0.34%	0.37%	0.10%	0.14%
Rango	0.45%	0.76%	0.88%	0.20%	0.31%
Mínimo	37.01%	35.43%	34.95%	35.71%	37.25%
Máximo	37.47%	36.19%	35.83%	35.92%	37.57%
Suma	148.76%	143.16%	141.69%	143.28%	149.64%
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 13, respecto al bloque o calicata “C”; existe un decrecimiento del valor del límite líquido para el 1% y 2% del contenido de petróleo, posterior a ello, existe un aumento del valor del límite líquido para contenidos de petróleo de 4% y 6%, al respecto, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar este comportamiento, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9592$  (Figura 12).

**Figura 12**

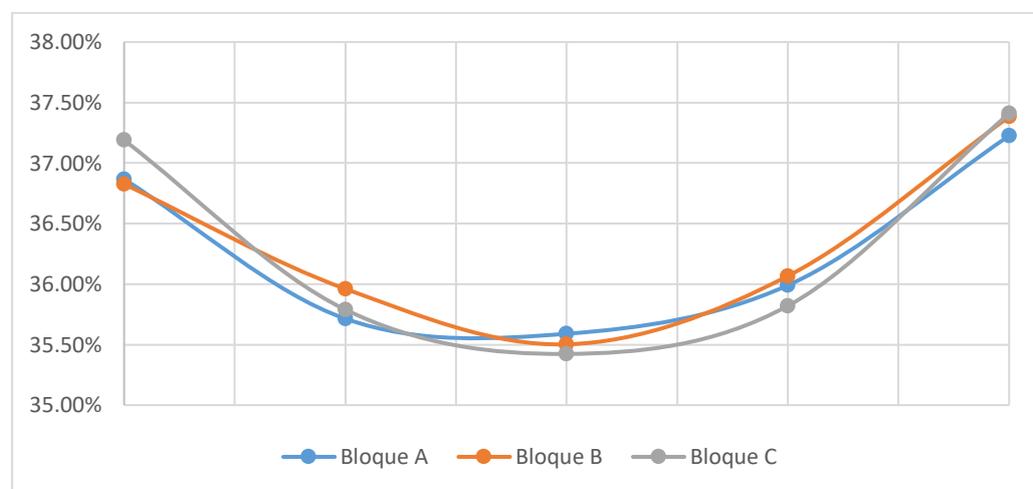
*Valores promedios del límite líquido para el bloque o calicata “B”*



Con los resultados obtenidos para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, se advierte que, el límite líquido tiene un comportamiento similar, esto debido al diseño estadístico propuesto para la investigación, en donde los mencionados bloques o calicatas, corresponden al mismo suelo que fue extraído de la zona de estudio, en la Figura 13 se aprecia gráficamente este comportamiento de los valores promedio del límite líquido.

### Figura 13

*Comportamiento de los resultados del límite líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*



Asimismo, en la Tabla 14 se muestra el resultado de estadísticos descriptivos de los valores del límite líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, siendo el valor promedio de 36.96%, 35.82%, 35.50%, 35.96% y 37.34%, para tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, respectivamente.

**Tabla 14**

*Estadísticos descriptivos de Límite Líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*

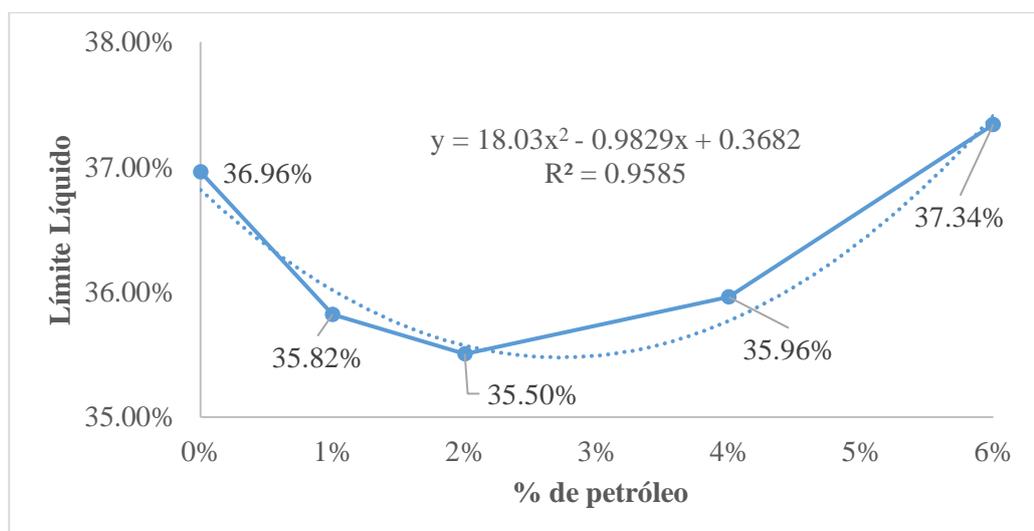
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	36.96%	35.82%	35.50%	35.96%	37.34%
Error típico	0.09%	0.08%	0.07%	0.05%	0.09%
Desviación estándar	0.30%	0.26%	0.24%	0.16%	0.33%
Rango	1.21%	0.82%	0.88%	0.55%	1.17%
Mínimo	36.25%	35.37%	34.95%	35.71%	36.68%
Máximo	37.47%	36.19%	35.83%	36.26%	37.85%
Suma	443.53%	429.85%	426.06%	431.51%	448.07%
Cuenta	12	12	12	12	12

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 14, se advierte que, para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”; los valores del límite líquido decrecieron en 1.14% y 0.32% para 1% y 2%, de contenido de petróleo, respectivamente; después, existe un aumento en 0.46% y 1.41% del valor del límite líquido para contenidos de petróleo de 4% y 6%, respectivamente, este comportamiento puede ser reflejado con la regresión realizada con el MS Excel, donde se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9585$  para una ecuación de segundo de grado (Figura 14).

**Figura 14**

*Valores promedios del límite líquido para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*

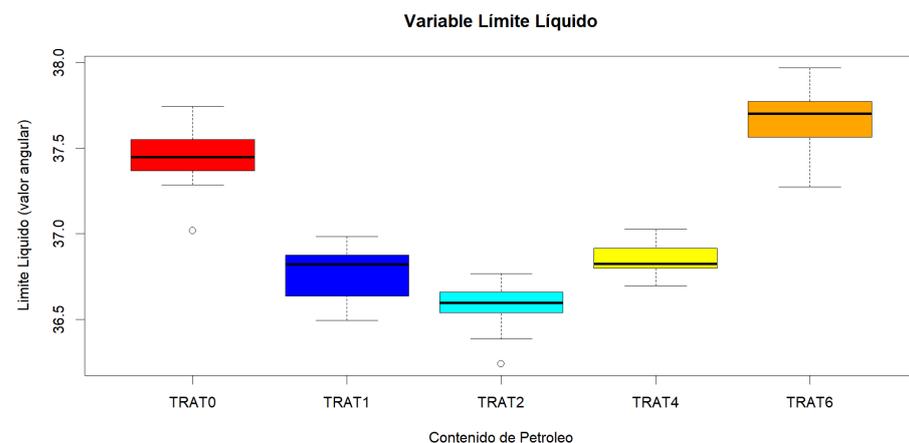


### A. Contrastación de la Hipótesis específica 1 – Límite líquido

Para el experimento se escogió el diseño por bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, para ello se consideraron 3 bloques, unidades o calicatas, 4 repeticiones y 5 tratamientos, tiendo en total 60 unidades experimentales, en la Figura 15, se muestra gráficamente los valores promedio del límite líquido para cada uno de los tratamientos de contenido de petróleo, advirtiéndose, un decrecimiento en el valor del límite líquido para tratamientos del 1% y 2% de contenido de petróleo, posterior a ello se presenta un incremento de su valor para tratamientos del 4% y 6% de contenido de petróleo; asimismo, gráficamente se advierten diferencias entre los valores promedio.

#### Figura 15

*Diagrama de cajas de los valores promedio del límite líquido y tratamientos de contenido de petróleo*



Ahora bien, a fin de determinar si existe o no diferencia entre los tratamientos realizados, se realizó la prueba estadística de Análisis de Varianza – ANOVA, para ello se planteó las siguientes hipótesis:

$H_0$ : No existe diferencia en el valor del límite líquido para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_0: p_{\text{valor}} > 0.05$$

$$|F| > F_{GL_{\text{tratamiento}}, GL_{\text{error}}, \alpha}^{GL_{\text{tratamiento}}}, \text{ se acepta la } H_0$$

H<sub>1</sub>: Existe diferencia en el valor del límite líquido para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_1: p_{\text{valor}} < 0.05$$

$$|F| \leq F_{GL_{\text{tratamiento}}, GL_{\text{error}}, \alpha}^{GL_{\text{tratamiento}}}, \text{ se acepta la } H_1$$

Con los resultados de valores del límite líquido, se realizó la prueba estadística Análisis de Varianza – ANOVA, haciendo uso del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7, en la Tabla 15 se muestran los resultados del Análisis de Varianza – ANOVA.

**Tabla 15**

*Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para el límite líquido*

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas (Bloques o Unidades)	2	0.01785	0.008924	<b>0.305</b>	0.746	ns.
Dosis de petróleo (Tratamientos)	4	10.61400	2.653400	<b>90.570</b>	0.000	**
Error Exptal	8	0.23400	0.029300			
Error Muestreo	45	1.10300	0.024510			
Total	59					

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 15 podemos observar que no existe diferencia significativa entre los tres tipos de calicatas, bloques o unidades; sin embargo, se ha encontrado que existe diferencia significativa  $p < 0.05$  para los cinco tipos de dosis de petróleo o tratamientos, para un suelo contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno, consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y acepta la hipótesis alterna  $H_1$ , vale decir que existe diferencia significativa en el

valor del límite líquido para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno; cabe precisar que, el Análisis de Varianza fue realizado, previa verificación de los supuestos de normalidad de los errores, lo cual se encuentra detallado en el Anexo 7 de la presente tesis doctoral, para ello se realizó la transformación de valores los cuales se detallan en el Anexo 8 de la presente investigación.

Asimismo, el valor de F obtenido es de 90.570, ahora bien, para el valor de  $F_{GLtratamiento, GLerror, \alpha}^4$ , se consideró un  $\alpha = 0.01$ , de la tabla estadísticas de “F de Snedecor” o “F de Fisher”, correspondiente a  $F_{8,0.01}^4 = 7.01$ ; en ese sentido, el valor F obtenido del Análisis de Varianza – ANOVA, es mayor al de la tabla estadística; por lo tanto, se corrobora el rechazo de la hipótesis nula  $H_0$  y la aceptación de la hipótesis alterna  $H_1$ , consecuentemente existe diferencia significativa en el valor del límite líquido para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno para un nivel de confianza del 99%.

## **B. Comparación de medias de resultados de límite líquido**

Se hizo uso de la prueba de Tukey, porque es más rigurosa que la prueba de Duncan, además de ser más exigente y más precisa que otras pruebas (Ibañez, 2009), para ello se utilizó el software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7; en la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 16**

*Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para el límite líquido*

Tratamiento	Media	Agrupación
TRAT6	37.66689	a
TRAT0	37.44162	a
TRAT4	36.84601	b
TRAT1	36.76332	bc
TRAT2	36.57345	c

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 16, se puede afirmar que no existe diferencia entre los tratamientos de 6% y 0%, pero son diferentes a los tratamientos de 4%, 1% y 2% de contenido de petróleo; además, los tratamientos 4% y 1% de contenido de petróleo son similares, de igual manera los tratamientos del 1% y 2% de contenido de petróleo, no reflejaron diferencia.

Asimismo, el tratamiento del 2% de contenido de petróleo es el mejor valor obtenido para el límite líquido, dado que los demás valores con contenido de petróleo fueron mayores a este valor.

#### **4.2.2 Resultados del límite plástico**

En esta investigación doctoral, se tomó en cuenta 3 bloques o calicatas, 5 tratamientos y 4 repeticiones; obteniendo 60 unidades experimentales o resultados para el límite plástico; al respecto, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, hizo alcance de los resultados del ensayo del límite plástico, adjuntos en el Anexo 5 de la presente tesis, en la Tabla 17 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 17**

*Resumen de resultados del ensayo de límite plástico*

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)				
		T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
A	1	24.21%	24.05%	23.73%	24.81%	26.97%
	2	24.52%	24.08%	23.67%	24.80%	26.67%
	3	23.96%	24.02%	23.29%	24.32%	26.41%
	4	24.38%	24.11%	23.46%	24.42%	26.41%
B	1	24.28%	23.60%	23.51%	24.64%	26.68%
	2	24.54%	23.90%	23.25%	24.66%	26.48%
	3	23.93%	23.84%	23.33%	24.21%	25.91%
	4	24.47%	23.83%	23.12%	24.25%	26.12%
C	1	24.06%	23.37%	23.25%	24.55%	26.41%
	2	24.43%	23.66%	23.09%	24.63%	26.19%
	3	23.59%	23.80%	23.35%	24.19%	25.62%
	4	24.41%	23.56%	22.96%	24.22%	25.95%

De los resultados del límite plástico (Tabla 17); en relación al bloque o calicata "A"; se obtuvo un valor promedio de límite plástico de 24.27%, 24.06%, 23.54%, 24.59% y 26.61% para los tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 18).

**Tabla 18**

*Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque o calicata "A"*

Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	24.27%	24.06%	23.54%	24.59%	26.61%
Error típico	0.12%	0.02%	0.10%	0.13%	0.13%
Desviación estándar	0.24%	0.04%	0.20%	0.25%	0.27%
Rango	0.57%	0.09%	0.44%	0.48%	0.56%
Mínimo	23.96%	24.02%	23.29%	24.32%	26.41%
Máximo	24.52%	24.11%	23.73%	24.81%	26.97%
Suma	97.07%	96.25%	94.15%	98.34%	106.45%
Cuenta	4	4	4	4	4

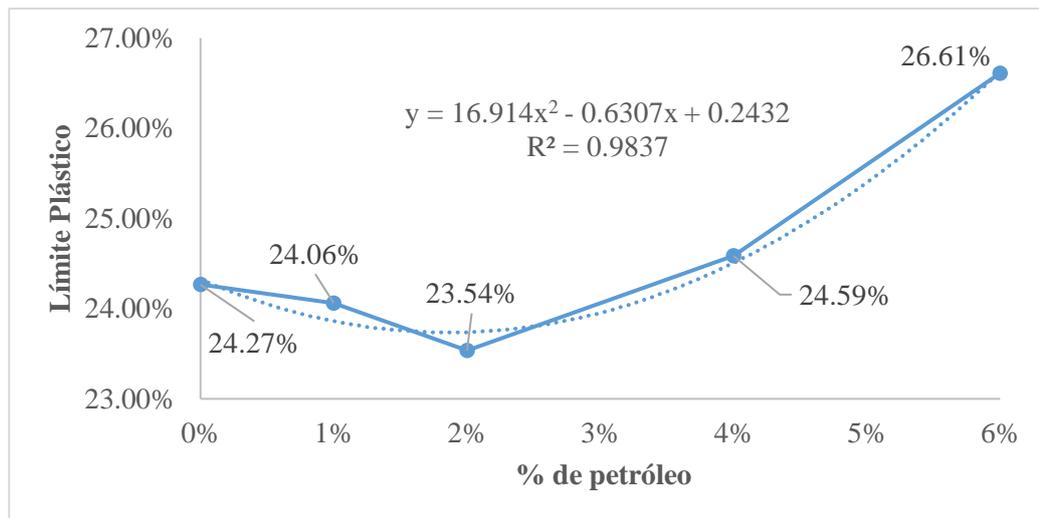
*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 18, respecto al bloque o calicata "A"; se advierte que, existe un decrecimiento de 0.21% y 0.52% para 1% y 2% de contenido de petróleo, en los valores del límite plástico, posteriormente existe un incremento de 1.05% y

2.02% del valor del límite plástico para 4% y 6% de contenido de petróleo; sobre el particular, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9827$  (Figura 16).

**Figura 16**

*Valores promedios del límite plástico para el bloque o calicata "A"*



Ahora bien, en relación al bloque o calicata "B"; se obtuvo un valor promedio de límite plástico de 24.30%, 23.79%, 23.30%, 24.44% y 26.30%, para los tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 19).

**Tabla 19**

*Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque o calicata "B"*

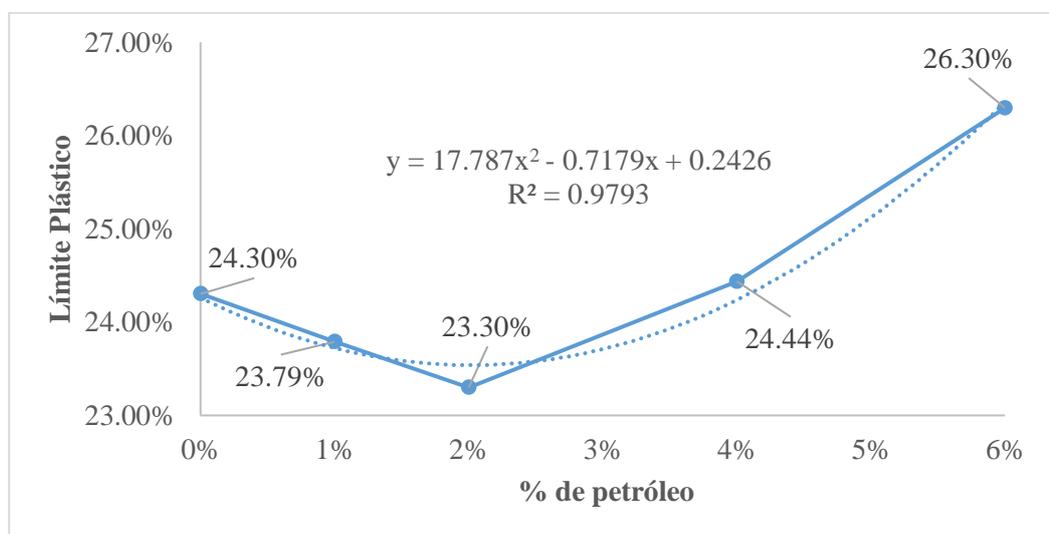
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	24.30%	23.79%	23.30%	24.44%	26.30%
Error típico	0.14%	0.07%	0.08%	0.12%	0.17%
Desviación estándar	0.27%	0.13%	0.17%	0.24%	0.35%
Rango	0.61%	0.30%	0.39%	0.45%	0.76%
Mínimo	23.93%	23.60%	23.12%	24.21%	25.91%
Máximo	24.54%	23.90%	23.51%	24.66%	26.68%
Suma	97.21%	95.16%	93.20%	97.75%	105.19%
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 19, en relación al bloque o calicata “B”; se advierte un decrecimiento del valor del límite plástico para 1% y 2% del contenido de petróleo, respectivamente, posterior a ello existe un aumento en su valor para tratamientos del 4% y 6% de contenido de petróleo; vale decir, a mayor contenido de petróleo mayor valor del límite plástico; al respecto, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9793$  (Figura 17).

**Figura 17**

*Valores promedios del límite plástico para el bloque o calicata “B”*



También, en relación respecto al bloque o calicata “C”; el valor promedio obtenido para el límite plástico es de 24.12%, 23.60%, 23.16%, 24.40% y 26.04%, para los tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 20).

**Tabla 20**

*Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque o calicata “C”*

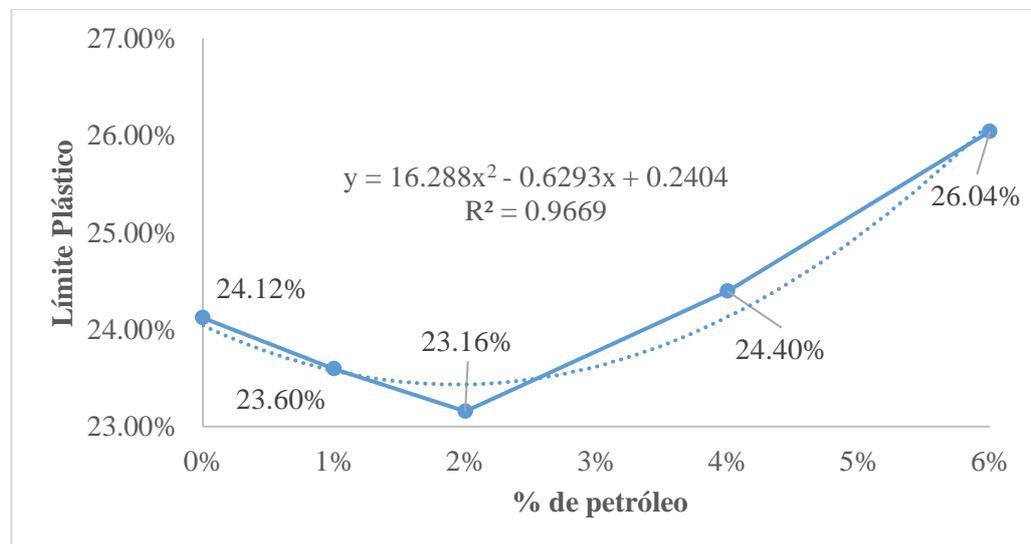
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	24.12%	23.60%	23.16%	24.40%	26.04%
Error típico	0.20%	0.09%	0.09%	0.11%	0.17%
Desviación estándar	0.39%	0.18%	0.17%	0.23%	0.34%
Rango	0.84%	0.43%	0.39%	0.45%	0.79%
Mínimo	23.59%	23.37%	22.96%	24.19%	25.62%
Máximo	24.43%	23.80%	23.35%	24.63%	26.41%
Suma	96.49%	94.39%	92.63%	97.58%	104.17%
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 20, en relación al bloque o calicata “C”; existe un decrecimiento del valor del límite plástico para 1% y 2% del contenido de petróleo, posterior a ello, existe un aumento en su valor para contenidos de petróleo del 4% y 6%, al respecto, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar este comportamiento, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9669$  (Figura 18).

**Figura 18**

*Valores promedios del límite plástico para el bloque o calicata “C”*

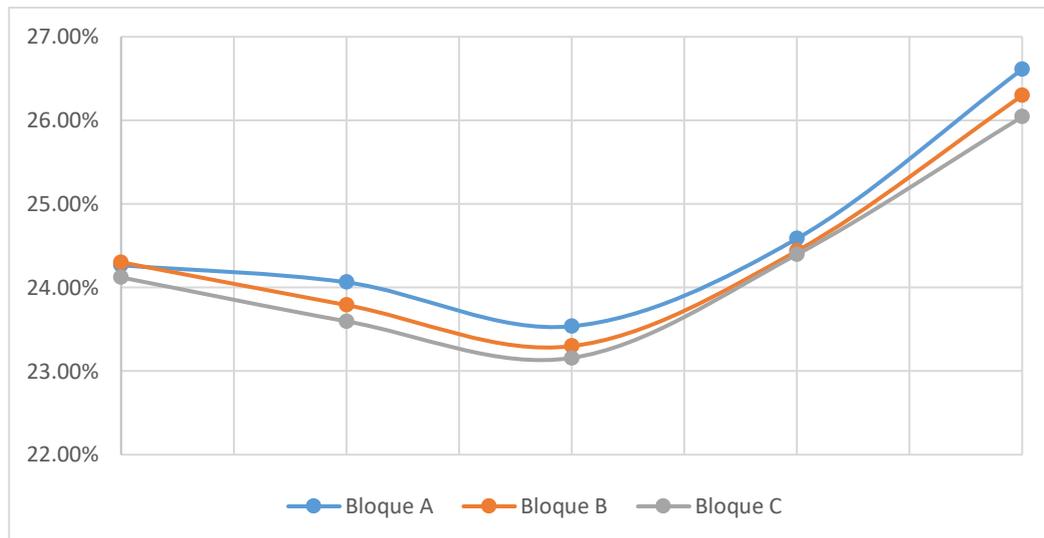


Con los resultados obtenidos para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, advertimos un similar comportamiento para el límite plástico, esto debido al diseño estadístico propuesto para la investigación, en donde los mencionados bloques o calicatas, corresponden al mismo suelo que fue extraído de la zona de

estudio, en la Figura 19 se aprecia gráficamente este comportamiento de los valores promedio del límite plástico.

**Figura 19**

*Comportamiento de los resultados del límite plástico para los bloques o calicatas "A", "B" y "C"*



Asimismo, en la Tabla 21 se muestra el resultado de los estadísticos descriptivos para los valores del límite plástico de los bloques o calicatas "A", "B" y "C", siendo el valor promedio de 24.23%, 23.82%, 23.33%, 24.47% y 26.32%, para tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo.

**Tabla 21**

*Estadísticos descriptivos del límite plástico para los bloques o calicatas "A", "B" y "C"*

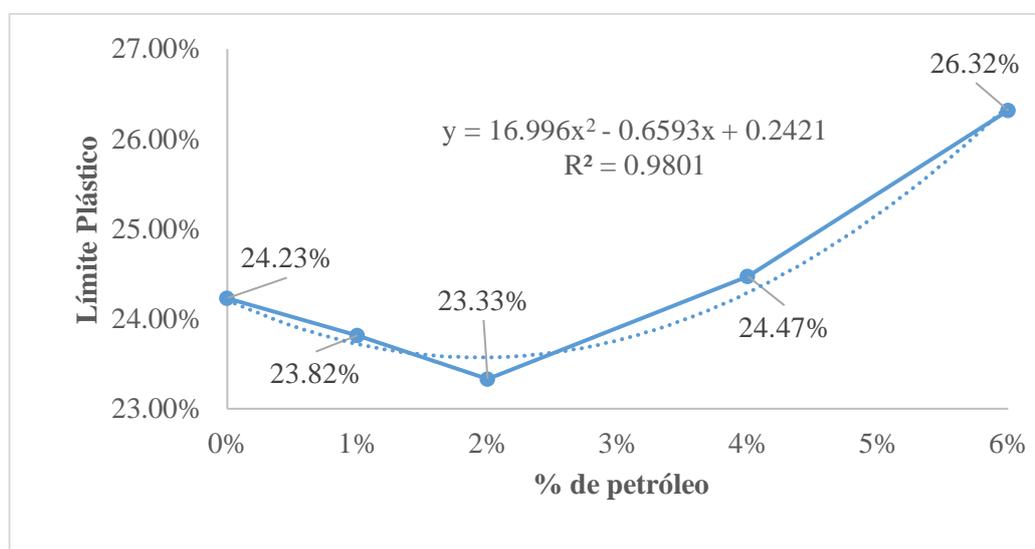
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	24.23%	23.82%	23.33%	24.47%	26.32%
Error típico	0.08%	0.07%	0.07%	0.07%	0.11%
Desviación estándar	0.29%	0.23%	0.23%	0.23%	0.38%
Rango	0.95%	0.74%	0.78%	0.62%	1.35%
Mínimo	23.59%	23.37%	22.96%	24.19%	25.62%
Máximo	24.54%	24.11%	23.73%	24.81%	26.97%
Suma	290.76%	285.80%	279.97%	293.67%	315.80%
Cuenta	12	12	12	12	12

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 21, se advierte que, para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”; los valores del límite plástico decrecen en 0.41% y 0.49% para 1% y 2% de contenido de petróleo, después, existe un aumento en 1.14% y 1.85% del valor del límite plástico para contenidos de petróleo de 4% y 6%, respectivamente, este comportamiento puede ser reflejado con la regresión realizada con el MS Excel, donde se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9801$  para una ecuación de segundo de grado (Figura 20).

**Figura 20**

*Valores promedios del límite plástico para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*



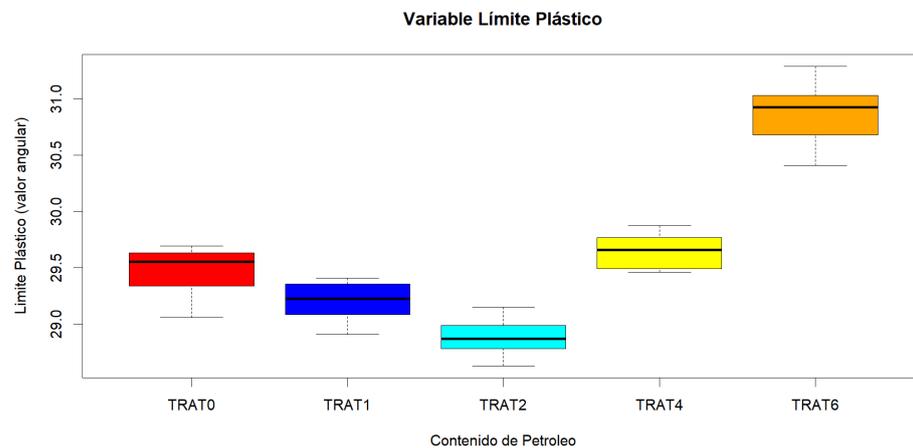
#### **A. Contrastación de la Hipótesis específica 1 – Límite plástico**

Para el experimento se escogió el diseño por bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, para ello se consideraron 3 bloques, unidades o calicatas, 4 repeticiones y 5 tratamientos, tiendo en total 60 unidades experimentales, en la Figura 21, se muestra gráficamente los valores promedio del límite plástico para cada uno de los tratamientos de contenido de petróleo, advirtiéndose, un decrecimiento en el valor del límite plástico para tratamientos del 1% y 2% de contenido de petróleo, posterior a ello se presenta un incremento de su valor para tratamientos del

4% y 6% de contenido de petróleo; asimismo, gráficamente se advierten diferencias entre los valores promedio.

**Figura 21**

*Diagrama de cajas de los valores promedio del límite plástico y tratamientos de contenido de petróleo*



Ahora bien, a fin de determinar si existe o no diferencia entre los tratamientos realizados, se realizó la prueba estadística de Análisis de Varianza – ANOVA, para ello se planteó las siguientes hipótesis:

$H_0$ : No existe diferencia en el valor del límite plástico para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_0: p_{\text{valor}} > 0.05$$

$$|F| > F_{GLtratamiento, \alpha}^{GLerror}, \text{ se acepta la } H_0$$

$H_1$ : Existe diferencia en el valor del límite plástico para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_1: p_{\text{valor}} < 0.05$$

$$|F| \leq F_{GLtratamiento, \alpha}^{GLerror}, \text{ se acepta la } H_1$$

Con los resultados de valores del límite plástico, se realizó la prueba estadística Análisis de Varianza – ANOVA, haciendo uso del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7, en la Tabla 22 se muestran los resultados del Análisis de Varianza – ANOVA.

**Tabla 22**

*Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para el límite plástico*

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas (Bloques o Unidades)	2	0.5435	0.27175	<b>16.104</b>	0.002	**
Dosis de petróleo (Tratamientos)	4	27.2840	6.82100	<b>404.207</b>	0.000	**
Error Exptal	8	0.1350	0.01688			
Error Muestreo	45	1.2120	0.02693			
Total	59					

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 22 podemos observar que no existe diferencia significativa entre los tres tipos de calicatas, bloques o unidades; sin embargo, se ha encontrado que existe diferencia significativa  $p < 0.05$  para los cinco tipos de dosis de petróleo o tratamientos, para un suelo contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno, consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y acepta la hipótesis alterna  $H_1$ , vale decir que existe diferencia significativa en el valor del límite plástico para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno; cabe precisar que, el Análisis de Varianza fue realizado, previa verificación de los supuestos de normalidad de los errores, lo cual se encuentra detallado en el Anexo 7 de la presente tesis doctoral, para ello se realizó la transformación de valores los cuales se detallan en el Anexo 8 de la presente investigación.

Asimismo, el valor de F obtenido es de 404.207, ahora bien, para el valor de  $F_{GLtratamiento, GLerror, \alpha}^{GL}$ , se consideró un  $\alpha = 0.01$ , de la tabla estadísticas de “F de Snedecor” o “F de Fisher”, correspondiente a  $F_{8,0.01}^4 =$

7.01; en ese sentido, el valor F obtenido del Análisis de Varianza – ANOVA, es mayor al de la tabla estadística; por lo tanto, se corrobora el rechazo de la hipótesis nula  $H_0$  y la aceptación de la hipótesis alterna  $H_1$ , consecuentemente existe diferencia significativa en el valor del límite plástico para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno para un nivel de confianza del 99%.

### **B. Comparación de medias de resultados de límite plástico**

Se hizo uso de la prueba de Tukey, con apoyo del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7; en la Tabla 23 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 23**

*Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para el límite plástico*

Tratamiento	Media	Agrupación
TRAT6	30.86430	a
TRAT4	29.65122	b
TRAT0	29.48867	b
TRAT1	29.21164	c
TRAT2	28.88487	d

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 23, se puede observar que el tratamiento de 6% de contenido de petróleo es diferente frente a los demás tratamientos; en cambio los tratamientos de 4% y 0% de contenido de petróleo son similares, finalmente los tratamientos de 1% y 2% de contenido de petróleo son diferentes.

Asimismo, el tratamiento del 2% de contenido de petróleo es el mejor valor obtenido para el límite plástico, dado que los demás valores con contenido de petróleo fueron mayores a este valor.

### 4.3 Compactación de un suelo contaminado con tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo

Para el estudio de la compactación, se realizó ensayos de densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo del suelo extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial del Puno contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, los cuales se muestran en el Anexo 6 de la presente tesis doctoral; a continuación, se detalla los resultados obtenidos y prueba de hipótesis correspondiente.

#### 4.3.1 Resultados de la densidad máxima seca

En esta investigación doctoral se tomó en cuenta 3 bloques o calicatas, 5 tratamientos y 4 repeticiones; obteniendo 60 unidades experimentales o resultados para la densidad máxima seca; al respecto, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, hizo alcance de los resultados del ensayo de próctor modificado, adjuntos en el Anexo 6 de la presente tesis, en la Tabla 24 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 24**

*Resumen de resultados del ensayo de Próctor Modificado – Densidad máxima seca en  $gr/cm^3$*

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)				
		T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
A	1	1.854	1.882	1.903	1.884	1.873
	2	1.855	1.874	1.901	1.880	1.877
	3	1.853	1.876	1.902	1.879	1.871
	4	1.857	1.877	1.904	1.882	1.865
B	1	1.860	1.871	1.899	1.890	1.869
	2	1.857	1.884	1.903	1.879	1.863
	3	1.861	1.881	1.902	1.878	1.869
	4	1.855	1.872	1.899	1.885	1.870
C	1	1.855	1.883	1.902	1.879	1.869
	2	1.858	1.872	1.906	1.885	1.878
	3	1.853	1.876	1.898	1.884	1.872
	4	1.854	1.880	1.905	1.879	1.864

De los resultados de la densidad máxima seca (Tabla 24); en relación al bloque o calicata “A”, se obtuvo un valor promedio de 1.8548, 1.8773, 1.9025, 1.8813 y 1.8715 gr/cm<sup>3</sup> para los tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 25).

**Tabla 25**

*Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca del bloque o calicata “A”*

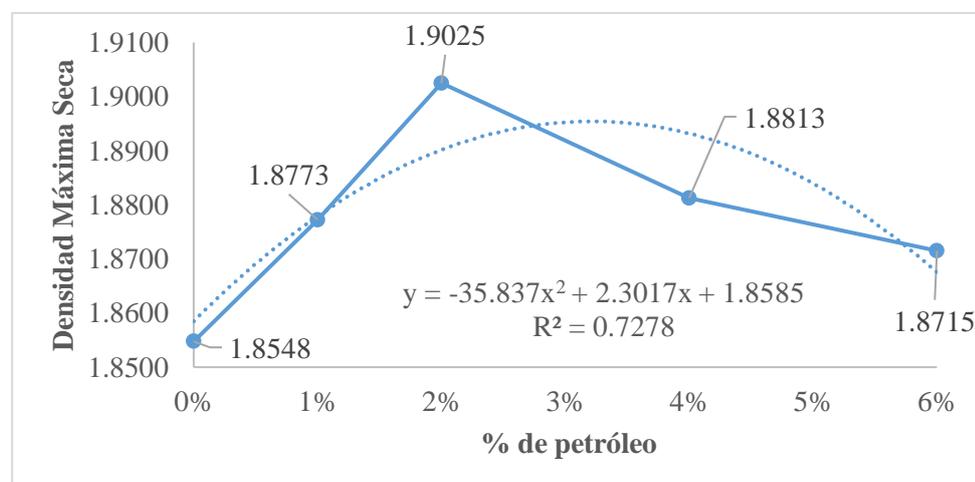
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	1.8548	1.8773	1.9025	1.8813	1.8715
Error típico	0.0009	0.0017	0.0006	0.0011	0.0025
Desviación estándar	0.0017	0.0034	0.0013	0.0022	0.0050
Rango	0.0040	0.0080	0.0030	0.0050	0.0120
Mínimo	1.8530	1.8740	1.9010	1.8790	1.8650
Máximo	1.8570	1.8820	1.9040	1.8840	1.8770
Suma	7.4190	7.5090	7.6100	7.5250	7.4860
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 25, respecto al bloque o calicata “A”; se advierte que, para el 1% y 2% de contenido de petróleo, existe un aumento de la densidad máxima seca, posteriormente, para un 4% y 6% de contenido de petróleo existe un decrecimiento del valor de la densidad máxima seca; este comportamiento, puede ser reflejado de la regresión lineal realizada en el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.7278$  (Figura 22).

**Figura 22**

*Valores promedios de la densidad máxima seca para el bloque o calicata “A”*



Ahora bien, en relación al bloque o calicata “B”; se obtuvo un valor promedio de la densidad máxima seca de 1.8583, 1.8770, 1.9008, 1.8830 y 1.8678 gr/cm<sup>3</sup> para los tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 26).

**Tabla 26**

*Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca del bloque o calicata “B”*

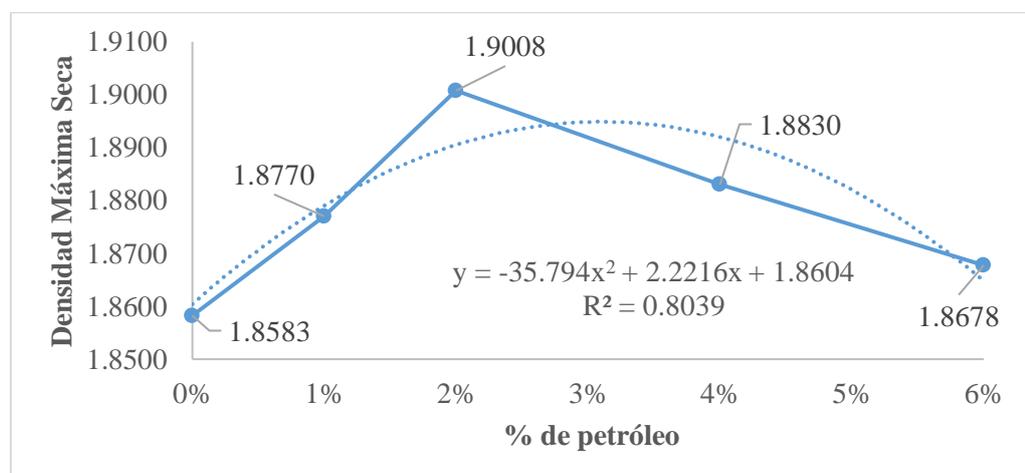
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	1.8583	1.8770	1.9008	1.8830	1.8678
Error típico	0.0014	0.0032	0.0010	0.0028	0.0016
Desviación estándar	0.0028	0.0065	0.0020	0.0056	0.0032
Rango	0.0060	0.0130	0.0040	0.0120	0.0070
Mínimo	1.8550	1.8710	1.8990	1.8780	1.8630
Máximo	1.8610	1.8840	1.9030	1.8900	1.8700
Suma	7.4330	7.5080	7.6031	7.5320	7.4710
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 26, en relación al bloque o calicata “B”; existe un aumento en la densidad máxima seca para el 1% y 2% del contenido de petróleo; posterior a ello, existe un decrecimiento del su valor para tratamientos del 4% y 6%, vale decir, a mayor contenido de petróleo menor es el valor de la densidad máxima seca; al respecto, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.8039$  (Figura 23).

**Figura 23**

*Valores promedios de la densidad máxima seca para el bloque o calicata “B”*



También, en relación respecto al bloque o calicata “C”; el valor promedio de la densidad máxima seca es de 1.8550, 1.8778, 1.9028, 1.8818 y 1.8708 gr/cm<sup>3</sup> para tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 27).

**Tabla 27**

*Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca del bloque o calicata “C”*

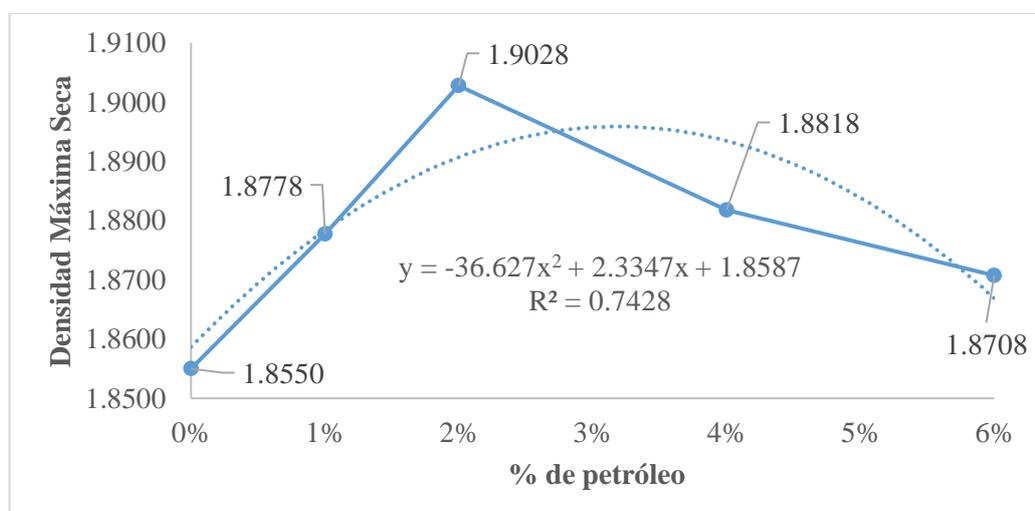
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	1.8550	1.8778	1.9028	1.8818	1.8708
Error típico	0.0011	0.0024	0.0018	0.0016	0.0029
Desviación estándar	0.0022	0.0048	0.0036	0.0032	0.0059
Rango	0.0050	0.0110	0.0080	0.0060	0.0140
Mínimo	1.8530	1.8720	1.8980	1.8790	1.8640
Máximo	1.8580	1.8830	1.9060	1.8850	1.8780
Suma	7.4200	7.5110	7.6110	7.5270	7.4830
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 27, en relación al bloque o calicata “C”; existe un aumento de la densidad máxima seca hasta un 2% del contenido de petróleo, posterior a ello, existe un decrecimiento del su valor para contenidos de petróleo de 4% y 6%; al respecto, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar este comportamiento, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.7428$  (Figura 24).

**Figura 24**

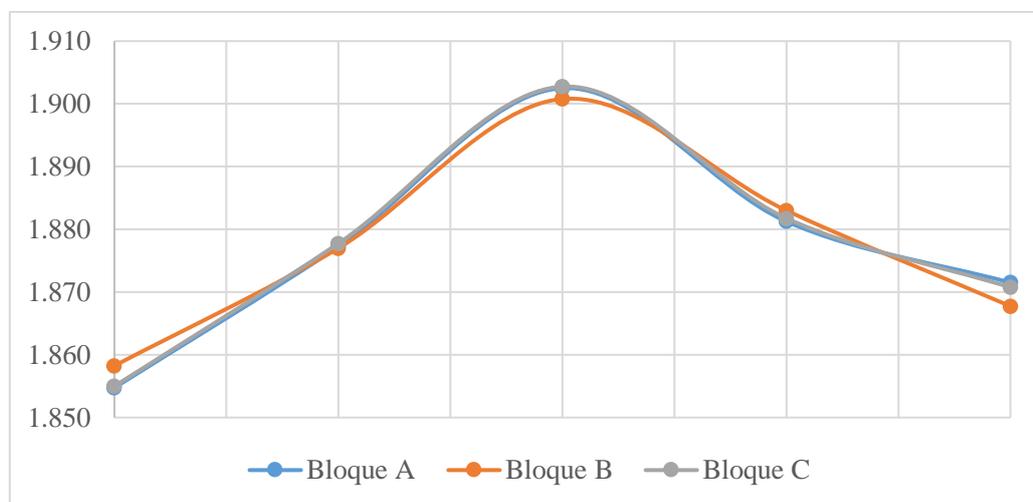
*Valores promedios de la densidad máxima seca para el bloque o calicata “C”*



Con los resultados obtenidos para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, se tiene que los valores de la densidad máxima seca presentan un similar comportamiento, esto debido al diseño estadístico propuesto para la investigación, en donde los mencionados bloques o calicatas, corresponden al mismo tipo de suelo que fue extraído de la zona de estudio, en la Figura 25 se aprecia gráficamente este comportamiento de los valores promedio de la densidad máxima seca.

### Figura 25

*Comportamiento de los resultados de la Densidad Máxima Seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*



Asimismo, en la Tabla 28 se muestra el resultado de los estadísticos descriptivos de los valores de la densidad máxima seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, siendo el valor promedio de 1.8560, 1.8773, 1.9020, 1.8820 y 1.8700 gr/cm<sup>3</sup>, para tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, respectivamente.

**Tabla 28**

*Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*

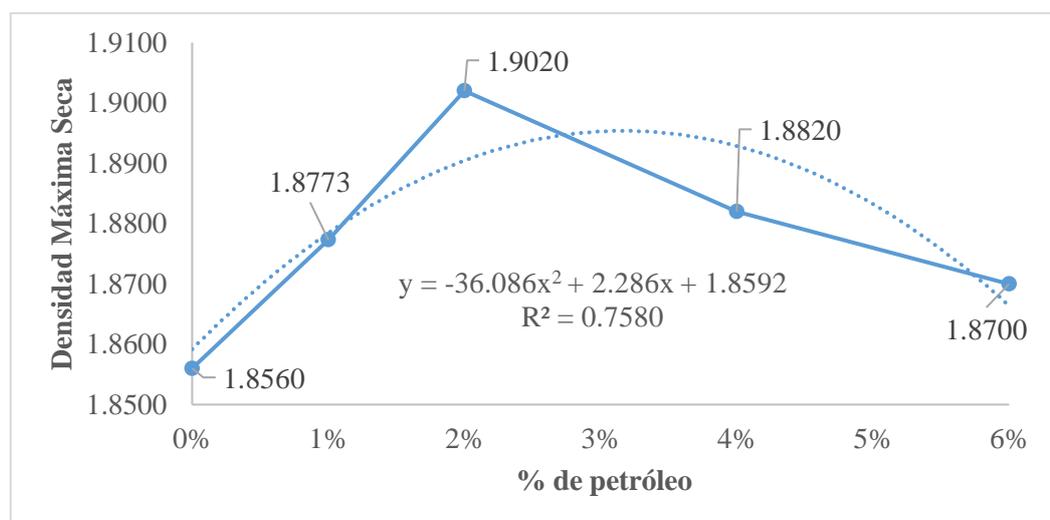
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	1.8560	1.8773	1.9020	1.8820	1.8700
Error típico	0.0008	0.0013	0.0007	0.0011	0.0013
Desviación estándar	0.0026	0.0046	0.0024	0.0036	0.0047
Rango	0.0080	0.0130	0.0080	0.0120	0.0150
Mínimo	1.8530	1.8710	1.8980	1.8780	1.8630
Máximo	1.8610	1.8840	1.9060	1.8900	1.8780
Suma	22.2720	22.5280	22.8241	22.5840	22.4400
Cuenta	12	12	12	12	12

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 28, para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”; los valores de la densidad máxima seca aumentan en 0.0213 y 0.0247 gr/cm<sup>3</sup> para 1% y 2%, de contenido de petróleo, respectivamente, después, existe un decrecimiento en 0.0200 y 0.0120 gr/cm<sup>3</sup> del valor de la densidad máxima seca para contenidos de petróleo de 4% y 6%, respectivamente, este comportamiento puede ser reflejado con la regresión realizada con el MS Excel, donde se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.7580$  para una ecuación de segundo de grado (Figura 26).

**Figura 26**

*Valores promedios de la densidad máxima seca para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*

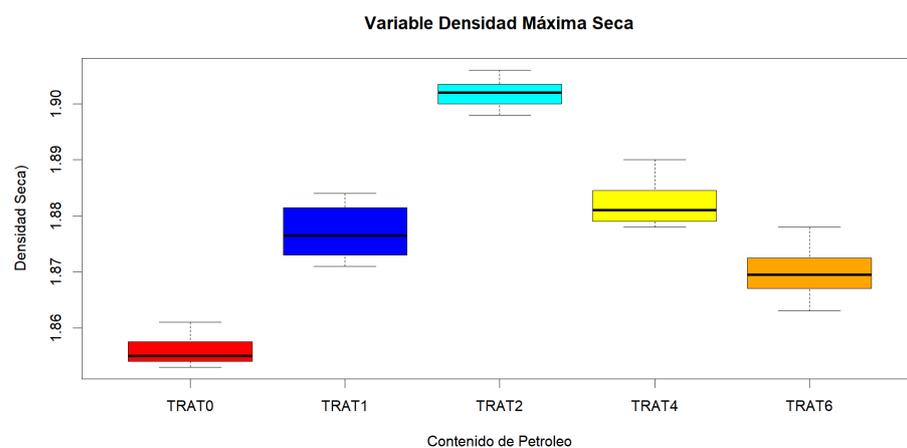


## A. Contrastación de la Hipótesis específica 2 - Densidad máxima seca

Para el experimento se escogió el diseño por bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, para ello se consideraron 3 bloques, unidades o calicatas, 4 repeticiones y 5 tratamientos, tiendo en total 60 unidades experimentales, en la Figura 27, se muestra gráficamente los valores promedio de la densidad máxima seca para cada uno de los tratamientos de contenido de petróleo, advirtiéndose, un incremento en el valor de la densidad máxima seca para tratamientos del 1% y 2% de contenido de petróleo, posterior a ello se presenta un decrecimiento de su valor para tratamientos del 4% y 6% de contenido de petróleo; asimismo, gráficamente se advierten diferencias entre los valores promedio.

### Figura 27

*Diagrama de cajas de los valores promedio de la densidad máxima seca y tratamientos de contenido de petróleo*



Ahora bien, a fin de determinar si existe o no diferencia entre los tratamientos realizados, se realizó la prueba estadística de Análisis de Varianza – ANOVA, para ello se planteó las siguientes hipótesis:

$H_0$ : No existe diferencia en el valor de la densidad máxima seca para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_0: p_{\text{valor}} > 0.05$$

$$|F| > F_{GL\text{tratamiento}, GL\text{error}, \alpha}^{GL}$$
, se acepta la  $H_0$

$H_1$ : Existe diferencia en el valor de la densidad máxima seca para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_1: p_{\text{valor}} < 0.05$$

$$|F| \leq F_{GL\text{tratamiento}, GL\text{error}-t, \alpha}^{GL}$$
, se acepta la  $H_1$

Con los resultados de valores de la densidad máxima seca, se realizó la prueba estadística Análisis de Varianza – ANOVA, haciendo uso del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7, en la Tabla 29 se muestran los resultados del Análisis de Varianza – ANOVA.

### Tabla 29

*Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para la densidad máxima seca*

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas (Bloques o Unidades)	2	0.0000006333	0.0000003167	<b>0.032</b>	0.969	ns.
Dosis de petróleo (Tratamientos)	4	0.0136680000	0.0034170000	<b>346.025</b>	0.000	**
Error Exptal	8	0.0000790000	0.0000098750			
Error Muestreo	45	0.0006795000	0.0000151000			
Total	59					

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 29 podemos observar que no existe diferencia significativa entre los tres tipos de calicatas, bloques o unidades; sin embargo, se ha encontrado que existe diferencia significativa  $p < 0.05$  para los cinco tipos de dosis de petróleo o tratamientos, para un suelo contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno, consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y acepta la hipótesis alterna  $H_1$ , vale decir que existe diferencia significativa en el

valor de la densidad máxima seca para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno; cabe precisar que, el Análisis de Varianza fue realizado, previa verificación de los supuestos de normalidad de los errores, lo cual se encuentra detallado en el Anexo 7 de la presente tesis doctoral.

Asimismo, el valor de F obtenido es de 346.025, ahora bien, para el valor de  $F_{GLtratamiento, GLerror, \alpha}^{GL}$ , se consideró un  $\alpha = 0.01$ , de la tabla estadísticas de “F de Snedecor” o “F de Fisher”, correspondiente a  $F_{8,0.01}^4 = 7.01$ ; en ese sentido, el valor F obtenido del Análisis de Varianza – ANOVA, es mayor al de la tabla estadística; por lo tanto, se corrobora el rechazo de la hipótesis nula  $H_0$  y la aceptación de la hipótesis alterna  $H_1$ , consecuentemente existe diferencia significativa en el valor de la densidad máxima seca para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno para un nivel de confianza del 99%.

#### **B. Comparación de medias de resultados de la densidad máxima seca**

Se hizo uso de la prueba de Tukey, con apoyo del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7; en la Tabla 30 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 30**

*Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para la densidad máxima seca*

Tratamiento	Media	Agrupación
TRAT2	1.902000	a
TRAT4	1.882000	b
TRAT1	1.877333	c
TRAT6	1.870000	d
TRAT0	1.856000	e

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 30, se puede observar que en primer lugar se ubica el tratamiento del 2% de contenido de petróleo que es superior a los demás tratamientos, en segundo lugar, el tratamiento del 4% que es diferente a los demás tratamientos, en resumen, podemos concluir que todos los tratamientos son diferentes.

Asimismo, el tratamiento del 2% de contenido de petróleo es el mejor valor obtenido para la densidad máxima seca, dado que los demás valores con contenido de petróleo fueron menores a este valor.

#### 4.3.2 Resultados del contenido de humedad óptimo

En la presente investigación se tomó en cuenta 3 bloques o calicatas, 5 tratamientos y 4 repeticiones; obteniendo 60 unidades experimentales o resultados para el contenido de humedad óptimo; al respecto, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, hizo alcance de los resultados del ensayo de próctor modificado, adjuntos en el Anexo 6 de la presente tesis, en la Tabla 31 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 31**

*Resumen de resultados del ensayo de Próctor Modificado – Contenido de humedad óptimo %*

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)				
		T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
A	1	13.80%	12.80%	11.80%	10.50%	9.80%
	2	13.55%	12.90%	12.00%	10.40%	9.70%
	3	14.00%	12.45%	12.01%	11.00%	9.90%
	4	14.20%	13.20%	11.80%	10.50%	9.50%
B	1	13.70%	13.00%	11.20%	10.60%	9.65%
	2	13.60%	12.90%	12.20%	10.35%	9.35%
	3	13.40%	13.20%	12.00%	10.20%	9.75%
	4	13.90%	13.60%	11.35%	10.36%	9.85%
C	1	14.20%	13.10%	11.90%	10.60%	10.00%
	2	14.10%	13.20%	11.80%	10.25%	9.95%
	3	13.80%	13.00%	11.85%	10.70%	10.20%
	4	13.85%	12.80%	11.95%	10.50%	9.70%

De los resultados de la densidad máxima seca (Tabla 31); en relación al bloque o calicata “A”; se obtuvo un valor promedio de 13.89%, 12.84%, 11.90%, 10.60% y 9.73% para tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4%, y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 32).

**Tabla 32**

*Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo del bloque o calicata “A”*

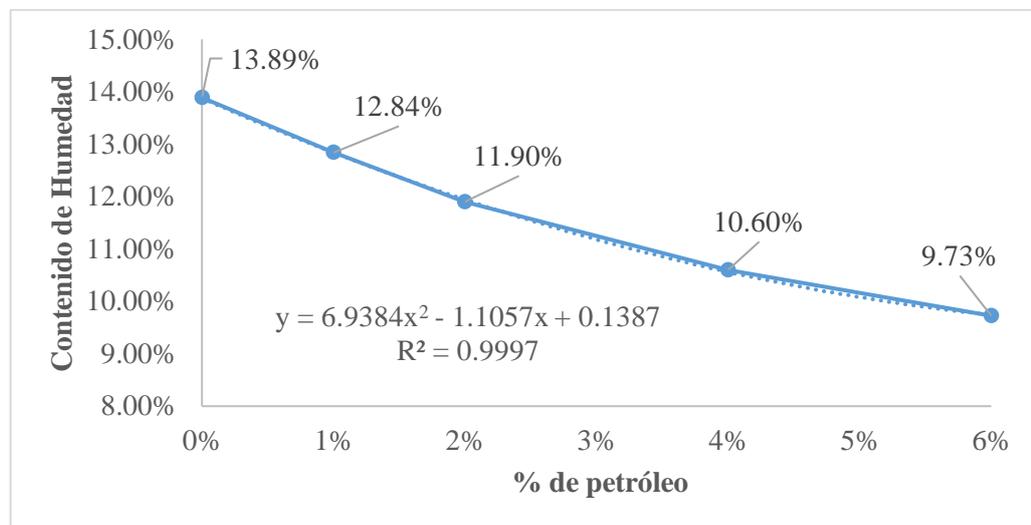
Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	13.89%	12.84%	11.90%	10.60%	9.73%
Error típico	0.14%	0.15%	0.06%	0.14%	0.09%
Desviación estándar	0.28%	0.31%	0.12%	0.27%	0.17%
Rango	0.65%	0.75%	0.21%	0.60%	0.40%
Mínimo	13.55%	12.45%	11.80%	10.40%	9.50%
Máximo	14.20%	13.20%	12.01%	11.00%	9.90%
Suma	55.55%	51.35%	47.61%	42.40%	38.90%
Cuenta	4	4	4	4	4

*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De cuadro precedente, respecto al bloque o calicata “A”; se advierte que, el valor del contenido de humedad óptimo decrece a medida que se incrementa el contenido de petróleo, es decir, a mayor contenido de petróleo en el suelo, menor es el contenido de húmeda óptimo; sobre el particular, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9997$  (Figura 28).

**Figura 28**

*Valores promedios del contenido de humedad óptimo para el bloque o calicata “A”*



Ahora bien, en relación al bloque o calicata “B”; se obtuvo un valor promedio para el contenido de humedad óptimo del 13.65%, 13.18%, 11.69%, 10.38% y 9.65% para los tratamientos del: 0%, 1%, 2%, 4%, y 6%, de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 33).

**Tabla 33**

*Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo del bloque o calicata “B”*

Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	13.65%	13.18%	11.69%	10.38%	9.65%
Error típico	0.10%	0.15%	0.24%	0.08%	0.11%
Desviación estándar	0.21%	0.31%	0.49%	0.17%	0.22%
Rango	0.50%	0.70%	1.00%	0.40%	0.50%
Mínimo	13.40%	12.90%	11.20%	10.20%	9.35%
Máximo	13.90%	13.60%	12.20%	10.60%	9.85%
Suma	54.60%	52.70%	46.75%	41.51%	38.60%
Cuenta	4	4	4	4	4

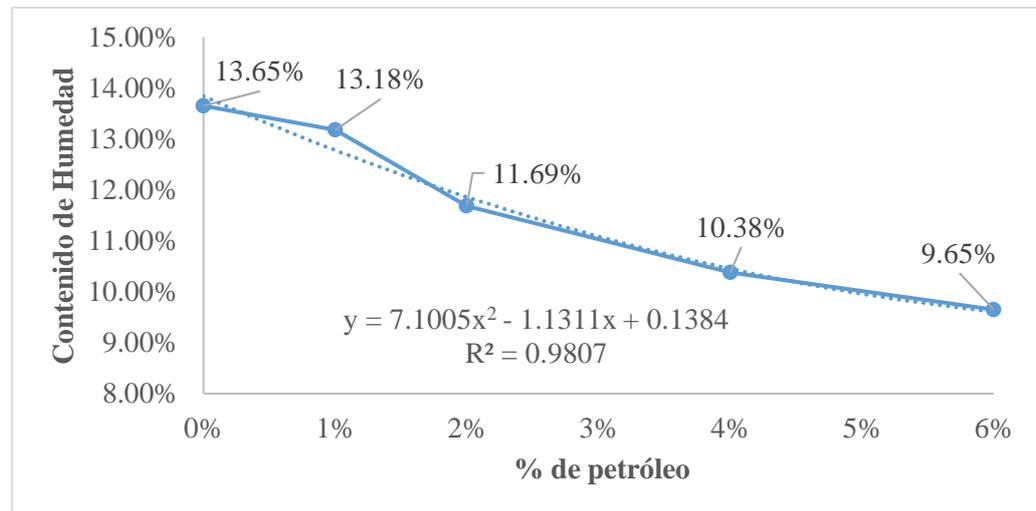
*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 33, en relación al bloque o calicata “B”; el valor del contenido de humedad óptimo decrece a medida que se incrementa el contenido de petróleo, es decir, a mayor contenido de petróleo en el suelo, menor es el contenido de humedad óptimo; sobre el particular, de la regresión lineal realizada con el MS

Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9807$  (Figura 29).

**Figura 29**

*Valores promedios del contenido de humedad óptimo para el bloque o calicata “B”*



También, en relación respecto al bloque o calicata “C”; el valor promedio obtenido para el contenido de humedad óptimo es de 13.99%, 13.03%, 11.88%, 10.51% y 9.96% para tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4%, y 6% de contenido de petróleo - Diésel DB-5 S-50 UV, respectivamente (Tabla 34).

**Tabla 34**

*Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo del bloque o calicata “C”*

Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	13.99%	13.03%	11.88%	10.51%	9.96%
Error típico	0.10%	0.09%	0.03%	0.10%	0.10%
Desviación estándar	0.19%	0.17%	0.06%	0.19%	0.21%
Rango	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Mínimo	13.80%	12.80%	11.80%	10.25%	9.70%
Máximo	14.20%	13.20%	11.95%	10.70%	10.20%
Suma	55.95%	52.10%	47.50%	42.05%	39.85%
Cuenta	4	4	4	4	4

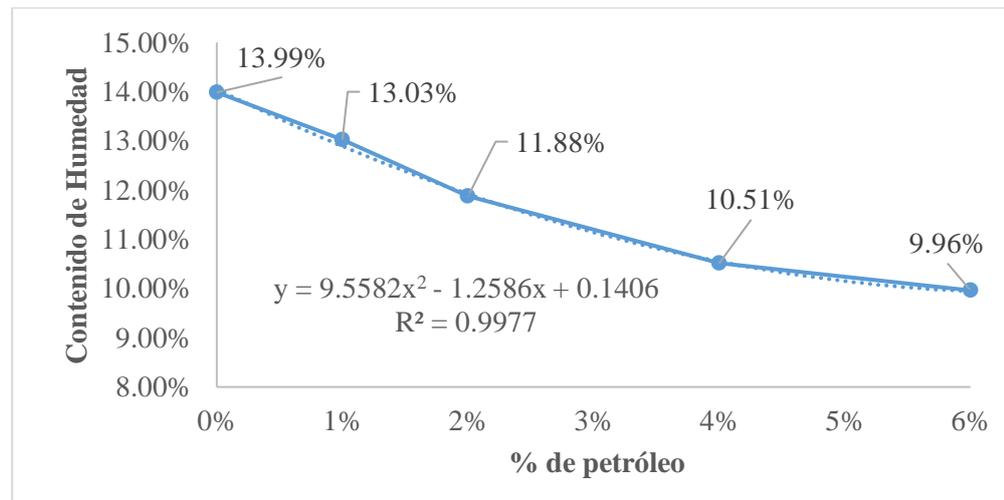
*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 34, en relación al bloque o calicata “C”; el valor del contenido de humedad óptimo decrece a medida que se incrementa el contenido de petróleo,

es decir, a mayor contenido de petróleo en el suelo, menor es el contenido de humedad óptimo; sobre el particular, de la regresión lineal realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9977$  (Figura 30).

### Figura 30

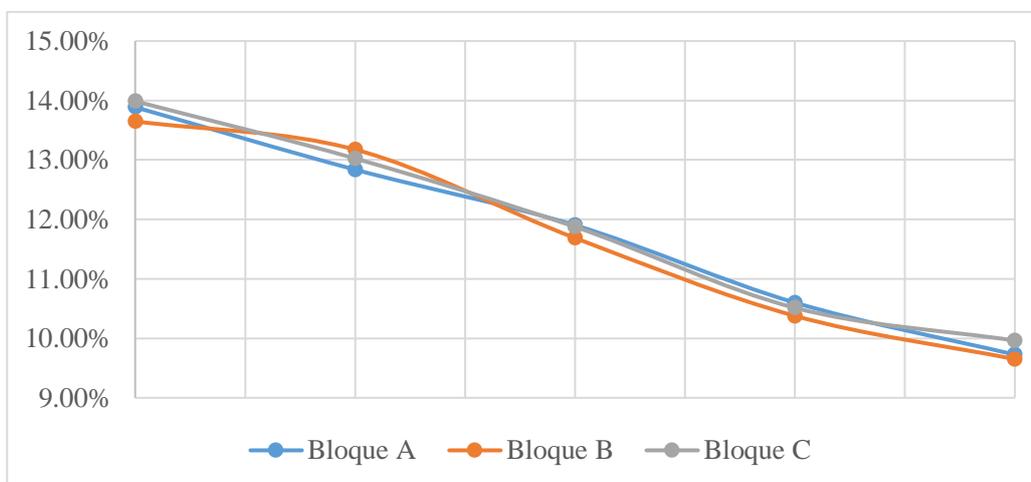
*Valores promedios del contenido de humedad óptimo para el bloque o calicata “B”*



Con los resultados obtenidos para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, para el contenido de humedad óptimo, se advierte un similar un comportamiento, esto debido al diseño estadístico propuesto para la investigación, en donde los mencionados bloques o calicatas, corresponden al mismo suelo que fue extraído de la zona de estudio, en la Figura 31 se aprecia gráficamente este comportamiento de los valores promedio del contenido de humedad óptimo.

**Figura 31**

*Comportamiento de los resultados del contenido de humedad óptimo para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*



Asimismo, en la Tabla 35 se muestra el resultado de los estadísticos descriptivos obtenidos para el contenido de humedad óptimo, para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”, siendo el valor promedio de 13.84%, 13.01%, 11.82%, 10.50% y 9.78%, para los tratamientos de 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, respectivamente.

**Tabla 35**

*Estadísticos descriptivos del contenido de humedad óptimo para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”*

Descripción	T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(6%)
Media	13.84%	13.01%	11.82%	10.50%	9.78%
Error típico	0.07%	0.08%	0.08%	0.06%	0.07%
Desviación estándar	0.25%	0.28%	0.28%	0.22%	0.23%
Rango	0.80%	1.15%	1.00%	0.80%	0.85%
Mínimo	13.40%	12.45%	11.20%	10.20%	9.35%
Máximo	14.20%	13.60%	12.20%	11.00%	10.20%
Suma	166.10%	156.15%	141.86%	125.96%	117.35%
Cuenta	12	12	12	12	12

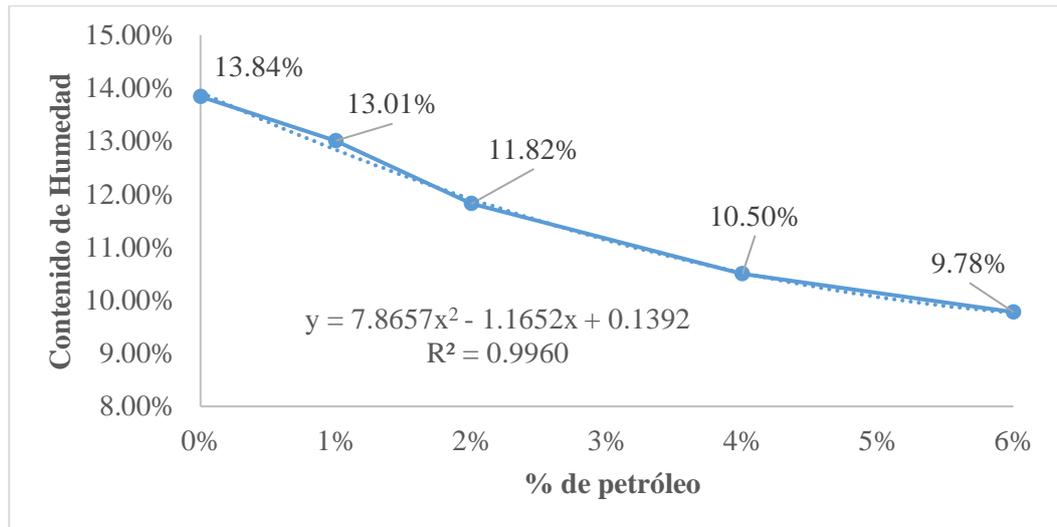
*Nota.* Estadísticos Descriptivos MS Excel

De la Tabla 35, se advierte que, para los bloques o calicatas “A”, “B” y “C”; los valores del contenido de humedad óptimo decrecen en 0.83%, 1.19%,

1.19%, 1.32% y 0.72% para tratamientos del 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, respectivamente, este comportamiento puede ser reflejado con la regresión realizada con el MS Excel, donde se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9960$  para una ecuación de segundo de grado (Figura 32).

### Figura 32

Valores promedios del contenido de humedad óptimo para los bloques o calicatas "A", "B" y "C"

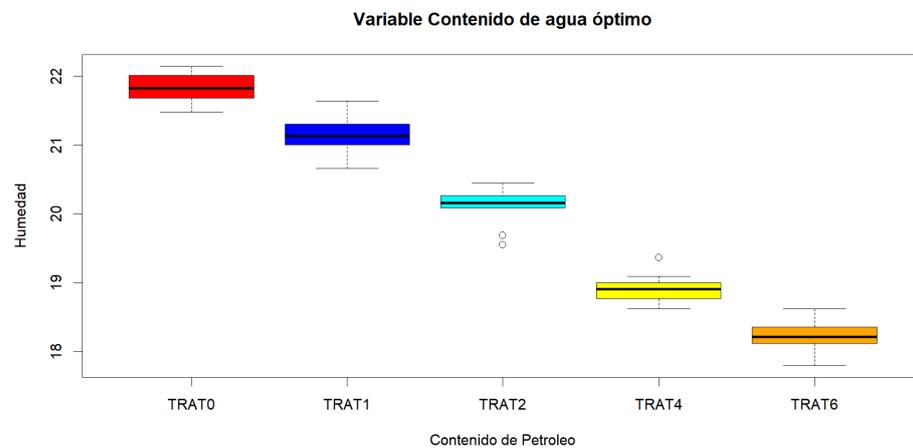


#### A. Contrastación de la Hipótesis específica 2 – Contenido de humedad óptimo

Para el experimento se escogió el diseño por bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, para ello se consideraron 3 bloques, unidades o calicatas, 4 repeticiones y 5 tratamientos, tiendo en total 60 unidades experimentales, en la Figura 33, se muestra gráficamente los valores promedio del contenido de humedad óptimo para cada uno de los tratamientos de contenido de petróleo, advirtiéndose, un decrecimiento en el valor del contenido de humedad óptimo a medida que se incrementa el contenido de petróleo; asimismo, gráficamente se advierten diferencias entre los valores promedio.

**Figura 33**

*Diagrama de cajas de los valores promedio del contenido de humedad óptimo y tratamientos de contenido de petróleo*



Ahora bien, a fin de determinar si existe o no diferencia entre los tratamientos realizados, se realizó la prueba estadística de Análisis de Varianza – ANOVA, para ello se planteó las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: No existe diferencia en el valor del contenido de humedad óptimo para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_0: p_{\text{valor}} > 0.05$$

$$|F| > F_{GLtratamiento, GLerror, \alpha}^{GLtratamiento}, \text{ se acepta la } H_0$$

H<sub>1</sub>: Existe diferencia en el valor del contenido de humedad óptimo para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno.

$$H_1: p_{\text{valor}} < 0.05$$

$$|F| \leq F_{GLtratamiento, GLerror, \alpha}^{GLtratamiento}, \text{ se acepta la } H_1$$

Con los resultados de valores del contenido de humedad óptimo, se realizó la prueba estadística Análisis de Varianza – ANOVA, haciendo uso del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el

Anexo 7, en la Tabla 36 se muestran los resultados del Análisis de Varianza – ANOVA.

**Tabla 36**

*Resultados del Análisis de Varianza – ANOVA para el contenido de humedad óptimo*

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas (Bloques o Unidades)	2	0.22530	0.1126500	<b>1.878</b>	0.215	ns.
Dosis de petróleo (Tratamientos)	4	108.77000	27.1925000	<b>453.208</b>	0.000	**
Error Exptal	8	0.48000	0.0600000			
Error Muestreo	45	2.10400	0.0467556			
Total	59					

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 36 podemos observar que no existe diferencia significativa entre los tres tipos de calicatas, bloques o unidades; sin embargo, se ha encontrado que existe diferencia significativa  $p < 0.05$  para los cinco tipos de dosis de petróleo o tratamientos, para un suelo contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno, consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y acepta la hipótesis alterna  $H_1$ , vale decir que existe diferencia significativa en el valor del contenido de humedad óptimo para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno; cabe precisar que, el Análisis de Varianza fue realizado, previa verificación de los supuestos de normalidad de los errores, lo cual se encuentra detallado en el Anexo 7 de la presente tesis doctoral, para ello se realizó la transformación de valores los cuales se detallan en el Anexo 8 de la presente investigación.

Asimismo, el valor de F obtenido es de 453.208, ahora bien, para el valor de  $F_{GLtratamiento, GLerror, \alpha}^{GLtratamiento}$ , se consideró un  $\alpha = 0.01$ , de la tabla estadísticas de “F de Snedecor” o “F de Fisher”, correspondiente a  $F_{8,0.01}^4 = 7.01$ ; en ese sentido, el valor F obtenido del Análisis de Varianza – ANOVA, es mayor al de la tabla estadística; por lo tanto, se corrobora el

rechazo de la hipótesis nula  $H_0$  y la aceptación de la hipótesis alterna  $H_1$ , consecuentemente existe diferencia significativa en el valor del contenido de humedad óptimo para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo de la ciudad de Puno para un nivel de confianza del 99%.

### **B. Comparación de medias de resultados del contenido de humedad óptimo**

Se hizo uso de la prueba de Tukey, con apoyo del software estadístico R V4.3.0, cuyos resultados se muestran en el Anexo 7; en la Tabla 37 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 37**

*Resumen de resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de humedad óptimo*

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
TRAT0	21.84099	a
TRAT1	21.14392	b
TRAT2	20.10899	c
TRAT4	18.90331	d
TRAT6	18.22200	e

*Nota.* Resultados del software estadístico R V4.3.0

De la Tabla 37, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos del experimento, ubicándose en el primer lugar el tratamiento del 0% de contenido de petróleo que es diferentes a los demás tratamientos, y los otros tratamientos son diferentes.

Asimismo, el tratamiento del 2% de contenido de petróleo es el mejor valor obtenido dado que con este tratamiento se obtuvo el mayor valor para la densidad máxima seca.

## **4.4 Discusión de los resultados**

Los autores Ijimdiya y Igboro (2012), Abousnina et al. (2015), Mousavi (2017), Martines y Lopez (2016), Safehian et al. (2018), Castellanos et al. (2015), Serrano et al.

(2013) y Khomehchiyan et al. (2006), hallaron en sus respectivas investigaciones diferencias entre las propiedades del suelo adicionado con diversos porcentajes de contaminantes derivados del petróleo; sobre el particular, de la pruebas de hipótesis realizada en la presente investigación doctoral, se ha demostrado que existe diferencia significativa en la consistencia del suelo, representado por los valores del límite líquido y límite plástico; asimismo, existe diferencia significativa en la compactación del suelo, representado por los valores de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo, para un suelo areno arcilloso, contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo (Diésel DB-5 S-50 UV) extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno, con un nivel de confianza del 95%, en ese contexto, se pudo corroborar que ante tratamientos de incremento de contenido de petróleo; las propiedades en la consistencia y compactación fueron alteradas.

#### **4.4.1 Respecto a la consistencia de un suelo contaminado**

Nasehi et al. (2016), en su investigación sobre la influencia de la contaminación por petróleo en las propiedades geotécnicas de arena pobremente graduada (SP), arcilla de baja plasticidad (CL) y limo (ML), con un 3%, 6% y 9% de petróleo, advirtieron que los valores del límite líquido y plástico aumentaron en el suelo arcilloso (CL) y en el suelo limoso (ML) con el aumento de porcentaje de contenido de petróleo; en la presente investigación, para el suelo areno arcilloso (SC), producto de ensayos de consistencia, se encontró que los valores del límite líquido y plástico decrecen para el 1% y 2%, de contenido de petróleo, posteriormente existe un aumento para contenidos de petróleo de 4% y 6%, obteniendo un coeficiente de determinación para una ecuación cuadrática de 0.9585 y 0.9801, respectivamente; en ese sentido este comportamiento guarda relación con la investigación de Nasehi et al. (2016), para contenidos de petróleo mayores a 2%, las diferencias en los resultados se debe al tipo de suelo utilizado en los experimentos.

Al-Aghbari et al. (2011), para muestras de arenas con petróleo y gasolina con tratamientos de 0%, 5% y 10%; encontraron que los valores del límite líquido y plástico aumentaron con el incremento del porcentaje del contaminante; en la presente investigación doctoral, se encontraron incrementos para los valores del

límite líquido y plástico; pero únicamente para tratamientos mayores al 2%; por lo tanto, los resultados de esta investigación doctoral guardan relación en parte con lo advertido por el mencionado autor; no existe una igualdad en los resultados debido al tipo de suelo ensayado, para esta investigación corresponde a un suelo areno arcilloso y el otro tipo de suelo corresponde a una arena.

Khamehchiyan et al. (2007), en el estudio sobre los efectos de la contaminación del petróleo crudo en propiedades geotécnicas de suelos CL, SM y SP contaminados con 2%, 4%, 8%, 12% y 16% de petróleo; tuvieron como resultados que tanto el límite líquido como plástico disminuyen al aumentar el contenido de petróleo; para la presente investigación doctoral, éstos resultados guardan relación con los obtenidos hasta un 2% de contenido de petróleo, posterior a ello, se encontró que existe un incremento en los valores del límite líquido y plástico; la diferencia de los resultados se debe al tipo de suelo ensayado y tipo de contaminante, resaltando que, para la presente investigación el suelo analizado corresponde a un suelo areno arcilloso (SC) y el contaminante a Diésel DB-5 S-50 UV.

En la investigación de Khosravi et al. (2013), para arcillas limpias que fueron contaminadas con el 2%, 4%, 6%, 12%, 16%, y 20% de contenido de petróleo; encontraron que ante un incremento del contenido de petróleo hasta el 12%, el valor del límite plástico disminuye, y para el tratamiento del 16% inicia un ligero incremento; y respecto al límite líquido su valor se incrementa hasta un 12% de contenido de petróleo, y luego disminuye para un 16% de contaminante; en la presente investigación se obtuvo que los valores del límite líquido y plástico disminuyen su valor hasta un 2% de contenido de petróleo, y posterior a ello sus valores se incrementan a medida para un mayor contenido de contaminante; por lo tanto, los resultados no son compatibles con lo encontrado en la presente investigación; la diferencia se debe fundamentalmente al tipo de suelo ensayado por Khosravi et al. (2013), corresponde a arcillas limpias, mientras que para esta investigación se utilizó un suelo areno arcilloso.

Estabragh et al. (2018), encontraron que un suelo cohesivo contaminado con tratamientos del 5%, 10% y 15% de gasolina, el valor de límite líquido y

límite plástico aumentó hasta el 10% de contenido del mencionado contaminante; posteriormente los valores disminuyeron para un 15% de gasolina; en la presente investigación doctoral, se encontró que los valores del límite líquido y plástico disminuyeron para tratamientos del 1% y 2% de contenido de petróleo, y posteriormente los valores aumentaron para tratamientos del 4% y 6%; en ese sentido, los resultados son contrarios a los advertidos por Estabragh et al. (2018), la diferencia en los resultados puede radicar principalmente debido al tipo de contaminante y suelo usado en los experimentos.

Galindo y Rueda (2012), en su investigación sobre características mecánicas de suelos arcillosos contaminados en 5%, 10%, 15% y 30% de hidrocarburos, encontraron que existe un incremento del límite líquido y plástico con el contenido del contaminante; para la presente investigación doctoral, se encontró que los valores del límite líquido y plástico se vieron incrementados con tratamientos del 4% y 6%, por lo que los resultados guardan relación en parte con los obtenidos en la presente tesis, la diferencia es debido al tipo de suelo que fue utilizado en los experimentos.

Huaquisto (2014), en su tesis doctoral respecto a mezclas de suelo contaminadas con aceite residual, encontró que existe una correlación inversa en las propiedades de plasticidad respecto al contenido de aceite residual, para nuestra investigación doctoral, para los valores del límite líquido y plástico, se tiene un decrecimiento para el 1% y 2% de contenido de petróleo, y un incremento en su valor para tratamientos del 4% y 6%, por lo tanto, los resultados guardan relación en parte con la presente investigación doctoral, esta variación se debe fundamentalmente al tipo de suelo usado en los ensayos y al agente contaminante utilizado para la investigación.

#### **4.4.2 Respecto a la compactación de un suelo contaminado**

Nasehi et al. (2016), en su investigación sobre la influencia de la contaminación por petróleo en las propiedades geotécnicas de arena pobremente graduada (SP), arcilla de baja plasticidad (CL) y limo (ML), con un 3%, 6% y 9% de petróleo, advirtieron que producto del ensayo de compactación, existe un

reducción en la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad, la variación de la densidad muestra una caída significativa producto de la adición del 3% de petróleo; y para las muestras altamente contaminadas la densidad se mantuvo casi constante; asimismo, el estudio reveló una tendencia en la reducción del contenido de humedad óptimo con el aumento del contenido de petróleo en todos los tipos de suelo; sobre el particular, en la presente investigación, para el suelo areno arcilloso (SC), los valores de la densidad máxima seca, aumentaron para 1% y 2%, de contenido de petróleo, posteriormente existe un decrecimiento para contenidos 4% y 6%, este comportamiento fue ajustado a una ecuación cuadrática obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.7580$ , este resultado guarda relación con lo encontrado por Nasehi et al. (2016), para los porcentajes de 4% y 6%, que son mayores al 3% dado que los valores de la densidad máxima seca decrecieron; no obstante, para los tratamientos del 1% y 2% no son similares pudiendo ser una causa el tipo de suelo que fue utilizado en el experimento; en relación al contenido de humedad óptimo se encontró que los valores decrecen para tratamientos del 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9960$  para una ecuación cuadrática, esto guarda relación con la investigación realizada por Nasehi et al. (2016).

Al-Aghbari et al. (2011), para muestras de arenas con petróleo y gasolina con tratamientos de 0%, 5% y 10%; los resultados de los ensayos de compactación, encontraron que el valor de la densidad máxima seca aumentó con el incremento del porcentaje de ambos contaminantes; el contenido óptimo de humedad disminuye con el aumento del contenido de contaminantes en ambas arenas, en la presente investigación doctoral se encontró que, el contenido óptimo de humedad también disminuye con el aumento del contenido de contaminante; no obstante, para el caso de la densidad máxima seca se encontró que hasta el 2% de contenido de petróleo existe un incremento de su valor, y para tratamientos mayores a este porcentaje el valor de la densidad máxima seca disminuye; esta variación se debe tipo de suelo para la presente tesis se usó un suelo areno arcilloso y Al-Aghbari et al. (2011) usaron muestras de arenas.

Khamehchiyan et al. (2007), en el estudio sobre los efectos de la contaminación del petróleo crudo en propiedades geotécnicas de suelos CL, SM y SP contaminados con 2%, 4%, 8%, 12% y 16% de petróleo; obtuvieron resultados de pruebas de próctor estándar, donde evidenciaron la reducción de la densidad máxima seca y el contenido óptimo de agua que ante un aumento del contenido de petróleo crudo; éstos resultados guardan relación con la presente investigación doctoral, respecto a los valores del contenido de humedad óptimo; y en parte respecto a los valores obtenidos para la densidad máxima seca, donde la reducción de su valor se originó a partir del 2% de contenido de petróleo; la diferencia de los resultados se debe al tipo de suelo ensayado y tipo de contaminante, resaltando que, para la presente investigación el suelo analizado corresponde a un suelo areno arcilloso (SC) y el contaminante a Diésel DB-5 S-50 UV.

Khamehchiyan et al. (2006), en su investigación sobre los efectos de la contaminación por petróleo crudo en las propiedades geotécnicas de los suelos costeros, realizaron pruebas de compactación en muestras de suelos contaminados por petróleo, concluyendo que existe una reducción en la densidad seca máxima con el aumento del contenido de petróleo, este proceso es más rápido en las muestras de suelos SM y CL, debido al efecto lubricante del petróleo, el cual facilita la compactación y reduce la cantidad de agua para lograr una densidad máxima; en la presente investigación doctoral, se encontró que para un suelo SC, la densidad máxima seca aumenta para tratamientos del 1% y 2% de contenido de petróleo; y disminuye para tratamientos del 4% y 6% de contenido de petróleo, además que el contenido de humedad óptimo disminuye a medida que existe un aumento de contenido de petróleo; en ese sentido, los resultados de Khamehchiyan et al. (2006) tienen una cierta relación con los obtenidos en la presente tesis doctoral.

Galindo y Rueda (2012), en su investigación sobre características mecánicas de suelos arcillosos contaminados en 5%, 10%, 15% y 30% de hidrocarburos, encontraron que el porcentaje de petróleo afecta directamente el contenido de humedad óptimo, para la presente investigación doctoral, se

encontró que a mayor contenido de petróleo existe un menor valor en el contenido de humedad óptimo; por lo que los resultados guardan relación con los obtenidos en la presente tesis.

Huaquisto (2014), en su tesis doctoral respecto a mezclas de suelo contaminadas con aceite residual, encontró que existe una correlación inversa en los valores del contenido de humedad óptimo respecto al contenido de aceite residual; asimismo, se encontró que el aceite residual favorece el proceso de compactación dado existe un aumento en la densidad seca máxima para un rango del 2% al 4%, posteriormente este valor se reduce cuando se incrementa el mencionado contaminante, para nuestra investigación doctoral, respecto a la densidad máxima seca, se advierte un incremento en su valor para tratamientos del 1% al 2%, y un decrecimiento para valores del 4% y 6%, respecto al contenido de humedad óptimo también existe una correlación inversa respecto al contenido de agente contaminante, por lo tanto, los resultados guardan relación en parte con la presente investigación doctoral, las variaciones en los resultados se debe fundamentalmente al tipo de suelo usado en los ensayos y al agente contaminante usado para la investigación.

## CONCLUSIONES

- PRIMERO:** De la evaluación realizada a un suelo areno arcilloso (SC) extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad de Puno, se ha encontrado que existe diferencia en los valores de la consistencia del suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo, demostrada con el Análisis de Varianza – ANOVA, mediante la cual se obtuvo un  $p_{valor}$  de 0.000 y 0.000 para los valores de límite líquido y plástico, respectivamente, los cuales fueron menores a 0.05; asimismo, se obtuvo un valor de F de 90.570 y 404.207, que son mayores a 7.01 de la tabla estadística de “F de Snedecor” o “F de Fisher” para un nivel de confianza del 99% (Objetivo específico 1).
- SEGUNDO:** De la evaluación realizada a un suelo areno arcilloso (SC) extraído del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad de Puno, se ha encontrado que existe diferencia en los valores de compactación del suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo, demostrada con el Análisis de Varianza – ANOVA, mediante la cual se obtuvo un  $p_{valor}$  de 0.000 y 0.000 para los valores de densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo, respectivamente, los cuales fueron menores a 0.05; asimismo, se obtuvo un valor de F de 346.025 y 453.208, que son mayores a 7.01 de la tabla estadística de “F de Snedecor” o “F de Fisher” para un nivel de confianza del 99% (Objetivo específico 2).
- TERCERO:** Para los valores del límite líquido de un suelo areno arcilloso (SC) del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad de Puno, contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, se advierte que, para el bloque, unidad o calicata “A”, “B” y “C”; existe un decrecimiento en 1.14% y 0.32% para 1% y 2%, de contenido de petróleo, respectivamente; posteriormente, existe un aumento en 0.46% y 1.41% del valor del límite líquido para contenidos de petróleo de 4% y 6%, respectivamente, este comportamiento se ajusta a un

modelo de ecuación de segundo grado, con el cual se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9585$  (Conclusión adicional 1).

**CUARTO:** Para los valores del límite plástico de un suelo areno arcilloso (SC) del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad de Puno, contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, se advierte que, para el bloque, unidad o calicata “A”, “B” y “C”; existe un decrecimiento en 0.41% y 0.49% para 1% y 2% de contenido de petróleo, después, existe un aumento en 1.14% y 1.85% del valor del límite plástico para contenidos de petróleo de 4% y 6%, respectivamente, este comportamiento se ajusta a un modelo de ecuación de segundo grado, con el cual se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9801$  (Conclusión adicional 2).

**QUINTO:** Para los valores de la densidad máxima seca de un suelo areno arcilloso (SC) del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad de Puno, contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, se advierte que, para el bloque, unidad o calicata “A”, “B” y “C”; existe un incremento de 0.0213 y 0.0247 gr/cm<sup>3</sup> para 1% y 2%, de contenido de petróleo, respectivamente, después, existe un decrecimiento en 0.0200 y 0.0120 gr/cm<sup>3</sup> del valor de la densidad máxima seca para contenidos de petróleo de 4% y 6%, respectivamente, este comportamiento se ajusta a un modelo de ecuación de segundo grado, con el cual se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.7580$  (Conclusión adicional 3).

**SEXTO:** Para los valores de del contenido de humedad óptimo de un suelo areno arcilloso (SC) del Taller de Maestranza de la Municipalidad Provincial de Puno ubicado en la ciudad de Puno, contaminado con el 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, se advierte que, para el bloque, unidad o calicata “A”, “B” y “C”; existe un decrecimiento de 0.83%, 1.19%, 1.19%, 1.32% y 0.72% para tratamientos del 1%, 2%, 4% y 6% de contenido de petróleo, respectivamente, este comportamiento se ajusta a un modelo de



ecuación de segundo grado, con el cual se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0.9960$  (Conclusión adicional 4).

## RECOMENDACIONES

- PRIMERO:** Como consecuencia de los ensayos de laboratorio, se recomienda considerar a la variable de temperatura ambiente, siendo más adecuado realizar los ensayos en un determinado intervalo de tiempo, a fin que los resultados no se vean afectados por esta variable.
- SEGUNDO:** Se recomienda para la ejecución de futuras investigaciones afines, que las muestras sean extraídas en un periodo en el cual no se vean afectadas por las precipitaciones pluviales.
- TERCERO:** Se recomienda realizar otras investigaciones con suelos que sean propensos a la contaminación; asimismo, tomar en cuenta otro tipo de contaminantes derivados del petróleo a fin de evaluar su comportamiento ante diversos tratamientos.
- CUARTO:** Se recomienda realizar otras investigaciones considerando propiedades adicionales del suelo como su resistencia, con la finalidad de comprender el comportamiento mecánico de un suelo contaminado con hidrocarburos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abousnina, R., Manalo, A., Lokuge, W., & Shiau, J. (2015). Oil Contaminated Sand: An Emerging and Sustainable Construction Material. *Procedia Engineering*, 118, 1119–1126. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.453>
- Abousnina, R., Manalo, A., Shiau, J., & Lokuge, W. (2015). Effects of Light Crude Oil Contamination on the Physical and Mechanical Properties of Fine Sand. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 24(8), 833–845. <https://doi.org/10.1080/15320383.2015.1058338>
- Abousnina, R., Manalo, A., Lokuge, W., & Zhang, Z. (2018). Effects of light crude oil contamination on the physical and mechanical properties of geopolymer cement mortar. *Cement and Concrete Composites*, 90(February), 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.001>
- Al-Aghbari, M., Dutta, R., & Mohamedzeini, Y. (2011). Effect of diesel and gasoline on the properties of sands — A comparative study. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 5(1), 61–68. <https://doi.org/10.3328/IJGE.2011.05.01.61-68>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación - Introducción a la metodología científica* (6ta Ed.). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.
- Arias, J. (2020). Proyecto de Tesis. Guía para la elaboración. *Repositorio CONCYTEC*. <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2236>
- ASTM. (1998). *Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort - D1557-78*. American Society for Tersting and Materials.
- ASTM. (2007). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort - D 698-07*: American Society for Tersting and Materials. <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/astm-D698.pdf>
- ASTM. (2014). *Standar Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils - D4318-98*. American Society for Tersting and Materials.

- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo 1*. Limusa Noriega Editores.
- Barois, I., Contreras, S., Hernández, B., De los Santos, M., Martínez, F., & García, D. (2018). *El suelo y el petróleo: Estudio de caso de biorremediación en pasivo ambiental de Papantla, México*. Instituto de Ecología A.C.
- Bate, S., & Clark, R. (2014). *The design and statistical analysis of animal experiments*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139344319>
- Behar, D. (2008). *Metodología de la Investigación*. Ediciones Shalom.
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación* (2da. Ed.). México: Pearson.
- Berry, P., & Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos*. McGraw-Hill.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil* (1era Edici). McGraw-Hill.
- Calla, J. (2012). *Geotecnia I*. Universidad Nacional del Altiplano, Carrera Profesional de Ingeniería Geológica.
- Castellanos, M., Isaza, R., & Torres, J. (2015). Avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) em solo urbano em Maicao, Colômbia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11–17. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55605>
- Cerutti, A. (2001). *La refinación de petróleo. Tomo I*. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (5ta ed.). Limunsa Noriega Editores.
- Cruz del Castillo, C., Olivares, S., & González, M. (2014). Metodología de la investigación. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 43, Issue 0). Grupo Editorial Patria.
- Das, B. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (4ta Ed.). International Thomson.

- Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma Ed.)*. Cengage Learnig Editores.
- Das, B. (2019). *Advanced Soil Mechanics (Fifth Edit)*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781351215183>
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de los Suelos*. Unviversidad Nacional Sede Manizales.
- Escobar, F. (2012). *Fundamentos de ingeniería de yacimientos*. Editorial Universidad Surcolombiana. [http://oilproduction.net/files/Libro Fundamentos de Ing de Yacimientos - Fredy Escobar.pdf](http://oilproduction.net/files/Libro_Fundamentos_de_Ing_de_Yacimientos_-_Fredy_Escobar.pdf)
- Escobar, M. (2008). *Fundamentos de la Geoquímica Del Petróleo*. Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica.
- Estabragh, A., Babalar, M., Javadi, A., & Afsari, E. (2018). Impacts of heating and surfactant treatments on the geotechnical properties of a cohesive soil. *International Journal of Mechanical Sciences*, 144, 909–918. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.11.047>
- Estabragh, A., Beytolahpour, I., Moradi, M., & Javadi, A. (2014). Consolidation behavior of two fine-grained soils contaminated by glycerol and ethanol. *Engineering Geology*, 178, 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.05.017>
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M., & Villasis-Keever, M. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*, 64(3), 364–370. <https://doi.org/https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Galindo-Domínguez, H. (2020). *Estadística para no Estadísticos una Guía Básica sobre la Metodología Cuantitativa de Trabajos Académicos*. O. y C. S. Economía. Ciencias. <https://doi.org/https://doi.org/10.17993/EcoOrgyCso.2020.59>
- Galindo, N., & Rueda, C. (2012). *Caracterización mecánica de suelos arcillosos afectados por derrames superficiales en hidrocarburos en concentración por porcentajes en peso: 5, 10, 15 y 30*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional



- Bucaramanga, Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Civil.  
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2190>
- Gonzales de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geologica*. P. H. Pearson.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos* (2da Ed). Mc Graw Hill.
- Hale, D., Lee, T., Zyren, J., Joosten, J., Kuserk, G., Rasmussen, J., Hewlett, J., McDowney, P., Stroud, L., & Smith, C. (2002). *Derivatives and Risk Management in the Petroleum, Natural Gas, and Electricity Industries* (Issue October). Energy Information Administration.
- Harbaugh, J., Davis, J., & Wendebourg, J. (1995). *Computing risk for oil prospects: Principles and programs*. Pergamon. [https://doi.org/10.1016/s0098-3004\(97\)85447-7](https://doi.org/10.1016/s0098-3004(97)85447-7)
- Havard, D. (2013). *Oil and Gas Production Handbook - An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In *McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. de C.V.* Mc Graw Hill. [http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández-Metodología de la investigación.pdf](http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández-Metodología%20de%20la%20investigación.pdf)
- Hernández, R., Méndez, S., Mendoza, C., & Cuevas, A. (2017). *Fundamentos de investigación*. Mc Graw Hill. <https://doi.org/10.33132/9789585459670>
- Huamán, H. (2005). *Manual de Técnicas de Investigación Conceptos y Aplicaciones* (2da Ed). IPLADEES S.A.C.
- Huanca, A. (2010). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica - Facultad de Ingeniería Civil.
- Huaquisto, S. (2014). *Efecto del aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo*. Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela de

- Posgrado. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3273648>
- Huata, P. (2017). *Diseños Experimentales en Ciencia Animal*. Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Ciencia Animal.
- Ibañez, V. (2009). *Análisis y diseño de experimentos*. Editorial Universitaria, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Estadística e Informática.
- Ijimdiya, T., & Igboro, T. (2012). The compressibility behavior of oil contaminated soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17 Y, 3653–3662.
- INDECOPI. (1998). *Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo - Norma Técnica Peruana NTP 339.127*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI. (1999a). *Método de para la compactacion del suelo utilizando energía estándar NTP 339-142*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI. (1999b). *Método de para la compactacion del suelo utilizando energía modificada NTP 339-141*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI. (1999c). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos - Norma Técnica Peruana NTP 339.129*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2015). Soil mechanics fundamentals and applications, second edition. In *Soil Mechanics Fundamentals and Applications, Second Edition*.
- Karlapudi, A., Venkateswarulu, T., Tammineedi, J., Kanumuri, L., Ravuru, B., Dirisala, V., & Kodali, V. (2018). Role of biosurfactants in bioremediation of oil pollution-a review. *Petroleum*, 4(3), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.03.007>
- Khamehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. (2006). The effects of crude oil contamination on geotechnical properties of Bushehr coastal soils in Iran. *Geological Society of London*, 214, 1–6.
- Khamehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. (2007). Effects of crude oil



- contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 89(3–4), 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.10.009>
- Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Sabour, M., & Yazdani, H. (2013). Geotechnical properties of gas oil-contaminated kaolinite. *Engineering Geology*, 166, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.08.004>
- Kimes, N., Callaghan, A., Suflita, J., & Morris, P. (2014). Microbial transformation of the deepwater horizon oil spill-past, present, and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 5(NOV), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00603>
- Kraus, R. (1998). Procesos de Refinación de Petróleo. *Enciclopedia de Salud y Seguridad En El Trabajo*, 78.1-78.33. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/78.pdf>
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de Experimentos - Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación* (Segunda Ed). Thomson Learning. <https://doi.org/10.1198/tech.2001.s589>
- Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa.
- Ma, F., Wu, B., Zhang, Q., Cui, D., Liu, Q., Peng, C., Li, F., & Gu, Q. (2018). An innovative method for the solidification/stabilization of PAHs-contaminated soil using sulfonated oil. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 742–748. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.015>
- Márquez, S. (2005). *Estabilización de Suelos*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - Facultad de Ingeniería. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Martines, V. &, & Lopez, F. (2016). Effects of Hydrocarbon Pollutants on the Physical and Chemical Properties of Clay Soil. *Terra*, 19, 9–17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319102>
- Mejía, E. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación*. Unidad de Post Grado de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<http://online.aliat.edu.mx/adistancia/InvCuantitativa/LecturasU6/tecnicas.pdf>

- Melo, O., López, L., & Melo, S. (2020). *Diseño de experimentos: Métodos y Aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia.  
<https://doi.org/10.36385/fcbog-4-0>
- Ministerio del Ambiente (2016). *La fiscalización ambiental en el Perú*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)  
[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=16883](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=16883)
- Mneina, A., Soliman, A. M., Ahmed, A., & El Naggar, M. (2018). Engineering properties of Controlled Low-Strength Materials containing Treated Oil Sand Waste. *Construction and Building Materials*, 159, 277–285.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.093>
- Moldes, A., Paradelo, R., Rubinos, D., Devesa-Rey, R., Cruz, J., & Barral, M. (2011). Ex situ treatment of hydrocarbon-contaminated soil using biosurfactants from lactobacillus pentosus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17), 9443–9447. <https://doi.org/10.1021/jf201807r>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos* (2da Ed). Editorial Limusa.
- Morán, G., & Alvarado, D. (2010). *Métodos de Investigación*. Pearson Prentice Hall.
- Mousavi, S. (2017). Shear strength behavior in the interface of contaminated soil with bio-diesel oil and geosynthetics. *Transportation Geotechnics*, 10(December 2016), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.12.003>
- MTC. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Diario Oficial El Peruano, Resolución Directoral N° 18-2016-MTC/14, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.  
<http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Munch, L., & Angeles, E. (2012). *Métodos y técnicas de investigación*. Editorial Trillas.  
<https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>
- Münch, L., & Angeles, E. (1996). *Métodos y técnicas de investigación*. Editorial Trillas.  
<https://es.calameo.com/read/0061884020905df2322c4>



- Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (2da Ed.). Pearson Prentice Hall.
- Nasehi, S., Uromeihy, A., Nikudel, M., & Morsali, A. (2016). Influence of Gas Oil Contamination on Geotechnical Properties of Fine and Coarse-Grained Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34(1), 333–345. <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9948-7>
- Nolan, D. (1996). Handbook of fire and explosion protection engineering principles: For oil, gas, chemical and related facilities. In *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles: for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities*. Noyes Publications. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04314-8>
- Ortiz, F., & García, M. (2006). *Metodología de la Investigación: El Proceso y sus Técnicas* (Vol. 59). Mexico DF, México: Limusa Noriega Editores.
- Osinermin. (2015). *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte a desarrollo del país*. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2svjsn3.10>
- Parella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa* (pp. 86, 141). Fondo Editoria de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador,.
- Parra, F. (2004). *Oil Politics a modern history of petroleum*. Tauris & Co. Ltd.
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1983). *Ingeniería de Cimentaciones* (2da Ed. Editorial Limusa.
- Petroperú. (2019). *Ficha de datos de seguridad - Diésel B5 S-50*. Petróleos del Perú - Petroperú S.A. <http://www.petroperu.com.pe>
- Powrie, W. (2014). *Soil Mechanics: Concepts and Applications*. T. & F. Group. <https://www.taylorfrancis.com/books/9781466552487>
- Puri, V. K. (2000). Geotechnical aspects of oil-contaminated sands. *Soil and Sediment Contamination*, 9(4), 359–374. <https://doi.org/10.1080/10588330091134301>
- Ratnaweera, P., & Meegoda, J. (2006). Shear Strength and Stress-Strain behavior of

- Contaminated Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 29(2), 12686.  
<https://doi.org/10.1520/GTJ12686>
- Raymond, T., King, C. K., Raymond, B., Stark, J., & Snape, I. (2016). Oil Pollution in Antarctica. In *Oil Spill Science and Technology: Second Edition*. Elsevier Inc.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809413-6.00014-X>
- Rodríguez, W. (2016). *Ingeniería Geotécnica*. Universidad Pedro Ruiz Gallo.
- Rosell-Melé, A., Moraleda-Cibrián, N., Cartró-Sabaté, M., Colomer-Ventura, F., Mayor, P., & Orta-Martínez, M. (2018). Oil pollution in soils and sediments from the Northern Peruvian Amazon. *Science of the Total Environment*, 610–611, 1010–1019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.208>
- Safehian, H., Rajabi, A., & Ghasemzadeh, H. (2018). Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil. *Engineering Geology*, 241, 55–63.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.020>
- Segura, J. (2000). *Notas de Diseños Experimentales*. Universidad autónoma de Yucatán.,  
<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-superior-de-teziutlan/estadistica/segura-correa-notas-diseno-experimental-jose-segura/8462701>
- Serrano, M., Torrado, L., & Pérez, D. (2013). *Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos \* Impact of Oil Spills on the Mechanical Properties of Sandy Soils*. 11(12), 233–244.
- Standard Oil Company. (2013). *El petróleo: Breve reseña de su historia e industrialización*. ESSO.
- Suárez, I., Varguillas, C., & Ronceros, C. (2022). Técnicas e instrumentos de investigación. Diseño y validación desde la perspectiva cuantitativa. Unidad de Publicaciones de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.46498/upelipb.lib.0013>
- Tamez, E. (2001). *Ingeniería de Cimentaciones Conceptos Básicos de la práctica*. TGC Geotecnia S.A. de C.V.

- Terzaghi, K., & Peck, R. (1973). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. Editorial El Ateneo S.A.
- Trzciński, J., Williams, D., & Zbik, M. (2015). Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition? *Applied Clay Science*, 109–110, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.03.014>
- Van der Perk, M. (2014). Soil and Water Contamination. In *Soil and Water Contamination: 2nd Edition* (Second Edi). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b16029>
- Varillas, C. (2012). *Estadística y diseño de experimentos*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vidonish, J., Zygorakis, K., Masiello, C., Sabadell, G., & Alvarez, P. (2016). Thermal Treatment of Hydrocarbon-Impacted Soils: A Review of Technology Innovation for Sustainable Remediation. *Engineering*, 2(4), 426–437. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.005>
- Whitlow, R. (1999). *Fundamentos de mecánica de suelos* (2da Ed). Compañía Editorial Continental. <https://es.scribd.com/document/414569102/Fundamentos-de-Mecanica-de-Suelos-Segunda-edicion-Roy-Whitlow>
- Yong, R. (2001). *Geoenvironmental engineering: Contaminated soils, pollutant fate, and mitigation*. CRC Press. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(02\)00053-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(02)00053-5)

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema/ Interrogante	Hipótesis	Objetivos	Variables	Indicador	Escala	Prueba Est.
<b>Problema General</b>	<b>Hip. General:</b>	<b>Objetivo General:</b>				
¿Qué efectos se presentan en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno?	El contenido de petróleo afecta la consistencia y compactación de un suelo de la ciudad de Puno.	Evaluar el efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno.				
<b>Problemas Específicos:</b>	<b>Hipótesis Específicos:</b>	<b>Objetivos Específicos:</b>				
¿Existe diferencia en la consistencia de un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno?	No existe diferencia en los valores de la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.	Determinar si existe diferencia en la consistencia para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.	Variable Independiente (X)	Petróleo	Contenido de petróleo en la masa de suelo % 0%, 1%, 2%, 4% y 6%.	Análisis de Varianza - ANOVA
			Variable de Respuesta (Y)	Consistencia del suelo contaminado	Límite Líquido % Límite Plástico %	

Problema/ Interrogante	Hipótesis	Objetivos	Variables	Indicador	Escala	Prueba Est.
¿Existe diferencia en la compactación de un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno?	No existe diferencia en los valores de la compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.	Determinar si existe diferencia en la compactación para un suelo contaminado con tratamientos del 0%, 1%, 2%, 4% y 6% de petróleo de la ciudad de Puno.	si Variable Independiente (X)	Petróleo	Contenido de petróleo en la masa de suelo %	Análisis de Varianza - ANOVA
			Variable de Respuesta (Y)	Densidad seca máxima.	g/cm <sup>3</sup>	
			Compactación del suelo contaminado	Contenido de agua óptimo.	%	

## Anexo 2. Documento de solicitud para la extracción de muestras

Carta N° 001-2022-EJMA-MPP

Puno, 17 de octubre de 2022

**Abogado:**  
Martín Ticona Maquera  
Alcalde  
Municipalidad Provincial de Puno  
Puno.-

**Atención:**  
Ingeniero  
Raúl Condorí Yucra  
Gerente de Ingeniería

**Asunto :** Autorización de acceso a Taller de Maestría para realizar calicatas y extracción de muestras de suelo para fines de investigación académica (Tesis).

Tengo el agrado de dirigirme a usted, a fin de solicitar la autorización para el acceso al suscrito y personal de apoyo, a las instalaciones del Taller de Maestría (Equipo Mecánico) de la Municipalidad Provincial de Puno, y la autorización para realizar 3 calicatas y poder extraer muestras del suelo, esto para fines de investigación académica (Tesis), para ello adjunto al presente, la Resolución Directoral n.° 0200-2020-DGEPG-UNA-Puno de 6 de febrero de 2020, mediante el cual Vladimir Ibáñez Quispe, director de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, resolvió aprobar el proyecto de tesis titulado "Efecto de la Consistencia y Compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"

Agradezco anticipadamente por su gentil atención y la su contribución a la investigación académica.

  
Edwin James Medina Alvarez  
DMI N° 41422313  
Teléfono Celular 987231473

**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO**  
Programa Especial de Operación y Mantenimiento  
de Maestrías y Posgrados

**21 OCT 2022**

Reg. N°: \_\_\_\_\_ Folio: -01-  
Hora: 8:30 a.m. Firma: 

**PROVEIDO N° 14108 GIM-MPP**  
A: M.º WILLIAM CAYLA - POCHU  
Para su:  Opinión  Informe  
 Por corresponderle.  
Otras: Por el Acceso por  
Bases Académicas  
Puno, 20 OCT 2022



### Anexo 3. Imágenes del proceso de extracción de muestras para la ejecución del experimento





## Anexo 4. Resultados de ensayos de caracterización del suelo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"

SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvaraz

UBICACION : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.

FECHA : febrero del 2023



### CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)

**DATOS DE LA MUESTRA:**

REFERENCIA : MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
CALICATA : Calicata A  
PROFUNDIDAD : 2,00m

Nro De Tara		H-11	H-03
Peso de Tara	-	65,12 g	72,13 g
Peso de Tara + M. Humeda	-	699,13 g	564,82 g
Peso de Tara + M. Seca	-	649,30 g	526,32 g
Peso de Agua	-	49,83 g	38,50 g
Peso Muestra Seca	-	584,18 g	454,19 g
Contenido de humedad W%	-	8,53 %	8,48 %
Promedio cont. Humedad W%		<b>8,50 %</b>	

**OBSERVACIONES:**

- \*muestreo realizado por el solicitante.
- \* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

  
EDWIN JAMES MEDINA ALVARAZ  
REGISTRO DE PROFESIONALES DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Panchoza Jaramoni Mamoni  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



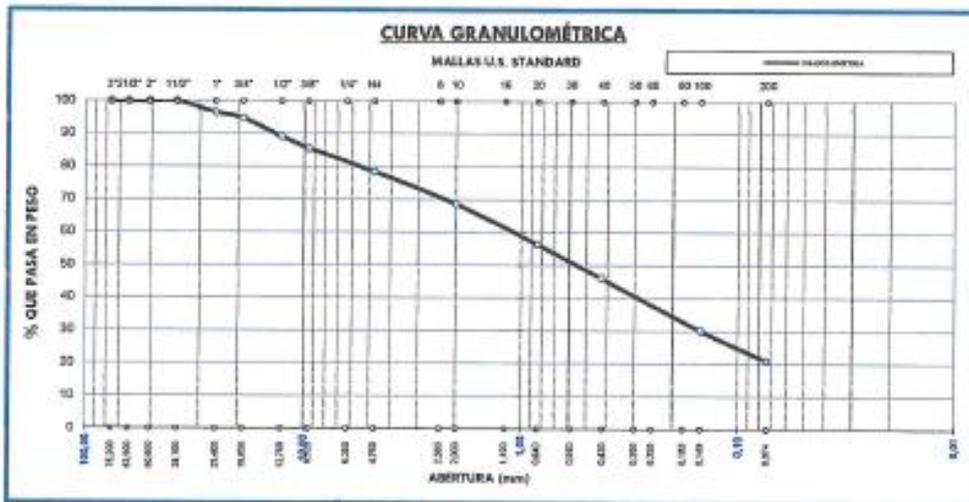
PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la cohesión y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACION : Taller de Maestrantado - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : febrero del 2023

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(ASTM D421)**

**DATOS DE LA MUESTRA:**

REFERENCIA : MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
CALICATA : Colicata A  
PROFUNDIDAD : 2,00m

Nº DE MALLAS	ABERT. DE MALL. (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76,200						Peso Inicial : 9058,00 gr
2 1/2"	63,500						<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>
2"	50,800						Límite Líquido : 37,1%
1 1/2"	38,100				100,00		Límite Plástico : 21,8%
1"	25,400	320,24	3,54	3,54	96,46		Índice Plástico : 15,3%
3/4"	19,000	166,02	1,83	5,37	94,63		<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>
1/2"	12,500	510,17	5,63	11,00	89,00		AASHTO : <b>A-26 (6)</b>
		327,96	3,62	14,62	85,38		SUCS : <b>SC</b>
3/8"	9,525						% de Grava : 21,58 %
1/4"	6,350		0,00	14,62	85,38		% de Arena : 57,51 %
Nº 4	4,750	630,15	6,96	21,58	78,42		% Pasa Nº 200 : 20,91 %
Nº 8	3,380						
Nº 8	2,380		0,00	21,58	78,42		
Nº 10	2,000	889,37	9,82	31,40	68,60		
Nº 16	1,180						
Nº 20	0,940	1108,13	12,23	43,63	56,37		
Nº 30	0,590						
Nº 40	0,425	942,60	10,41	54,04	45,96		
Nº 50	0,297						
Nº 80	0,177	1212,20	13,38	67,42	32,58		
Nº 100	0,149	221,15	2,44	69,86	30,14		
Nº 200	0,074	835,78	9,23	79,09	20,91		
-200		1884,24	20,91	100,00	0,00		



OBSERVACIONES:  
\* Análisis realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



*[Signature]*  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Rg. FOUAD PARACONDO MONTAÑA  
EPS DEL ALTIPLANO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : febrero del 2023

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
CALICATA : Calicata A  
PROFUNDIDAD: 2.00m

		LÍMITE LÍQUIDO			
# Tara		T-13	T-18	T-68	-
Peso de la Tara	(g)	20,27	17,96	17,63	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	40,62	38,40	36,71	-
T. + Suelo Seco	(g)	35,23	32,89	31,35	-
Peso del Agua	(g)	5,39	5,51	5,36	-
Suelo Seco	(g)	14,96	14,93	13,72	-
% de Humedad	(%)	36,03	36,91	38,67	-
Nro. De Golpes		38	26	17	-

		LÍMITE PLÁSTICO			
# Tara		M-72	A-8	-	-
Peso de la Tara	(g)	10,58	13,16	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	14,28	16,44	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	13,61	15,86	-	-
Peso del Agua	(g)	0,67	0,58	-	-
Suelo Seco	(g)	3,03	2,70	-	-
% de Humedad	(%)	22,1	21,5	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37,06 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 21,8 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 15,3 %



OBSERVACIONES:

\* muestra realizada por el solicitante  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante

*[Signature]*  
Dra. CELINDA WAGNER HERRERA  
TÉCNICO LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



*[Signature]*  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
MSc. Edwin James Medina Alvarez  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Teste Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACION : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : febrero del 2023

**CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
CALICATA : Calicata B  
PROFUNDIDAD: 2,00m

Item De Tara		HR-20	HR-23
Peso de Tara	-	72,36 g	70,98 g
Peso de Tara + M. Humeda	-	499,23 g	412,32 g
Peso de Tara + M. Seca	-	465,30 g	388,21 g
Peso de Agua	-	32,93 g	24,11 g
Peso Muestra Seca	-	392,94 g	317,23 g
Contenido de humedad W%	-	8,38 %	7,60 %
Promedio cont. Humedad W%		<b>7,99 %</b>	

OBSERVACIONES:

\*muestro realizado por el solicitante.

\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

DR. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO PROFESIONAL EN INGENIERIA CIVIL  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Materiales  
Msc. Edwin James Medina Alvarez  
Puno - Puno



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



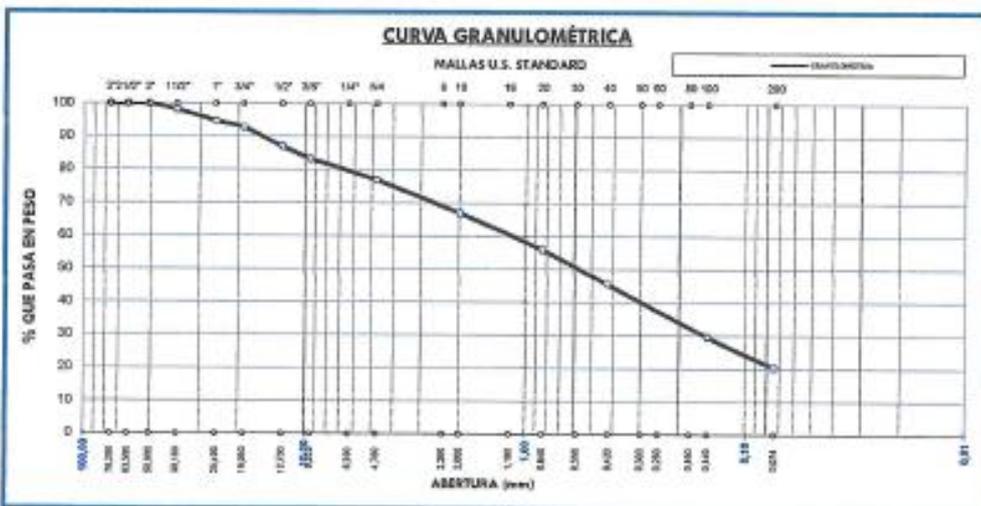
PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por pilulas de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Muestreo - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : febrero del 2023

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(ASTM D421)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
CALICATA : Caliceto B  
PROFUNDIDAD : 2,00m

Nº DE MALLAS	ABERT. DE MALL. (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76,200						Peso Inicial : 8250,00 gr
2 1/2"	63,500						<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>
2"	50,800				100,00		Límite Líquido : 30,9%
1 1/2"	38,100	148,36	1,80	1,80	98,20		Límite Plástico : 21,3%
1"	25,400	289,78	3,63	5,43	94,57		Índice Plástico : 15,6%
3/4"	19,050	160,98	1,95	7,38	92,62		<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>
1/2"	12,700	470,71	5,71	13,09	86,91		AASHTO : <b>A-3-6 (S)</b>
		306,72	3,72	16,81	83,19		SUCS : <b>SC</b>
3/8"	9,525						% de Grava : 23,22 %
1/4"	6,350		0,00	16,81	83,19		% de Arena : 56,46 %
Nº 4	4,750	528,70	6,41	23,22	76,78		% Pasa Nº 200 : 20,33 %
Nº 6	3,360						
Nº 8	2,380		0,00	23,22	76,78		
Nº 10	2,000	811,99	9,84	33,06	66,94		
Nº 16	1,190						
Nº 20	0,840	908,88	11,02	44,07	55,93		
Nº 30	0,590						
Nº 40	0,426	859,90	10,42	54,50	45,50		
Nº 60	0,250						
Nº 80	0,177	1102,54	13,36	67,86	32,14		
Nº 100	0,149	210,59	2,55	70,41	29,59		
Nº 200	0,074	763,76	9,26	79,67	20,33		
-300		1677,09	20,33	100,00	0,00		



OBSERVACIONES:

\* Muestra realizada según especificación.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
DR. DEYVID WARKER MARON MACHUCA  
COORDINADOR GENERAL DE LABORATORIOS  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATON  
Lab. Mecánica  
de Suelos y  
Mat.  
PUNO-PERU 08010

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Puntito Ponceiro Mendez  
MAGISTER  
MSc. GIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITADO** : MSc. Edwin Jareso Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestrancia - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
**FECHA** : febrero del 2023

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

**DATOS DE LA MUESTRA:**

**REFERENCIA :** MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
**CALICATA :** Calicata B  
**PROFUNDIDAD:** 2.00m

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tars	J-05	C-12	T-03	-
Peso de la Tara (g)	24,00	17,13	17,17	-
T. + Suelo Húmedo (g)	43,23	35,20	37,11	-
T. + Suelo Seco (g)	38,12	30,29	31,60	-
Peso del Agua (g)	5,11	4,91	5,51	-
Suelo Seco (g)	14,12	13,16	14,43	-
% de Humedad (%)	36,19	37,31	38,18	-
Nro. De Golpes	29	23	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tars	T-03	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26,17	13,16	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32,06	16,44	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31,53	15,86	-	-
Peso del Agua (g)	1,13	0,58	-	-
Suelo Seco (g)	5,36	2,70	-	-
% de Humedad (%)	21,1	21,5	-	-

**LÍMITE LÍQUIDO** LL = 36,83 %  
**LÍMITE PLÁSTICO** LP = 21,3 %  
**ÍNDICE DE PLASTICIDAD** IP = 15,6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\*Muestra no realizada por el solicitante.  
\*Datos de muestra no proporcionado por el solicitante.

EDWIN WAGNER MARRON WACHUCKA  
INGENIERO LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponceano Alvarado Alvarado  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"

**SOLICITADO** : MSc. Edwin James Medina Alvarez

**UBICACION** : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno,

**FECHA** : febrero del 2023

**CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)**

**DATOS DE LA MUESTRA:**

**REFERENCIA :** MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS

**CALICATA :** Calicata C

**PROFUNDIDAD:** 2,00m

Nro De Tara		H-12	H-03
Peso de Tara	-	68,12 g	67,52 g
Peso de Tara + M. Humeda	-	523,62 g	460,58 g
Peso de Tara + M. Seca	-	488,52 g	449,05 g
Peso de Agua	-	35,10 g	31,51 g
Peso Muestra Seca	-	422,40 g	381,53 g
Contenido de humedad W%	-	8,31 %	8,26 %
Promedio cont. Humedad W%		<b>8,28 %</b>	

**OBSERVACIONES:**

\* Muestreo realizado por el solicitante.

\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Pousio Paredón Mazoni Mazoni  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



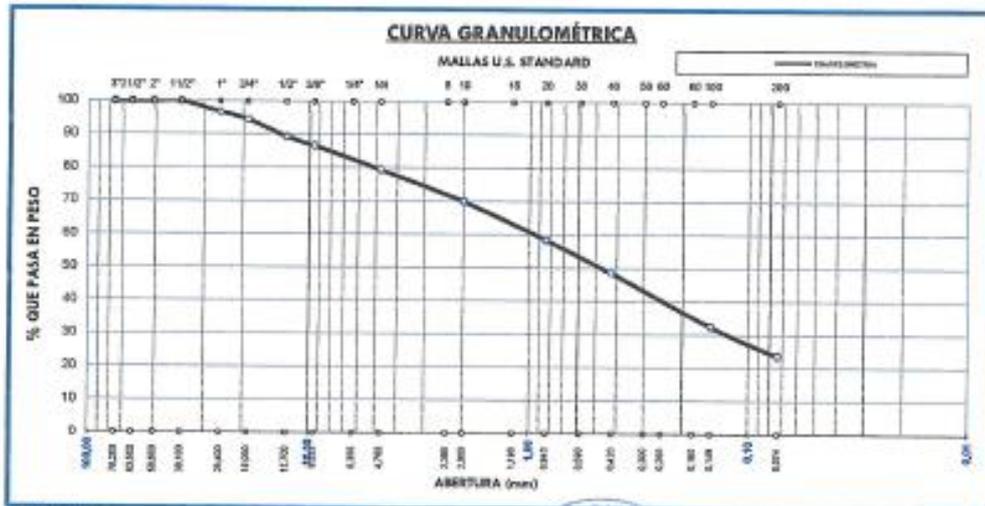
**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITADO** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACION** : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
**FECHA** : febrero del 2023

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D421)**

**DATOS DE LA MUESTRA:**

**REFERENCIA** : MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
**CALICATA** : Calicata C  
**PROFUNDIDAD** : 2,00m

Nº DE MALLAS	ABERT. DE MALL (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76,200						Peso Inicial : 10250,00 gr
2 1/2"	63,500						<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>
2"	50,800						Límite Líquido : 37,0%
1 1/2"	38,100				100,00		Límite Plástico : 20,5%
1"	25,400	350,20	3,42	3,42	96,58		Índice Plástico : 16,4%
3/4"	19,050	230,00	2,24	5,66	94,34		<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>
1/2"	12,700	532,12	5,19	10,85	89,15		AASHTO : <b>A-2-6 (1)</b>
3/8"	9,525	263,50	2,57	13,42	86,58		SUCS : <b>SC</b>
1/4"	6,350						% de Grava : 20,76 %
Nº 4	4,750	752,00	7,34	20,76	79,24		% de Arena : 55,80 %
Nº 6	3,350						% Pasa Nº 200 : 23,64 %
Nº 8	2,380						
Nº 10	2,000	951,62	9,28	30,04	69,96		
Nº 16	1,190						
Nº 20	0,840	1185,70	11,57	41,61	58,39		
Nº 30	0,590						
Nº 40	0,425	1008,58	9,84	51,45	48,55		
Nº 50	0,297						
Nº 80	0,177	1002,30	9,78	61,23	38,77		
Nº 100	0,149	656,32	6,40	67,63	32,37		
Nº 200	0,074	894,29	8,72	76,36	23,64		
-200		2423,37	23,64	100,00	0,00		



**OBSERVACIONES:**

\*Muestras realizadas por el solicitante.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Ing. DELVIR HUANCAHUANCA  
Ingeniero en Mecánica de Suelos y Materiales  
EPIC - LINAP



*[Signature]*  
Ing. Gustavo Ponce  
Ingeniero en Mecánica de Suelos y Materiales  
MPE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITADO** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACION** : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
**FECHA** : febrero del 2023.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

**DATOS DE LA MUESTRA:**

**REFERENCIA :** MUESTRA - CLASIFICACION DE SUCS  
**CALICATA :** Celicata C  
**PROFUNDIDAD:** 2.00m

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-16	T-18	T-19	-
Peso de la Tara (g)	17,98	17,80	18,10	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37,69	37,04	37,49	-
T. + Suelo Seco (g)	32,44	31,77	32,18	-
Peso del Agua (g)	5,25	5,27	5,33	-
Suelo Seco (g)	14,46	14,17	14,06	-
% de Humedad (%)	36,31	37,19	37,91	-
Nro. De Golpes	29	23	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	A-2	-	-
Peso de la Tara (g)	26,17	19,60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32,86	26,54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31,53	25,38	-	-
Peso del Agua (g)	1,13	1,16	-	-
Suelo Seco (g)	5,36	5,78	-	-
% de Humedad (%)	21,0	20,1	-	-

**LÍMITE LÍQUIDO** L.L. = 36,96 %  
**LÍMITE PLÁSTICO** L.P. = 20,5 %  
**ÍNDICE DE PLASTICIDAD** I.P. = 16,4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**  
\* Incestro realizado por el solicitante.  
\* Datos de ensayo proporcionados por el solicitante.

*[Firma]*  
EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO PROFESIONAL DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

*[Firma]*  
Ing. Fausto Paredón Almonacid  
SRE D.G. LABORATORIO

## Anexo 5. Resultados de los ensayos de consistencia para los diversos tratamientos con contenido de petróleo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 04-05-23

### LÍMITES DE CONSISTENCIA (LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Especimen Y111  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.50 : Tratamiento 0% de Diesel DB-5 S-50 UV

#### LÍMITE LÍQUIDO

# Tora	T-13	T-10	T-08	-
Peso de la Tora (g)	20.27	17.96	17.03	-
T. + Suelo Húmedo (g)	40.62	38.40	36.71	-
T. + Suelo Seco (g)	35.23	32.89	31.35	-
Peso del Agua (g)	5.39	5.51	5.36	-
Suelo Seco (g)	14.96	14.93	13.72	-
% de Humedad (%)	36.03	36.91	39.07	-
Nro. De Golpes	30	25	16	-

#### LÍMITE PLÁSTICO

# Tora	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tora (g)	20.17	19.90	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	28.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.78	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.93 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.21 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.7 %

#### GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el docente.

\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - C  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fournier Paredes Moyano Alvarado  
ARE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 04-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espáccimen Y211  
CALICATA : Calicata A  
BS 550: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 8-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

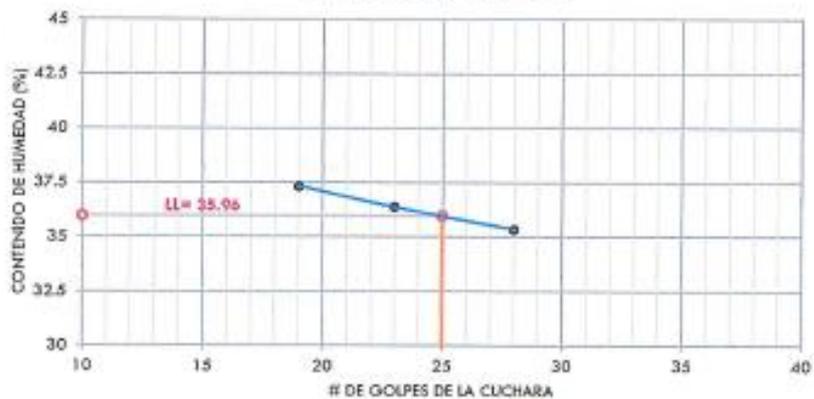
# Tars		C-01	T-26	T-06	-
Peso de la Tara	(g)	24.13	20.76	17.60	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	43.66	38.79	36.39	-
T. + Suelo Seco	(g)	36.96	33.96	32.74	-
Peso del Agua	(g)	5.10	4.81	5.65	-
Suelo Seco	(g)	14.43	13.22	15.14	-
% de Humedad	(%)	35.34	36.36	37.32	-
Nro. De Golpes		28	23	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tars		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.96 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 24.05 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP = 11.9 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Inuestrio realizado por el solicitante  
\* Datos de nuestro laboratorio de pruebas de laboratorio

Ing. PETRO WAGNER ANDRÉS MACUCCI  
SECRETARÍA GENERAL DE SERVICIOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Ponce Ponce Wilson Alvarado  
INPE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 05-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y311  
CALICATA : Calicata A  
OS 5.90: Tratamiento 2% de Diésel DB-S S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

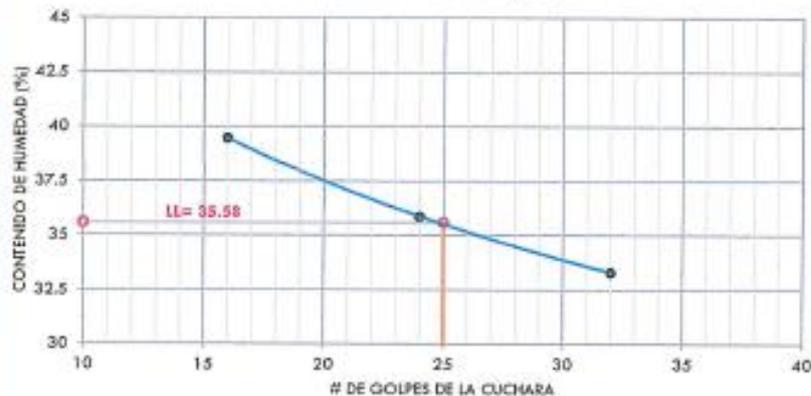
# Tara		T-03	T-17	T-10	-
Peso de la Tara	(g)	18.10	17.67	17.28	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	36.63	37.56	36.43	-
T. + Suelo Seco	(g)	32.00	32.31	31.01	-
Peso del Agua	(g)	4.63	5.25	5.42	-
Suelo Seco	(g)	13.90	14.64	13.73	-
% de Humedad	(%)	33.31	35.86	39.48	-
Nro. De Golpes		32	24	16	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JN-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.30	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.58 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.73 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.8 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\*muestras retiradas por el solicitante.  
\* Datos de muestra no proceden de la calicata

Edwin James Medina Alvarez  
Ingeniero Civil  
EPG - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Flavio Pandovala Montoya Alvarado  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 05-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y411  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.50: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-21	C-09	C-02	-
Peso de la Tara (g)	20.59	23.69	24.48	-
T. + Suelo Húmedo (g)	41.18	44.04	43.49	-
T. + Suelo Seco (g)	35.65	38.67	38.25	-
Peso del Agua (g)	5.32	5.37	5.24	-
Suelo Seco (g)	15.27	14.98	13.79	-
% de Humedad (%)	34.84	35.85	38.00	-
Nro. De Golpes	31	25	96	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	J4-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.65	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.90	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.88 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 24.81 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.1 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Tratamiento realizado por el solicitante.

\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

Dr. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Paolo Pandoza Nolasco Morón  
IPE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 18-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y511  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.50: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

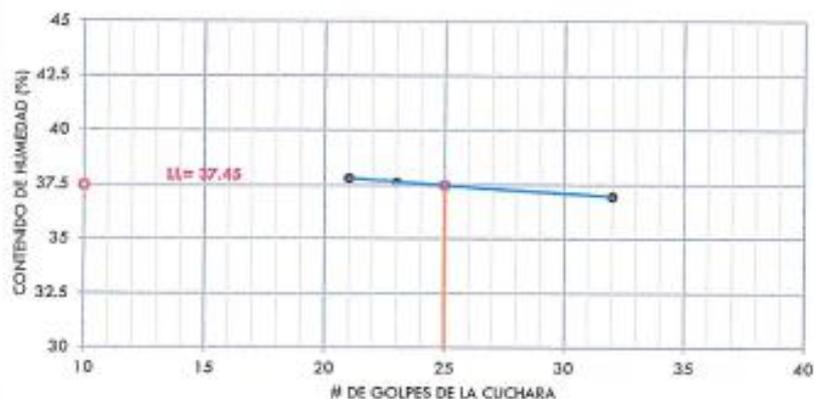
# Tara		C-10	T-17	J-08	-
Peso de la Tara	(g)	17.13	24.13	17.81	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	35.40	42.65	35.30	-
T. + Suelo Seco	(g)	30.47	37.59	30.57	-
Peso del Agua	(g)	4.93	5.06	4.82	-
Suelo Seco	(g)	13.34	13.46	12.76	-
% de Humedad	(%)	36.96	37.59	37.77	-
Nro. De Golpes		32	23	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.35	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.45 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 26.97 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 10.5 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\*Instituto realizado por el solicitante

\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

Dr. Edwin James Medina Alvarez  
MAGISTER EN INGENIERÍA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
INSTITUTO DE INGENIERÍA DE SUELOS Y MATERIALES  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Edwin James Medina Alvarez  
MAGISTER EN INGENIERÍA DE SUELOS Y MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"

SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez

UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.

FECHA : 18-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espéclimen Y112

CALICATA : Calicata A

BS 5.50 : Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 LV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-02	T-04	C-05	-
Peso de la Tara	(g)	17.14	17.34	17.45	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	35.51	38.20	34.46	-
T. + Suelo Seco	(g)	30.62	32.61	29.78	-
Peso del Agua	(g)	4.89	5.67	4.68	-
Suelo Seco	(g)	13.48	15.27	12.33	-
% de Humedad	(%)	36.28	37.13	37.86	-
Nro. De Golpes		30	25	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

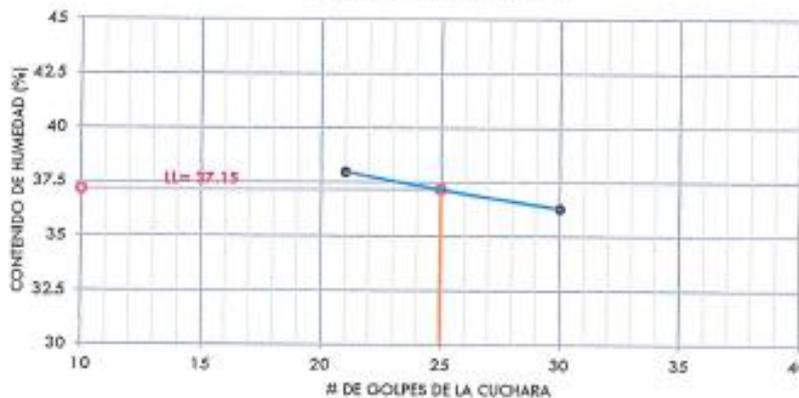
# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.65	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 37.15 %

LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.52 %

ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

Tratamiento realizado por el solicitante

\* Datos de ensayo reproducidos por el solicitante

Edwin James Medina Alvarez  
INGENIERO CIVIL  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Pamela Paucotero Velásquez Alvarado  
18/05/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 19-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA: Repetición 2, Espécimen Y212  
CALICATA: Calicata A  
BS 5.58: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-05	J-07	J-03	-
Peso de la Tara (g)	17.70	18.10	17.15	-
T. + Suelo Húmedo (g)	35.23	35.78	35.09	-
T. + Suelo Seco (g)	30.72	31.14	30.24	-
Peso del Agua (g)	4.51	4.64	4.85	-
Suelo Seco (g)	12.94	13.04	13.09	-
% de Humedad (%)	34.85	35.58	37.05	-
Nro. De Golpes	29	26	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	20.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.62 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.08 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.5 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Tránsito realizado por el solicitante.

\* Datos de muestra proporcionalizados.

*[Signature]*  
Dra. DEYANARA VARGAS MARRÓN MARCHACA  
COORDINADORA GENERAL DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



*[Signature]*  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. PORCIRIO FLORES VARGAS  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 19-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y312  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.50: Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-11	J-04	C-04	-
Peso de la Tara	(g)	18.10	21.01	18.51	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	38.40	37.09	38.05	-
T. + Suelo Seco	(g)	33.30	33.40	32.64	-
Peso del Agua	(g)	5.10	4.49	5.42	-
Suelo Seco	(g)	15.20	12.39	14.13	-
% de Humedad	(%)	33.55	36.24	38.36	-
Nro. De Golpes		31	25	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-08	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	28.17	19.80	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.56	28.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.55 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 23.67 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.9 %



OBSERVACIONES:  
\* muestra recibida por el solicitante  
\* Datos de resultados proporcionados por el solicitante  
*Edwin James Medina Alvarez*  
Ing. Edwin James Medina Alvarez  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
*Edwin James Medina Alvarez*  
Ing. Edwin James Medina Alvarez  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y412  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.50: Tratamiento 4% de Dióxido DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

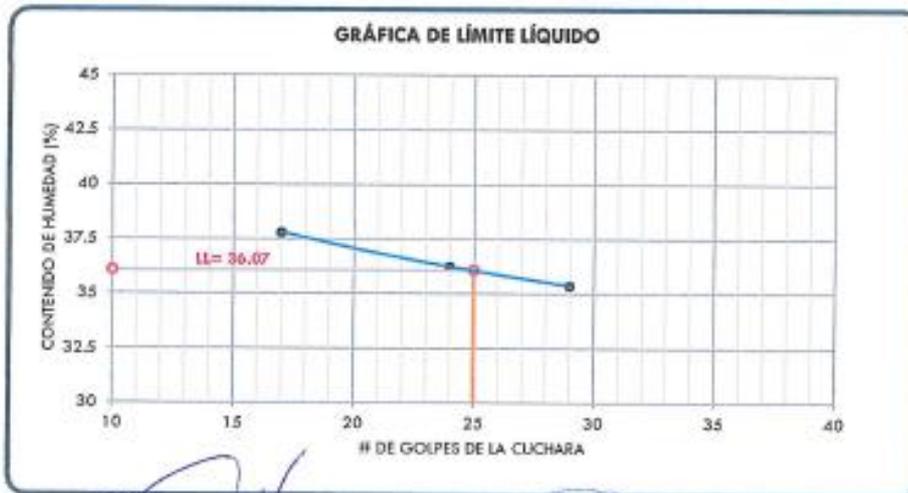
# Tara	T-09	T-03	T-20	-
Peso de la Tara (g)	23.62	18.10	20.86	-
T. + Suelo Húmedo (g)	41.57	35.41	38.47	-
T. + Suelo Seco (g)	38.88	31.54	33.64	-
Peso del Agua (g)	4.89	4.87	4.83	-
Suelo Seco (g)	13.26	13.44	12.78	-
% de Humedad (%)	35.37	36.24	37.79	-
Nro. De Golpes	29	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.88	28.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	6.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.07 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 24.80 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.3 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestra realizada por el solicitante.  
\* Dado el estado de conservación de la muestra.  
Bach. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Materiales  
Msc. FROILAN POLO MORALES MORALES  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y512  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.58: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-01	T-23	C-04	-
Peso de la Tara	(g)	20.74	20.59	17.36	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	41.26	40.60	30.31	-
T. + Suelo Seco	(g)	35.73	35.19	32.61	-
Peso del Agua	(g)	5.53	5.41	5.70	-
Suelo Seco	(g)	14.99	14.60	15.23	-
% de Humedad	(%)	36.89	37.03	37.43	-
Nro. De Golpes		28	25	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.09 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 26.67 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 10.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Inuestro realizado por el solicitante  
\* Datos de saneamiento proporcionados por el solicitante  
Edwin James Medina Alvarez  
BOSQUE DE MAESTRANZA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fco. Pineda  
BOSQUE DE MAESTRANZA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espólmán Y113  
CALICATA : Calicata A  
BS 550: Tratamiento 0% de Diesel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-09	J-01	T-17	-
Peso de la Tara (g)	20.66	17.60	20.66	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.73	37.73	39.65	-
T. + Suelo Seco (g)	33.26	32.26	34.47	-
Peso del Agua (g)	4.47	5.47	5.36	-
Suelo Seco (g)	12.40	14.66	13.79	-
% de Humedad (%)	36.05	37.31	39.01	-
Nro. De Golpes	31	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 37.14 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 23.98 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 13.2 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de ensayo obtenidos por el laboratorio.  
Bach. DENYMO WAGNER MARDON HUACHACA  
TÉRMINO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fivuelo Pascoza Mariani Mamani  
RPE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y213  
CALCATA : Calcata A  
Bs 55e: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

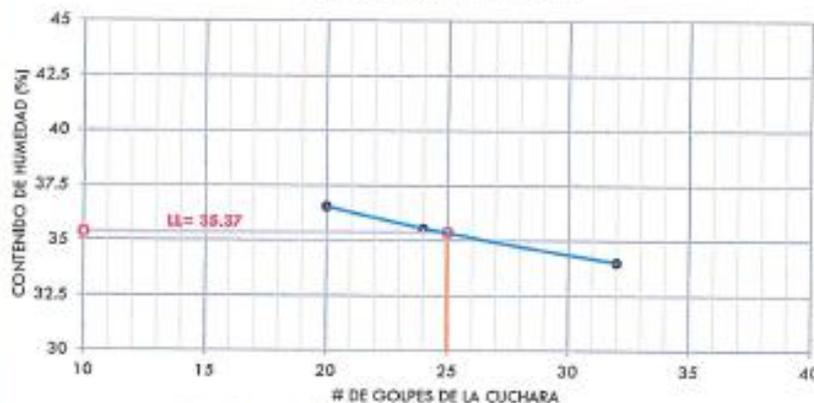
# Tara	C-04	T-02	J-01	-
Peso de la Tara (g)	20.66	18.57	17.41	-
T. + Suelo Húmedo (g)	39.65	36.84	35.99	-
T. + Suelo Seco (g)	34.68	32.05	31.75	-
Peso del Agua (g)	4.77	4.79	5.24	-
Suelo Seco (g)	14.02	13.48	14.34	-
% de Humedad (%)	34.02	35.53	36.54	-
Nro. De Golpes	32	24	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L = 35.37 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P = 24.02 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Inicialmente realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestra no propuestos para la clasificación.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Msc. Edwin James Medina Alvarez  
MPE DO 1431740310



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y313  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.5e: Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-09	C-03	J-03	-
Peso de la Tara	(g)	20.74	20.01	17.94	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	39.28	36.84	38.16	-
T. + Suelo Seco	(g)	34.60	32.35	32.66	-
Peso del Agua	(g)	4.68	4.49	5.48	-
Suelo Seco	(g)	13.85	12.34	14.74	-
% de Humedad	(%)	33.77	36.39	37.18	-
Nro. De Golpes		31	23	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.72 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 23.29 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:  
\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo obtenidos por el solicitante.  
Dra. SCHEIDTNER MARCO VACHACA  
Técnica de Laboratorio de Suelos - Altiplano  
EPIC - LINAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Polanco Villanueva Mantilla  
EPS DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y413  
CALICATA : Calicata A  
BS 6.50 : Tratamiento 4% de Diésel D8-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

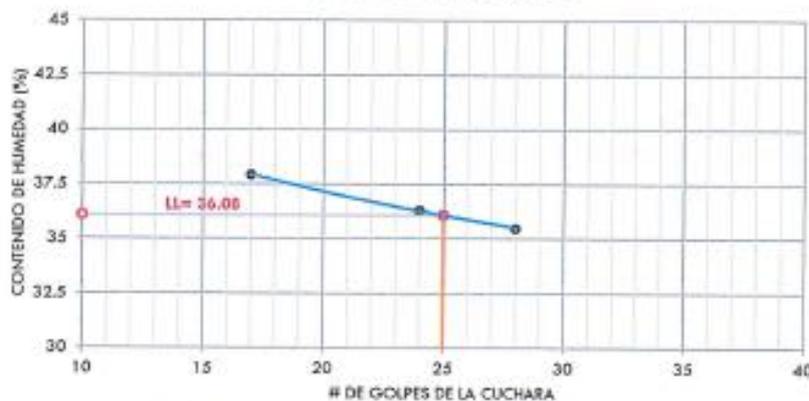
# Tara	T-24	C-01	C-08	-
Peso de la Tara (g)	21.01	17.28	24.31	-
T + Suelo Húmedo (g)	40.71	36.47	41.77	-
T + Suelo Seco (g)	35.55	31.36	35.97	-
Peso del Agua (g)	5.16	5.11	4.80	-
Suelo Seco (g)	14.54	14.08	12.66	-
% de Humedad (%)	35.49	36.29	37.91	-
Nro. De Golpes	28	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T + Suelo Húmedo (g)	32.65	26.54	-	-
T + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.08 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.32 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.8 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Muestra realizada por el solicitante.  
\* Datos de muestra obtenidos del solicitante.  
Dr. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TECNICO LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Flavio Pascasio Montalvo  
IFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Especimen Y513  
CALICATA : Calicata A  
BS 550: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Taza		T-05	T-19	T-25	-
Peso de la Taza	(g)	20.27	17.45	17.81	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	39.64	36.94	35.11	-
T. + Suelo Seco	(g)	34.36	31.59	30.34	-
Peso del Agua	(g)	5.28	5.35	4.77	-
Suelo Seco	(g)	14.09	14.14	12.53	-
% de Humedad	(%)	37.47	37.84	38.07	-
Nro. De Golpes		28	23	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Taza		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Taza	(g)	26.17	19.80	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.38	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO                    LL = 37.68 %  
LÍMITE PLÁSTICO                LL = 26.41 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD        I.P. = 11.3 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

Edic. DEYWD WAGNER MIPACON MACHUCA  
TIPOLOGO DE LABORATORIO REDINVA DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Flavio Pericón Torresi Momeni  
ARE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 20-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espéclimen Y114  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.99: Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

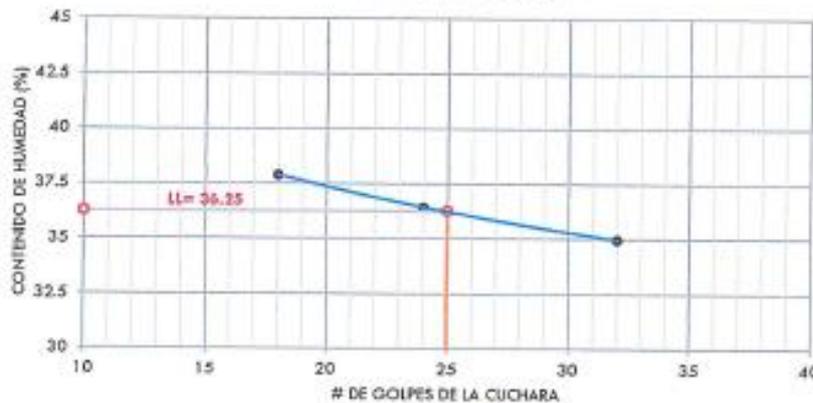
# Tara	C-10	T-09	T-16	-
Peso de la Tara (g)	20.01	18.57	17.67	-
T. + Suelo Húmedo (g)	40.62	36.44	36.25	-
T. + Suelo Seco (g)	36.28	31.67	30.42	-
Peso del Agua (g)	5.34	4.77	4.83	-
Suelo Seco (g)	15.27	13.10	12.75	-
% de Humedad (%)	34.97	36.41	37.88	-
Nro. De Golpes	32	24	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.99	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.25 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.38 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.9 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante.  
\* Datos de tránsito proporcionados por el solicitante.

Dr. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TITULAR DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPG - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Dr. Faustino Ponceano Alvarado Alvarado  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACION : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 25-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y214  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.98: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-01	T-16	J-08	-
Peso de la Tara	(g)	18.10	17.63	18.10	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	35.09	35.95	35.13	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.43	31.11	31.18	-
Peso del Agua	(g)	4.66	4.84	4.95	-
Suelo Seco	(g)	13.33	13.48	13.08	-
% de Humedad	(%)	34.96	35.91	37.84	-
Nro. De Golpes		30	25	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	28.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.91 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 24.11 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.8 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* ensayo realizado por el solicitante  
\* Datos de muestra en concordancia con el solicitante

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TÉCNICO DEL LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Francisco Mariano Mamani  
25 DE MAYO DEL 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 25-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Especimen Y314  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.58 : Tratamiento 2% de Diésel DB-5 8-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-11	C-05	T-09	-
Peso de la Tara (g)	17.41	19.82	17.63	-
T. + Suelo Húmedo (g)	35.68	37.39	36.83	-
T. + Suelo Seco (g)	31.09	32.79	31.40	-
Peso del Agua (g)	4.59	4.60	5.43	-
Suelo Seco (g)	13.68	12.97	13.77	-
% de Humedad (%)	33.55	35.47	39.43	-
Nro. De Golpes	31	25	16	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.51 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.46 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP = 12.0 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:  
\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo por el laboratorio de suelos y materiales.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TITULO DE LABORADOR PROVINCIA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Flavio Posada Medina Alvarado  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 26-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repelición 4, Espécimen Y414  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.50: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

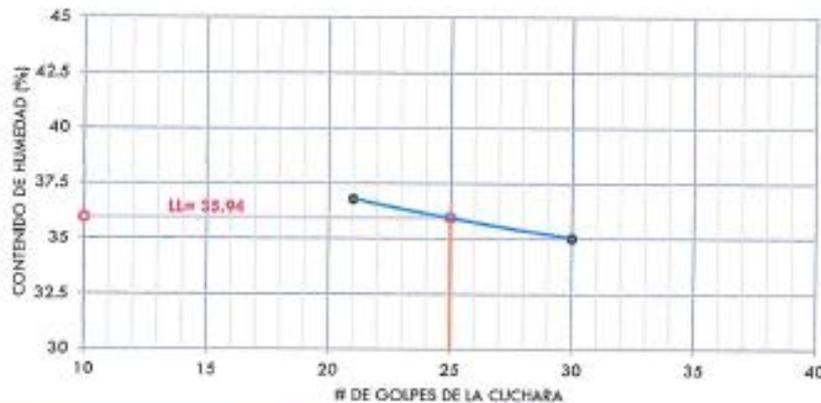
# Tara		C-02	C-12	C-03	-
Peso de la Tara	(g)	17.63	24.00	17.46	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	35.71	44.51	34.93	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.02	39.09	30.24	-
Peso del Agua	(g)	4.69	5.42	4.69	-
Suelo Seco	(g)	13.39	15.09	12.75	-
% de Humedad	(%)	35.03	35.92	36.78	-
Nro. De Golpes		30	25	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.30	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.35	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.94 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 24.42 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.5 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

- \* Muestreo realizado por el solicitante
- \* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante

Bach. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TÉCNICO DE LABORATORIO TÉCNICO DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Dr. Froylán Ponciano Maturín Almaraz  
26/05/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 26-05-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y514  
CALICATA : Calicata A  
BS 5.9: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 LV

**LÍMITE LÍQUIDO**

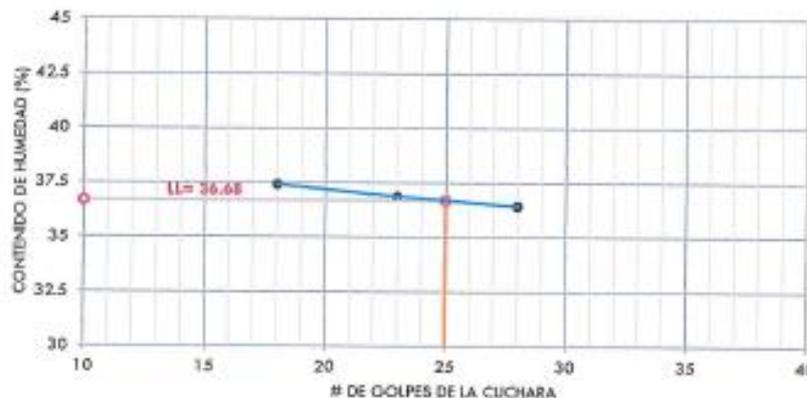
# Tara	T-03	T-09	T-15	-
Peso de la Tara (g)	18.10	20.27	20.85	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.39	41.03	41.90	-
T. + Suelo Seco (g)	32.24	35.44	35.59	-
Peso del Agua (g)	5.15	5.59	5.51	-
Suelo Seco (g)	14.14	15.17	14.73	-
% de Humedad (%)	36.42	36.85	37.41	-
Nro. De Golpes	28	23	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	25.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.55	25.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.35	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.68 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 28.41 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 10.3 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TALLER DE MAESTRANZA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Pavoito Parediano Marín Mamani  
SITE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 15-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espécimen Y121  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50: Tratamiento 0% de Diesel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

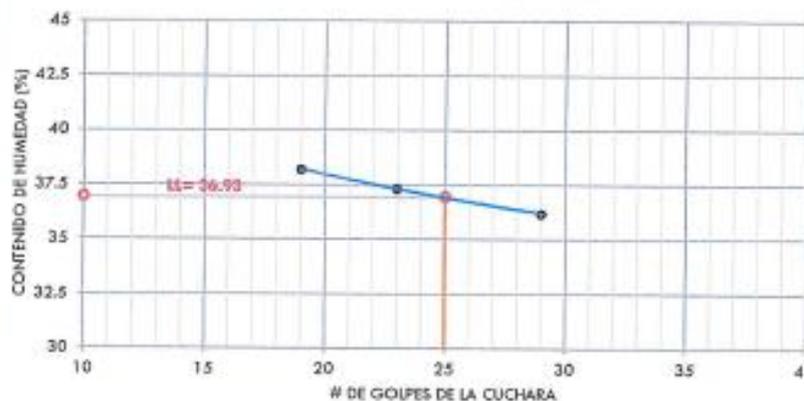
# Tars	J-95	C-12	T-43	-
Peso de la Tara (g)	24.00	17.13	17.17	-
T. + Suelo Húmedo (g)	43.23	36.20	37.11	-
T. + Suelo Seco (g)	38.12	30.29	31.60	-
Peso del Agua (g)	5.11	4.91	5.51	-
Suelo Seco (g)	14.12	13.16	14.43	-
% de Humedad (%)	36.19	37.31	38.16	-
Nro. De Golpes	29	25	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tars	T-49	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	28.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	20.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.93 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.26 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP = 12.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestras realizadas por el estudiante.  
\* Datos de ensayos proporcionados por el estudiante.

Dr. DEYVID WAGNER MARRÓN MACHACA  
TITULAR DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponciano Morales  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 15-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espéimen Y221  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50: Tratamiento 1% de Diésel D9-5 9-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-08	C-04	J-03	-
Peso de la Tara	(g)	20.68	17.48	20.86	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	38.74	36.44	38.82	-
T. + Suelo Seco	(g)	34.06	31.42	33.88	-
Peso del Agua	(g)	4.68	5.02	4.94	-
Suelo Seco	(g)	13.38	13.97	13.02	-
% de Humedad	(%)	34.98	35.93	37.94	-
Nro. De Golpes		30	25	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.95 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.60 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.3 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Resultado obtenido por el método  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante

EDUARDO WAGNER BARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - LINAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Faviro Ponce de Monzó Álvarez  
MSc. COORDINADOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 15-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y321  
CALICATA : Calicata B  
BS 6.50 : Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-60 LV

**LÍMITE LÍQUIDO**

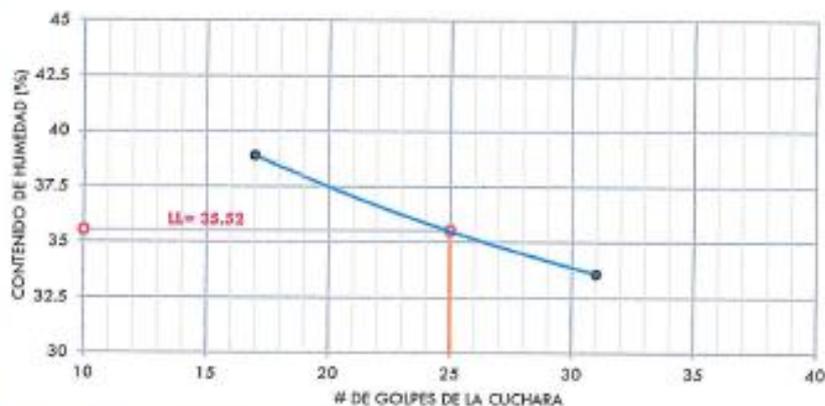
# Tara	C-00	C-08	T-08	-
Peso de la Tara (g)	20.68	17.00	17.94	-
T. + Suelo Húmedo (g)	40.49	35.05	38.88	-
T. + Suelo Seco (g)	35.51	30.48	33.00	-
Peso del Agua (g)	4.98	4.57	5.88	-
Suelo Seco (g)	14.83	12.88	15.06	-
% de Humedad (%)	33.58	35.48	38.91	-
Nro. De Golpes	31	25	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	28.17	19.80	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.68	28.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.78	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.52 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 23.51 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP = 12.0 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:  
\*muestras realizadas por el solicitante.  
\* Datos de laboratorio en concordancia con el solicitante.  
ING. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fourné Pomaño Alvarado  
20% DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 15-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y421  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

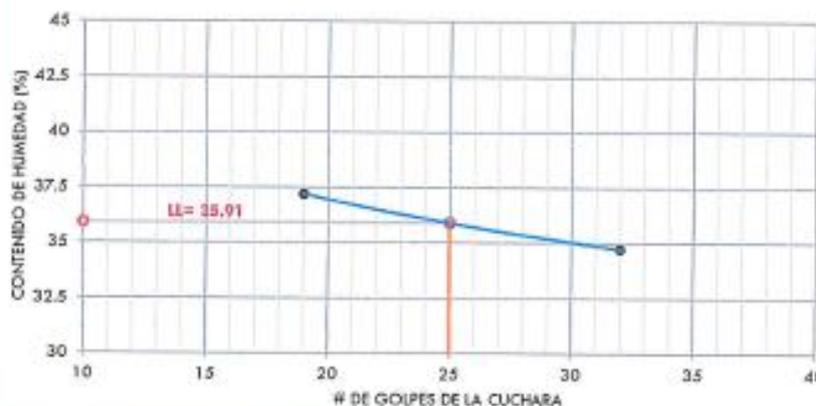
# Tara	T-04	T-21	T-22	-
Peso de la Tara (g)	20.01	20.62	17.52	-
T. + Suelo Húmedo (g)	38.18	38.40	37.22	-
T. + Suelo Seco (g)	33.48	33.70	31.88	-
Peso del Agua (g)	4.68	4.70	5.34	-
Suelo Seco (g)	13.47	13.11	14.36	-
% de Humedad (%)	34.74	35.85	37.19	-
Nro. De Golpes	32	25	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.91 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.64 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD LP = 11.3 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

- \* Inventario registrado por el solicitante.
- \* Datos de muestra en condiciones de laboratorio.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO EN MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - LINAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Frayso Porcino Maza Maza  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 16-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA: Repetición 5, Espécimen Y521  
CALICATA: Calicata B  
MS 5.50: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

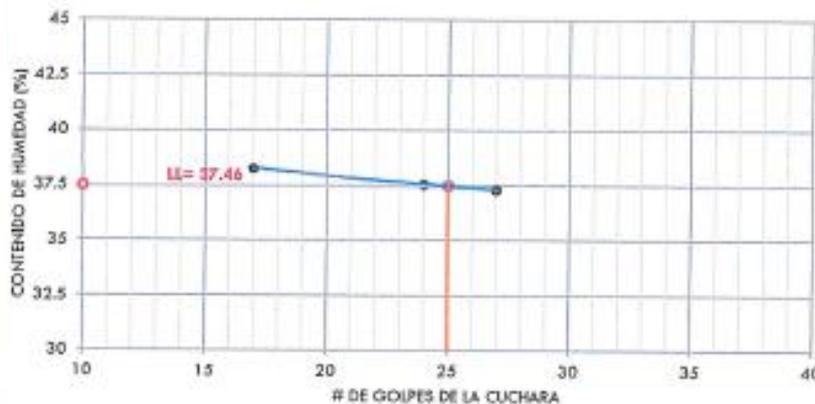
# Tara	J-05	T-11	T-01	-
Peso de la Tara (g)	18.10	20.90	17.34	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.72	37.25	37.22	-
T. + Suelo Seco (g)	32.39	32.57	31.72	-
Peso del Agua (g)	5.33	4.68	5.50	-
Suelo Seco (g)	14.29	12.47	14.38	-
% de Humedad (%)	37.30	37.53	38.25	-
Nro. De Golpes	27	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-08	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.65	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 37.46 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 26.68 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 10.8 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante.  
\* Datos de humedad proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fátima Patricia Rodríguez Alvarado  
IDE DEL ALTIPLANO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 16-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espécimen Y122  
CALICATA : Calcata B  
BS 5.50: Tratamiento 0% de Diesel D8-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

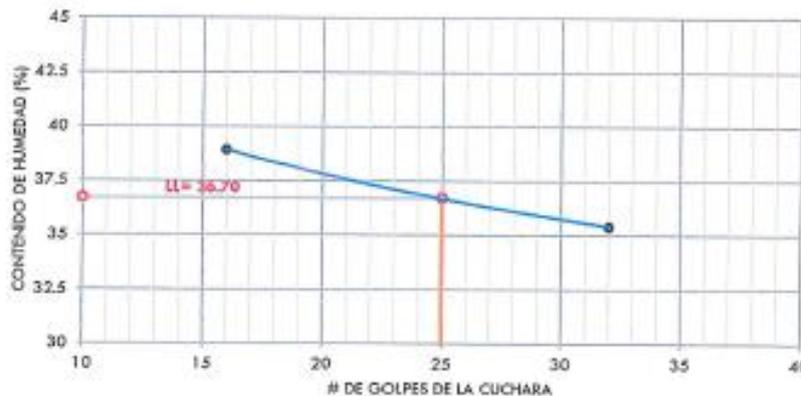
# Tara		C-07	C-02	C-00	-
Peso de la Tara	(g)	19.89	17.34	18.10	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	39.36	38.06	36.98	-
T. + Suelo Seco	(g)	34.26	32.50	31.60	-
Peso del Agua	(g)	5.10	5.56	5.29	-
Suelo Seco	(g)	14.40	15.16	13.50	-
% de Humedad	(%)	35.42	36.68	38.93	-
Nro. De Golpes		32	25	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.88	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.30	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.70 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.54 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.2 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Análisis realizado por el solicitante.

\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
INGENIERO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Paredes Alvarado  
ANEP - MECANICISTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 22-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y222  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50 : Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UN

**LÍMITE LÍQUIDO**

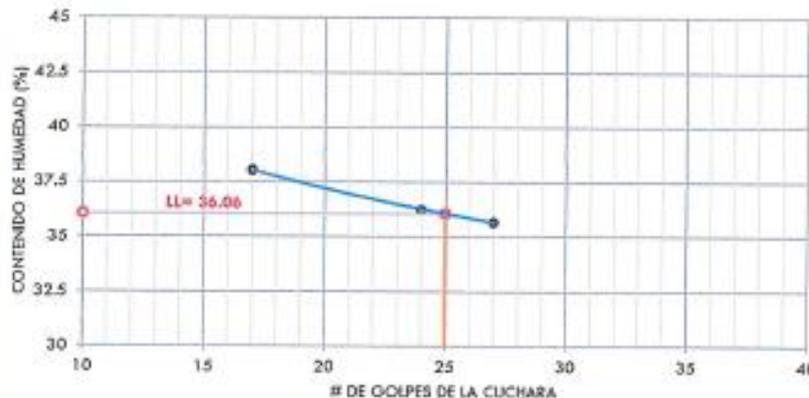
# Tara	T-10	J-02	C-08	-
Peso de la Tara (g)	17.67	18.10	17.13	-
T. + Suelo Húmedo (g)	35.09	38.50	34.59	-
T. + Suelo Seco (g)	30.51	33.14	29.70	-
Peso del Agua (g)	4.58	5.45	4.81	-
Suelo Seco (g)	12.84	15.04	12.65	-
% de Humedad (%)	35.67	36.24	38.02	-
Nro. De Golpes	27	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.05	28.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.30	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.06 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.90 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.2 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

Edwin DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TITULAR DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Edwin James Medina Álvarez  
Puno, 22 de Junio del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 22-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y322  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.90 : Tratamiento 2% de Diésel DB-5 9-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	C-04	T-14	J-09	-
Peso de la Tara (g)	17.45	24.13	24.13	-
T. + Suelo Húmedo (g)	34.96	42.44	44.43	-
T. + Suelo Seco (g)	30.50	37.64	38.08	-
Peso del Agua (g)	4.46	4.80	5.45	-
Suelo Seco (g)	13.05	13.51	14.85	-
% de Humedad (%)	34.18	35.53	36.70	-
Nro. De Golpes	28	24	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.19 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 23.25 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.9 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* muestra realizada por el solicitante  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante

*Edwin James Medina Alvarez*  
MSc. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO EN MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Froylan Ponce de León  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 22-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y422  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.56: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-04	T-24	J-03	-
Peso de la Tara (g)	23.73	20.10	17.17	-
T. + Suelo Húmedo (g)	42.84	40.66	38.62	-
T. + Suelo Seco (g)	37.86	35.19	31.29	-
Peso del Agua (g)	4.98	5.47	5.33	-
Suelo Seco (g)	14.13	15.09	14.12	-
% de Humedad (%)	35.24	36.25	37.75	-
Nro. De Golpes	31	25	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.80	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.06	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO            LL = 36.26 %  
LÍMITE PLÁSTICO        LL = 24.66 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD    IP = 11.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante  
\* Datos de maestro proporcionados por el solicitante

Edwin James Medina Álvarez  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Privilegio Ponciano Aguilar (Máster)  
2023-06-23 1:56:00 PM



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 22-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y522  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50 : Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

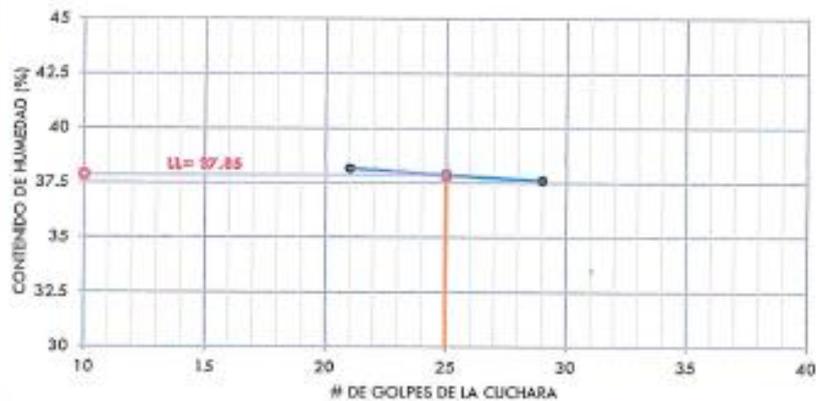
# Tara	T-12	T-13	C-01	-
Peso de la Tara (g)	17.17	23.11	17.81	-
T. + Suelo Húmedo (g)	34.55	40.85	38.30	-
T. + Suelo Seco (g)	29.80	35.99	32.64	-
Peso del Agua (g)	4.75	4.87	5.66	-
Suelo Seco (g)	12.63	12.88	14.83	-
% de Humedad (%)	37.61	37.81	38.17	-
Nro. De Golpes	29	25	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.68	26.04	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.65	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.85 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 25.48 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Análisis realizado por el solicitante

\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TECNICO DE LABORATORIO REGIONAL DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Favato Pascual Antonio Martínez Álvarez  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 23-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Especimen Y123  
CALICATA : Calicata B  
BB 5.50: Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 LV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-15	T-18	T-19	-
Peso de la Tara (g)	17.95	17.60	18.30	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.69	37.04	37.49	-
T. + Suelo Seco (g)	32.44	31.77	32.16	-
Peso del Agua (g)	5.25	5.27	5.33	-
Suelo Seco (g)	14.46	14.17	14.06	-
% de Humedad (%)	36.31	37.19	37.91	-
Nro. De Golpes	28	23	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.84 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.93 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.9 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de ensayo proporcionados por el solicitante.

RODOLFO YACKER MARRON MACHUCA  
INGENIERO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Flavio Paredón Moreno Maestranza  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"

SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez

UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.

FECHA : 23-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y223

CALICATA : Calicata B

BS 5.50: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tora		T-02	T-12	J-01	-
Peso de la Tora	(g)	20.27	20.27	20.86	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	37.44	38.90	41.08	-
T. + Suelo Seco	(g)	33.03	34.01	35.65	-
Peso del Agua	(g)	4.41	4.87	5.43	-
Suelo Seco	(g)	12.76	13.74	14.79	-
% de Humedad	(%)	34.56	36.17	36.71	-
Nro. De Golpes		31	23	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tora		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tora	(g)	26.17	19.00	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.78 %

LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 23.84 %

ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.9 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Incentivo relacionado por el cumplimiento de los requisitos de la norma.

\* Datos de la muestra obtenidos directamente del laboratorio.

Dr. Edwin James Medina Alvarez  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Fausto Pantoja Mantari Maza  
Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 23-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y323  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.90 : Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-60 LV

**LÍMITE LÍQUIDO**

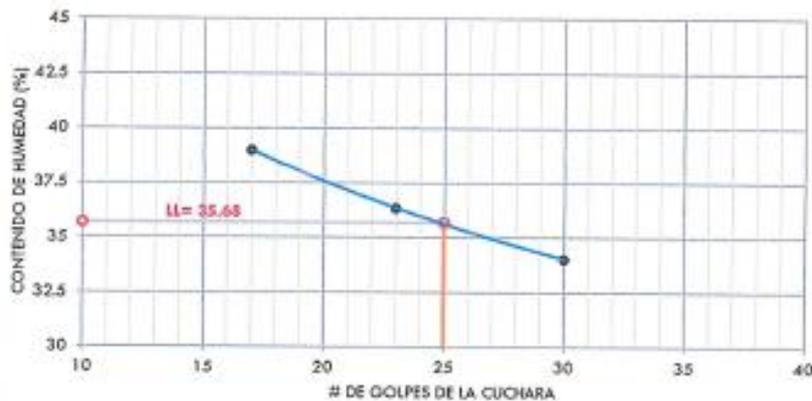
# Tara	C-08	C-02	T-14	-
Peso de la Tara (g)	17.34	17.14	17.13	-
T. + Suelo Húmedo (g)	36.56	37.48	34.81	-
T. + Suelo Seco (g)	31.68	32.06	29.65	-
Peso del Agua (g)	4.88	5.42	4.96	-
Suelo Seco (g)	14.34	14.92	12.72	-
% de Humedad (%)	34.03	36.33	38.99	-
Nro. De Golpes	30	23	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.65	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.63	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.68 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 23.33 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Análisis realizado por el solicitante.  
\* Datos de ensayo proporcionados por el solicitante.

EDUC. DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE SUELOS Y MATERIALES  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Fouso Portocarrero Nelson Mamani  
EPIC DE LA PUNO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 23-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y423  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.00: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 9-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tars		T-11	C-06	C-09	-
Peso de la Tara	(g)	18.03	17.28	18.10	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	38.58	35.67	37.57	-
T. + Suelo Seco	(g)	33.20	30.77	32.22	-
Peso del Agua	(g)	5.38	4.90	5.35	-
Suelo Seco	(g)	15.17	13.49	14.12	-
% de Humedad	(%)	35.33	36.32	37.89	-
Nro. De Golpes		30	26	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tars		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	25.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.17 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 24.21 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.0 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

Edm. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TÉCNICO LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Mg. FOSCO FERRER MAMANI MAMANI  
INGENIERO CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 24-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y523  
CALICATA : Calicata B  
BG 5.50: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	C-07	T-09	T-08	-
Peso de la Tara (g)	17.63	17.41	17.17	-
T. + Suelo Húmedo (g)	38.25	35.93	36.42	-
T. + Suelo Seco (g)	32.75	30.94	30.95	-
Peso del Agua (g)	5.50	4.99	5.17	-
Suelo Seco (g)	15.12	13.53	13.78	-
% de Humedad (%)	36.38	36.88	37.52	-
Nro. De Golpes	32	25	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	28.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.95	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.35	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.92 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 25.91 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.0 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Resultado realizado por el solicitante  
\* Datos de ensayo preparados por el solicitante

Edwin James Medina Alvarez  
TOMO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fousia Fontana Jimarú Marconi  
ALREDEL LÍMITE LÍQUIDO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera sh, Puno.  
FECHA : 24-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espéclmen Y124  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50: Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

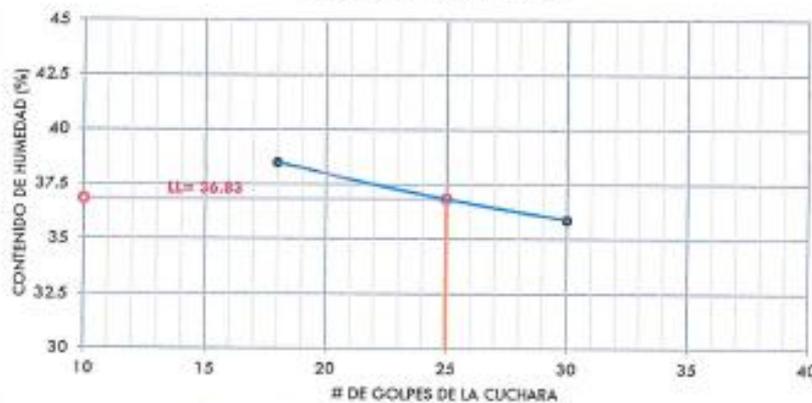
# Tara	T-09	J-09	T-10	-
Peso de la Tara (g)	17.52	19.86	17.34	-
T. + Suelo Húmedo (g)	35.70	39.89	37.02	-
T. + Suelo Seco (g)	30.90	34.50	31.88	-
Peso del Agua (g)	4.80	5.39	5.47	-
Suelo Seco (g)	13.38	14.64	14.21	-
% de Humedad (%)	35.87	36.82	38.49	-
Nro. De Golpes	30	25	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.63	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.83 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 24.47 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante  
\* Datos de pruebas preparadas por el solicitante

Edwin James Medina Alvarez  
LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Franklin Pinedo  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 24-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y224  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50: Tratamiento 1% de Diésel D8-5 S-50 UN

**LÍMITE LÍQUIDO**

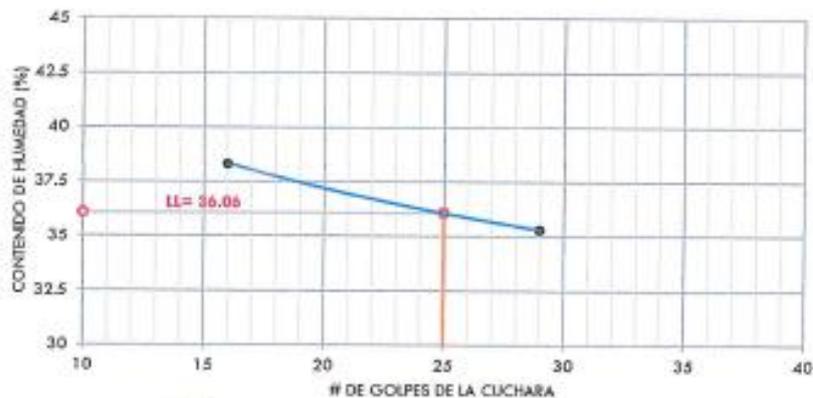
# Tora		C-05	C-05	T-18	-
Peso de la Tora	(g)	18.03	17.78	19.85	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	37.35	38.06	39.14	-
T. + Suelo Seco	(g)	32.31	32.70	33.80	-
Peso del Agua	(g)	5.04	5.36	5.34	-
Suelo Seco	(g)	14.28	14.92	13.94	-
% de Humedad	(%)	35.29	36.06	38.31	-
Nre. De Golpes		29	25	16	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tora		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tora	(g)	23.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	25.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.8	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 36.06 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 23.83 %  
INDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.2 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

Edm. DETYWD INGENIERO PROFESIONADO  
TALLER DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Fausto Poncedera Alvarado Maestri  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvaraz  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 24-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y324  
CALICATA : Calicata B  
BS 6.50 : Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-08	T-09	C-10	-
Peso de la Tara (g)	20.74	17.38	23.73	-
T. + Suelo Húmedo (g)	41.26	37.38	43.82	-
T. + Suelo Seco (g)	35.95	32.08	38.18	-
Peso del Agua (g)	5.31	5.29	5.64	-
Suelo Seco (g)	15.21	14.71	14.45	-
% de Humedad (%)	34.91	35.96	39.03	-
Nro. De Golpes	27	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-08	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.61 %  
LÍMITE PLÁSTICO LP = 23.12 %  
INDICE DE PLASTICIDAD IP = 12.5 %



**OBSERVACIONES:**

\* Muestras realizadas por el solicitante.  
\* Datos de remanece por parte del solicitante.

Dr. EDWIN JAMES MEDINA ALVARAZ  
INGENIERO DE PROFESION EN INGENIERIA CIVIL  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Paulo Ponciano Norroni Menemí  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 29-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y424  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50 : Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

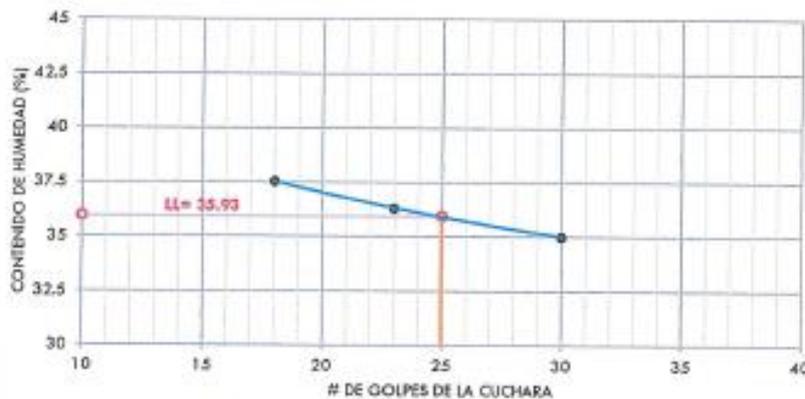
# Tara	T-11	T-17	C-12	-
Peso de la Tara (g)	24.31	17.49	17.13	-
T. + Suelo Húmedo (g)	43.94	35.29	37.08	-
T. + Suelo Seco (g)	38.65	30.55	32.00	-
Peso del Agua (g)	5.09	4.74	5.58	-
Suelo Seco (g)	14.54	13.06	14.87	-
% de Humedad (%)	35.01	36.29	37.53	-
Nro. De Golpes	30	23	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	29.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.03	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.93 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.25 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.7 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Injerto realizado por el solicitante.  
\* Datos de injección proporcionados por el solicitante.

INGENIERO CIVIL  
BASILIO WILSON RIVERA HACHACA  
TECNICO LABORATORIO TECNICO DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - LINAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Fausto Paredes Medina Álvarez  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 29-06-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y524  
CALICATA : Calicata B  
BS 5.50: Tratamiento 6% de Diesel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

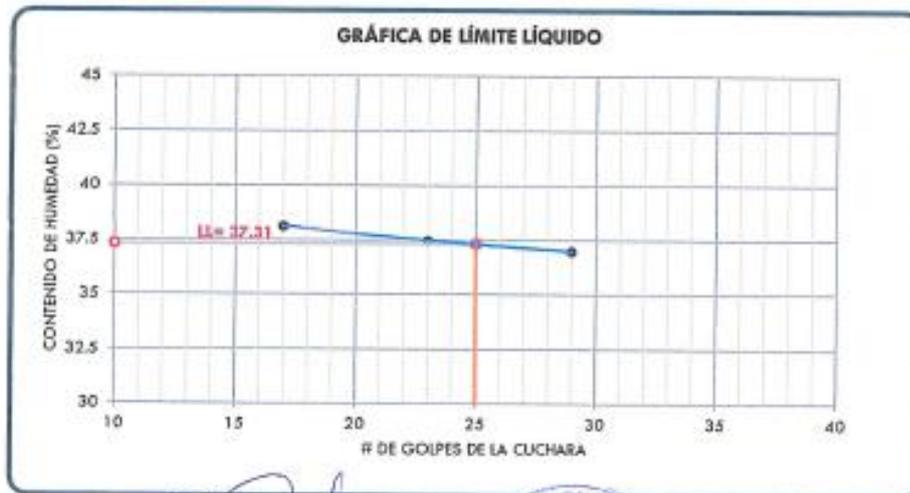
# Tara		T-26	C-06	J-08	-
Peso de la Tara	(g)	17.45	18.03	17.63	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	35.97	38.32	38.40	-
T. + Suelo Seco	(g)	30.97	32.79	32.67	-
Peso del Agua	(g)	5.00	5.53	5.73	-
Suelo Seco	(g)	13.52	14.76	15.04	-
% de Humedad	(%)	36.98	37.47	38.10	-
Nro. De Golpes		29	23	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	28.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	28.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.78	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.31 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 26.12 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.2 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* No se realizó por el solvente.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

*Edwin James Medina Alvarez*  
Ing. DEYVID WAGNER MARRON NACHUCA  
TÉCNICO LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Rosalvo Pantoja Meléndez Montaña  
2018 del LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 11-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espécimen Y131  
CALICATA : Calicata C  
BS S.50: Tratamiento 0% de Diésel D9-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

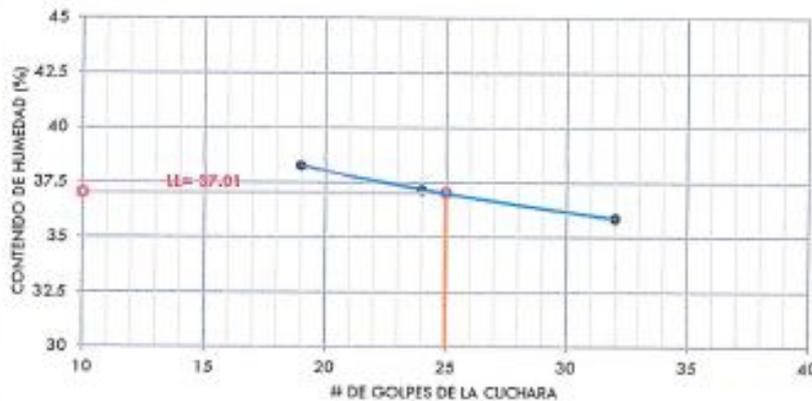
# Tera	C-08	T-24	T-17	-
Peso de la Tera (g)	20.76	21.01	24.46	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.73	41.17	43.76	-
T. + Suelo Seco (g)	33.25	35.71	38.42	-
Peso del Agua (g)	4.48	5.46	5.34	-
Suelo Seco (g)	12.49	14.70	13.96	-
% de Humedad (%)	35.87	37.14	38.25	-
Nro. De Golpes	32	24	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tera	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tera (g)	26.17	19.50	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.68	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 37.01 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.06 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 13.0 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante.  
\* Datos de medición suministrados por el solicitante.

Ing. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TALLER DE MAESTRANZA EN MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPG - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Faustino Ponce de León  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 11-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Especimen Y231  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.59: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

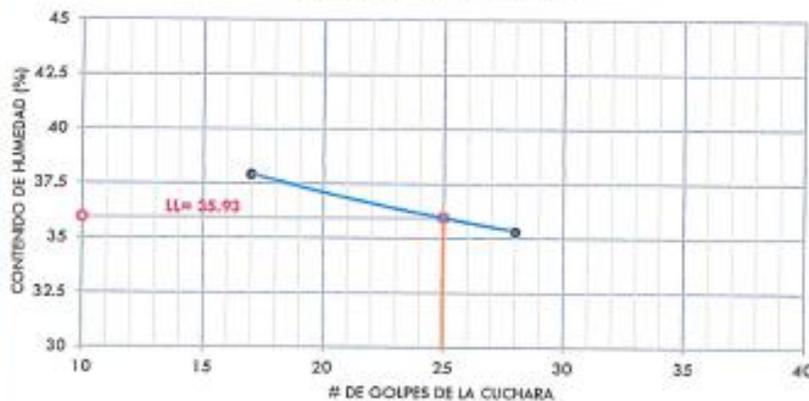
# Tara	T-05	C-07	C-01	-
Peso de la Tara (g)	20.59	23.69	20.74	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.37	41.35	39.73	-
T. + Suelo Seco (g)	32.99	36.68	34.51	-
Peso del Agua (g)	4.38	4.67	5.22	-
Suelo Seco (g)	12.40	12.99	13.77	-
% de Humedad (%)	35.32	35.95	37.91	-
Nro. De Golpes	28	25	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.65	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.93 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 23.37 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:  
Tratamiento realizado por el solicitante.  
\* Datos de humedad proporcionados por el solicitante.  
  
EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO EN MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Feusto Paredano Mamani Mamani  
RPE DE LA ESPECIALIDAD



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 11-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Especimen Y331  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

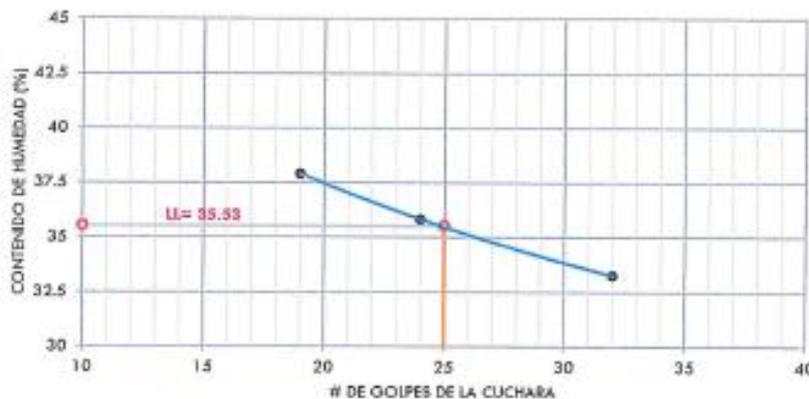
# Tara	T-12	T-13	T-08	-
Peso de la Tara (g)	20.10	20.01	19.82	-
T. + Suelo Húmedo (g)	40.29	39.08	36.92	-
T. + Suelo Seco (g)	35.25	34.05	32.22	-
Peso del Agua (g)	5.04	5.03	4.70	-
Suelo Seco (g)	15.15	14.04	12.40	-
% de Humedad (%)	33.27	35.83	37.90	-
Nro. De Golpes	32	24	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	25.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.8	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.53 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 23.25 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.3 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Muestras validadas por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.  
Ing. DEYVID WAGNER MARCON MACHACA  
TÉCNICO DEL LABORATORIO VINCIA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fpaulo Francisco Mironi Mironi  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACION : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 11-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y431  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.58: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 8-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-11	C-11	T-18	-
Peso de la Tara (g)	17.26	24.13	23.73	-
T. + Suelo Húmedo (g)	34.81	44.12	42.72	-
T. + Suelo Seco (g)	30.26	38.84	37.57	-
Peso del Agua (g)	4.55	5.28	5.15	-
Suelo Seco (g)	12.98	14.71	13.84	-
% de Humedad (%)	35.05	35.89	37.21	-
Nro. De Golpes	30	25	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-08	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.68	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.92 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.55 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante.  
\* Datos de muestra proporcional a los resultados.

Bo. DE EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TECNICO DE LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Augusto Pascual Morales Martínez  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 12-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y531  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.58: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		J-08	T-07	T-21	-
Peso de la Tara	(g)	18.03	17.98	18.51	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	35.65	36.97	36.54	-
T. + Suelo Seco	(g)	30.86	31.79	31.69	-
Peso del Agua	(g)	4.79	5.18	4.95	-
Suelo Seco	(g)	12.83	13.63	13.08	-
% de Humedad	(%)	37.33	37.48	37.84	-
Nro. De Golpes		27	25	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.00	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 37.47 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 26.41 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.1 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Incentivo realizado por el solicitante.  
\* Datos de nuestros procedimientos, para el solicitante.

Ing. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. PASCAL PASTORAL ALACRAN MORALES  
C.I. 17172783300



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 12-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espécimen Y132  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50 : Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 LV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-01	J-02	C-02	-
Peso de la Tara	(g)	20.74	20.59	20.82	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	41.48	40.19	44.29	-
T. + Suelo Seco	(g)	35.94	34.83	38.55	-
Peso del Agua	(g)	5.54	5.36	5.74	-
Suelo Seco	(g)	15.20	14.24	14.93	-
% de Humedad	(%)	36.45	37.64	38.45	-
Nro. De Golpes		31	24	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.47 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 24.43 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 13.0 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestra proceden de los registros de campo.

Bach. EDWIN WAGNER MARRON MACHACA  
TOMADO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. FRAJMO FLORES MARRON MARRON  
DIRECTOR LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 12-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y232  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 1% de Diésel D9-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

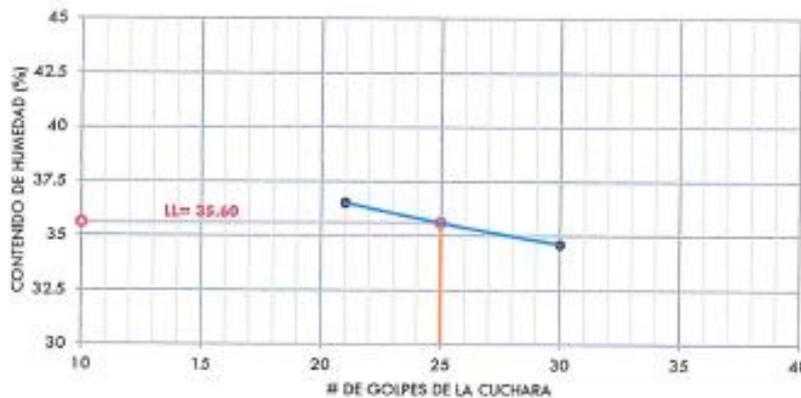
# Tira	T-05	T-23	J-05	-
Peso de la Tira (g)	24.13	18.51	17.49	-
T. + Suelo Húmedo (g)	43.34	37.03	35.67	-
T. + Suelo Seco (g)	38.40	32.17	31.54	-
Peso del Agua (g)	4.94	4.86	5.13	-
Suelo Seco (g)	14.27	13.66	14.05	-
% de Humedad (%)	34.62	35.58	36.51	-
Nro. De Golpes	30	25	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tira	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tira (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 35.60 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.05 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.9 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

- \* Análisis realizado por el solicitante.
- \* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

BOGOTÁ, EDWIN WAGNER MADRÓN MACHACA  
TÉCNICO DE LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - LINAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Febeiro Pinedero MONTAÑO MONTAÑO  
1955 DEL LAB. CUCCHARA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 12-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y332  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.90 : Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	T-09	T-25	T-01	-
Peso de la Tara (g)	20.74	17.48	23.69	-
T + Suelo Húmedo (g)	38.46	34.69	42.14	-
T + Suelo Seco (g)	33.92	30.34	36.89	-
Peso del Agua (g)	4.54	4.65	5.25	-
Suelo Seco (g)	13.18	12.85	13.20	-
% de Humedad (%)	34.45	36.19	39.77	-
Nro. De Golpes	29	24	16	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.83 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 23.09 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.7 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\*muestras realizadas por el solicitante.

\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Bach. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO TECNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Faustino Paredón Mariani Matorri  
17710103000000



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y432  
CALICATA : Calicata C  
BS 550: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

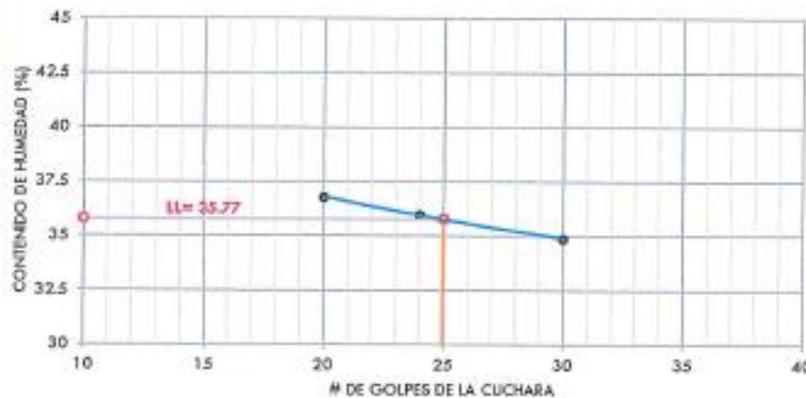
# Tara		C-12	J-04	T-05	-
Peso de la Tara	(g)	33.57	17.52	20.10	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	37.71	36.65	40.48	-
T. + Suelo Seco	(g)	32.78	31.59	35.00	-
Peso del Agua	(g)	4.95	5.06	5.48	-
Suelo Seco	(g)	14.19	14.07	14.90	-
% de Humedad	(%)	34.88	35.96	36.78	-
Nro. De Golpes		30	24	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO            L.L. = 35.77 %  
LÍMITE PLÁSTICO        L.L. = 24.63 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD    I.P. = 11.1 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo utilizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
Taller de Maestranza Municipalidad Provincial de Puno  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Paulo Porcuna Romero Arizumi  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y532  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.58: Tratamiento 8% de Diésel DB-S S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-04	J-04	T-10	-
Peso de la Tara	(g)	17.18	17.49	23.11	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	38.43	36.52	42.21	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.25	31.35	36.98	-
Peso del Agua	(g)	5.18	5.17	5.23	-
Suelo Seco	(g)	14.07	13.86	13.87	-
% de Humedad	(%)	36.82	37.30	37.71	-
Nro. De Golpes		31	24	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	25.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.68	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.25 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 25.19 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.1 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestra recibida por el laboratorio.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID INAGERTAVARON MACHACA  
TÉCNICO LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Mp. FOMISO PERICHO MORALES  
INPE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espécimen Y133  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara		C-01	J-03	T-01	-
Peso de la Tara	(g)	20.27	20.74	17.16	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	40.27	39.70	35.30	-
T. + Suelo Seco	(g)	34.07	34.63	30.92	-
Peso del Agua	(g)	5.30	5.15	5.38	-
Suelo Seco	(g)	14.70	13.89	13.74	-
% de Humedad	(%)	36.06	37.08	39.16	-
Nro. De Golpes		31	25	16	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.38	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.35	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.09 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 23.58 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 13.5 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de ensayo proporcionados por el solicitante.

Edw. DEYWD YAGNER MARRON MACUICA  
Tecnico de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Faustino Poscolino Martínez Montoya  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y233  
CALICATA : Calicata C  
BS 550: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tara	C-10	C-95	T-19	-
Peso de la Tara (g)	17.52	18.03	17.46	-
T. + Suelo Húmedo (g)	35.21	38.02	34.69	-
T. + Suelo Seco (g)	30.60	32.77	30.08	-
Peso del Agua (g)	4.53	5.25	4.61	-
Suelo Seco (g)	13.16	14.74	12.59	-
% de Humedad (%)	34.42	35.62	36.62	-
Nro. De Golpes	30	24	20	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	25.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.43 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 23.80 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Análisis realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.

Dra. DEYANÍ WAGNER MARRONTACHACA  
TÉCNICA LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Parodiño Alarcón  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y333  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.58: Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

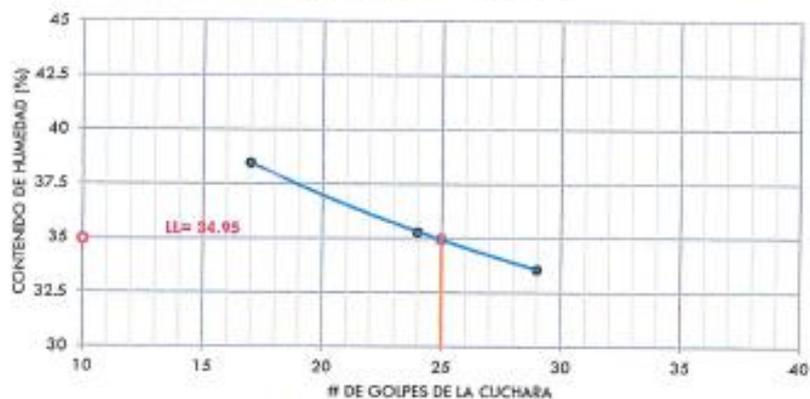
# Tara	T-01	T-06	T-14	-
Peso de la Tara (g)	24.46	23.11	17.67	-
T. + Suelo Húmedo (g)	43.04	40.79	37.33	-
T. + Suelo Seco (g)	36.37	36.18	31.07	-
Peso del Agua (g)	4.67	4.61	5.48	-
Suelo Seco (g)	13.91	13.07	14.20	-
% de Humedad (%)	33.57	35.27	38.45	-
Nro. De Golpes	29	24	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 34.95 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.35 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



**OBSERVACIONES:**

\* Muestra realizada por el solicitante.  
\* Datos de muestra proporcionados por el solicitante.  
DR. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TITULAR DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Filipe Pacheco Medina Medina  
13/07/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y433  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 5-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

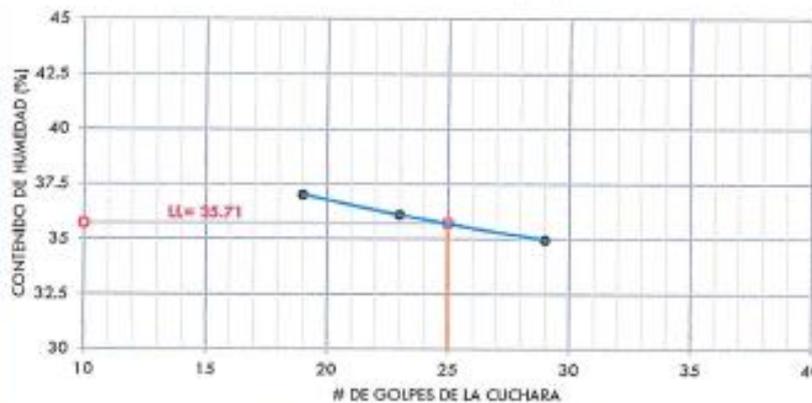
# Tara	J-03	J-04	T-03	-
Peso de la Tara (g)	17.38	20.10	24.41	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.34	39.14	41.33	-
T. + Suelo Seco (g)	32.17	34.09	35.76	-
Peso del Agua (g)	5.17	5.05	4.57	-
Suelo Seco (g)	14.79	13.99	12.35	-
% de Humedad (%)	34.98	36.10	37.00	-
Nro. De Golpes	29	23	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	J1-25	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.06	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.71 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 24.19 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.5 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Análisis realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo proporcionados por el solicitante.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Pasquillo Porcayo Robinson Maldonado  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 13-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y533  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

LÍMITE LÍQUIDO					
# Tara		T-21	T-16	T-04	-
Peso de la Tara	(g)	18.57	17.96	20.01	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	37.80	35.34	40.01	-
T. + Suelo Seco	(g)	32.62	30.60	34.51	-
Peso del Agua	(g)	5.18	4.74	5.50	-
Suelo Seco	(g)	14.05	12.64	14.50	-
% de Humedad	(%)	36.87	37.50	37.93	-
Nro. De Golpes		31	23	19	-

LÍMITE PLÁSTICO					
# Tara		T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara	(g)	25.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo	(g)	32.66	25.54	-	-
T. + Suelo Seco	(g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua	(g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco	(g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad	(%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.35 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 25.62 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.7 %



OBSERVACIONES:

\* Nuestra responsabilidad es por el procedimiento.  
\* Datos de nuestros procedimientos de laboratorio.  
Eduardo Pacheco Barrón Pachaca  
Técnico de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fawad Ponce de León Muroso  
Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 27-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 1, Espécimen Y134  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50 : Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

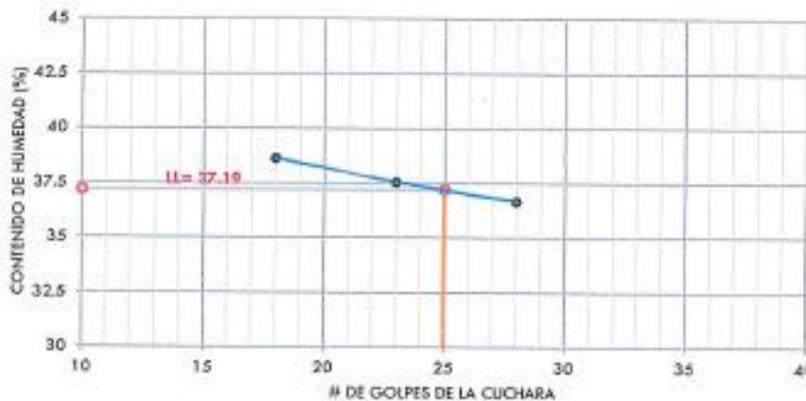
# Tera	C-01	T-16	C-08	-
Peso de la Tera (g)	17.41	24.46	17.28	-
T. + Suelo Húmedo (g)	36.57	42.23	37.48	-
T. + Suelo Seco (g)	31.43	37.36	31.85	-
Peso del Agua (g)	5.14	4.85	5.63	-
Suelo Seco (g)	14.02	12.92	14.57	-
% de Humedad (%)	36.66	37.54	38.64	-
Nro. De Golpes	28	23	18	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tera	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tera (g)	20.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 37.19 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 24.41 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.8 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestra retirada por el operador.  
\* Datos de muestra preparada por el colante.

Bach. DEMYD WAGNER GARRON MACHUCA  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

MSc. Edwin James Medina Alvarez  
27/07/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 27-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 2, Espécimen Y234  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 1% de Diésel DB-5 5-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

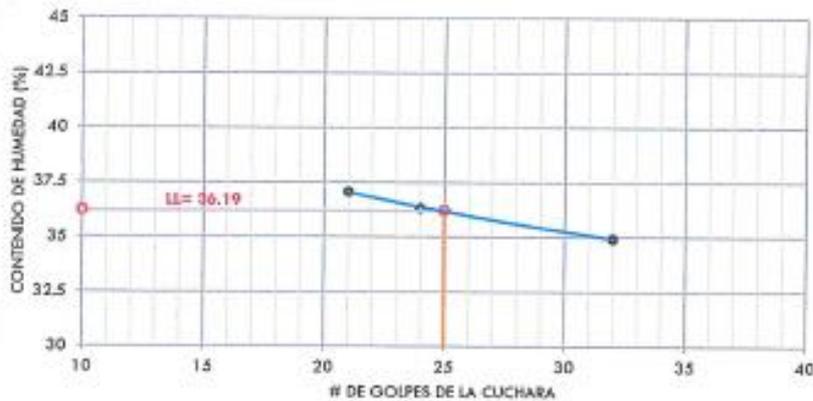
# Tara	J-02	C-01	T-05	-
Peso de la Tara (g)	17.54	18.57	24.00	-
T. + Suelo Húmedo (g)	36.98	35.91	42.27	-
T. + Suelo Seco (g)	32.05	31.29	37.33	-
Peso del Agua (g)	4.93	4.62	4.94	-
Suelo Seco (g)	14.11	12.72	13.33	-
% de Humedad (%)	34.94	36.32	37.06	-
Nro. De Golpes	32	24	21	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	25.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21,1	19,9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO LL = 36.19 %  
LÍMITE PLÁSTICO LL = 23.56 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.6 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Inventario realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestra obtenidos de la calicata solicitada.

Edwin James Medina Alvarez  
Técnico de Laboratorio Mecánica de Suelos y Materiales  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Fournier Pantoja Matamorán Mollares  
COORDINADOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 27-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 3, Espécimen Y334  
CALICATA : Calicata C  
BS 5.50: Tratamiento 2% de Diésel DB-S 5-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

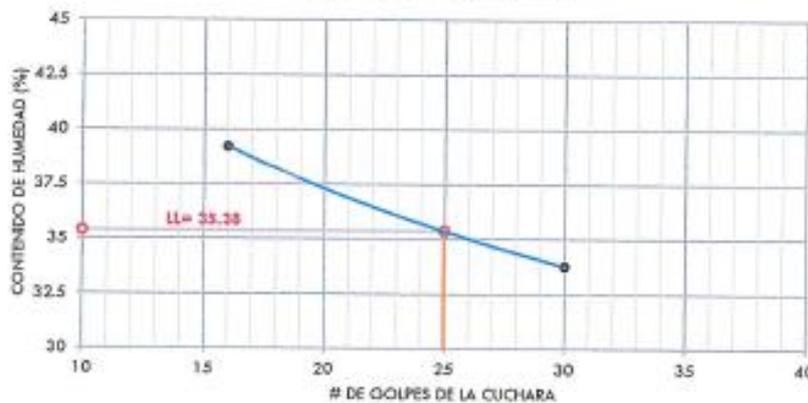
# Tars	J-03	C-14	T-20	-
Peso de la Tara (g)	18.03	20.10	17.81	-
T. + Suelo Húmedo (g)	37.67	37.53	36.77	-
T. + Suelo Seco (g)	32.71	32.98	30.71	-
Peso del Agua (g)	4.96	4.55	6.06	-
Suelo Seco (g)	14.68	12.88	12.90	-
% de Humedad (%)	33.79	35.33	39.22	-
Nro. De Golpes	30	25	16	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tars	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.86	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.38 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 22.96 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 12.4 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Datos de muestreo no reportados por el solicitante.

ROSA DELFINA CHER VARGAS VARGAS  
TRONCO ELABORACIÓN TECNICA DE SUELOS PARTICULOS  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Paulo Forcino Medina Alvarez  
2013 011 1123 (PUNO)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 27-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA  
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

REFERENCIA : Repetición 4, Espécimen Y434  
CALICATA : Calicata C  
BS 4.50: Tratamiento 4% de Diésel DB-5 8-50 UV

**LÍMITE LÍQUIDO**

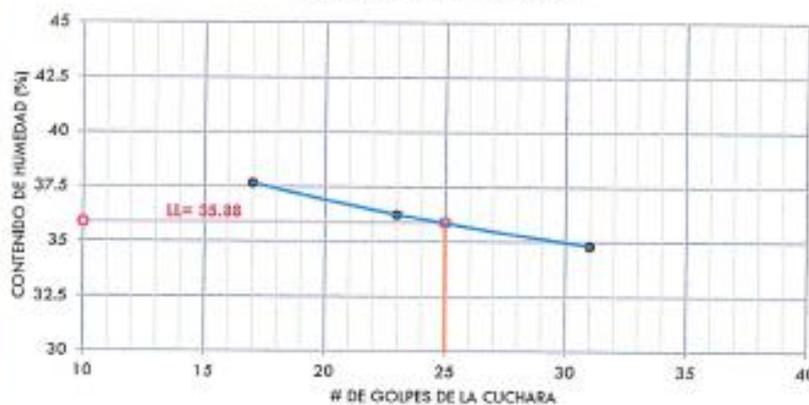
# Tara	T-16	C-08	C-07	-
Peso de la Tara (g)	24.46	19.86	18.57	-
T. + Suelo Húmedo (g)	41.36	40.09	36.30	-
T. + Suelo Seco (g)	37.01	34.71	31.45	-
Peso del Agua (g)	4.37	5.38	4.85	-
Suelo Seco (g)	12.55	14.85	12.88	-
% de Humedad (%)	34.82	36.23	37.66	-
Nro. De Golpes	31	23	17	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tara	T-09	JH-23	-	-
Peso de la Tara (g)	26.17	19.60	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.66	26.54	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 35.88 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 24.22 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.7 %

**GRÁFICA DE LÍMITE LÍQUIDO**



OBSERVACIONES:

\* Pruebas realizadas por el solicitante.  
\* Datos de los cálculos proporcionados por el solicitante.  
Edwin James Medina Álvarez  
TOMADO LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Portales Martínez  
JHT 001120102010



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
SOLICITADO : MSc. Edwin James Medina Álvarez  
UBICACIÓN : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n, Puno.  
FECHA : 27-07-23

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
**(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

**DATOS DE LA MUESTRA:**

REFERENCIA : Repetición 5, Espécimen Y534  
CALICATA : Calicata C  
BB 5.50: Tratamiento 6% de Diésel DB-5 9-50 UN

**LÍMITE LÍQUIDO**

# Tera	T-25	C-47	T-48	-
Peso de la Tera (g)	23.73	19.86	17.52	-
T. + Suelo Húmedo (g)	41.02	37.72	34.83	-
T. + Suelo Seco (g)	36.32	32.84	30.06	-
Peso del Agua (g)	4.70	4.88	4.77	-
Suelo Seco (g)	12.59	12.98	12.54	-
% de Humedad (%)	37.33	37.60	38.04	-
Mro. De Golpes	28	25	19	-

**LÍMITE PLÁSTICO**

# Tera	T-49	JH-23	-	-
Peso de la Tera (g)	26.17	19.80	-	-
T. + Suelo Húmedo (g)	32.88	26.04	-	-
T. + Suelo Seco (g)	31.53	25.39	-	-
Peso del Agua (g)	1.13	1.15	-	-
Suelo Seco (g)	5.36	5.79	-	-
% de Humedad (%)	21.1	19.9	-	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 37.57 %  
LÍMITE PLÁSTICO L.L. = 25.95 %  
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 11.6 %



**OBSERVACIONES:**

\* Muestreo realizado por el solicitante.  
\* Dato de muestra proporcionado por el solicitante.

Barr. DEYWD WIGNER MARRON MACHACA  
TÉCNICO DE LABORATORIO TÉCNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Flavia Patricia Méndez  
M.Sc. en INGENIERÍA

## Anexo 6. Resultados de los ensayos de compactación para los diversos tratamientos con contenido de petróleo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

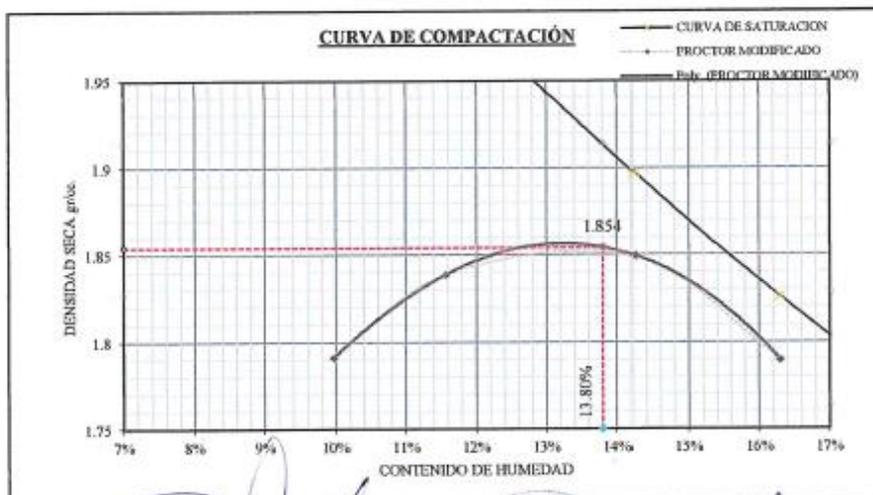
### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)

**DATOS DE LA MUESTRA:**                      **DATOS DEL MOLDE:**                      **MÉTODO B**

**REFERENCIA:**                      Especimen Y111, Bloque A, Repetición 1                      **DATOS DEL MOLDE**  
**CALICATA:**                      Calicata A                      **DIÁMETRO PROMEDIO:**                      10.15 cm  
**TRATAMIENTO:**                      Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV                      **ALTURA PROMEDIO:**                      11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6046	6123	6181	6151	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1858	1935	1993	1963	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.05	2.11	2.08	-
N° TARA	M-14	HR-20	E-07	MF-05	-	
Peso de la Tara	g	71.42	71.16	52.58	71.48	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	539.02	524.35	526.91	532.43	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	496.61	477.36	467.77	467.82	-
Peso del Agua	g	42.41	46.99	59.14	64.61	-
Peso del Suelo Seco	g	423.19	406.20	415.19	396.34	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.97	11.57	14.24	16.30	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.97	11.57	14.24	16.30	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.79	1.84	1.85	1.79	-
SATURACIÓN	%	2.06	2.00	1.90	1.83	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.854 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA :</b>	<b>13.80 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID WAGNER MARRON MACO  
TECNICO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Ponciano Medrano Medina  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

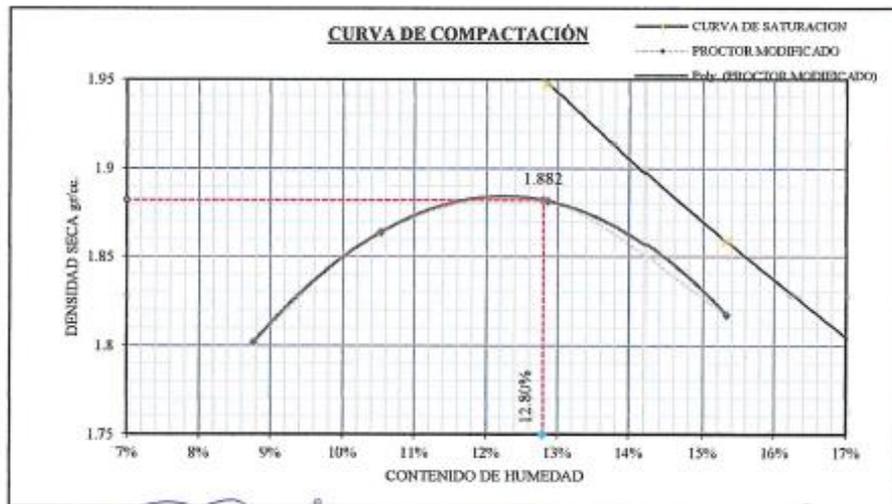
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y211, Bloque A, Repetición 1 **DATOS DEL MOLDE**  
**CALICATA:** Calicata A **DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV **ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6037	6132	6191	6165	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1848.6	1943.6	2003	1977	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.96	2.06	2.12	2.10	-
Nº TARA	M-05	HR-03	HR-04	HR-05	-	
Peso de la Tara	g	71.48	72.54	72.35	70.92	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	504.38	547.14	536.35	510.55	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	469.50	501.90	483.46	452.10	-
Peso del Agua	g	34.88	45.24	52.89	58.45	-
Peso del Suelo Seco	g	398.02	429.36	411.11	381.18	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.76	10.54	12.87	15.33	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.76	10.54	12.87	15.33	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.86	1.88	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.12	2.04	1.95	1.86	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.882 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	12.80 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Eduardo Pacheco Marrón Pachaca  
TECNICO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

JEFATURA  
Lab. Mecánica  
de Suelos y  
Mat.  
UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
*[Signature]*  
Ing. Fátima Ponceano Jimani Mamani  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

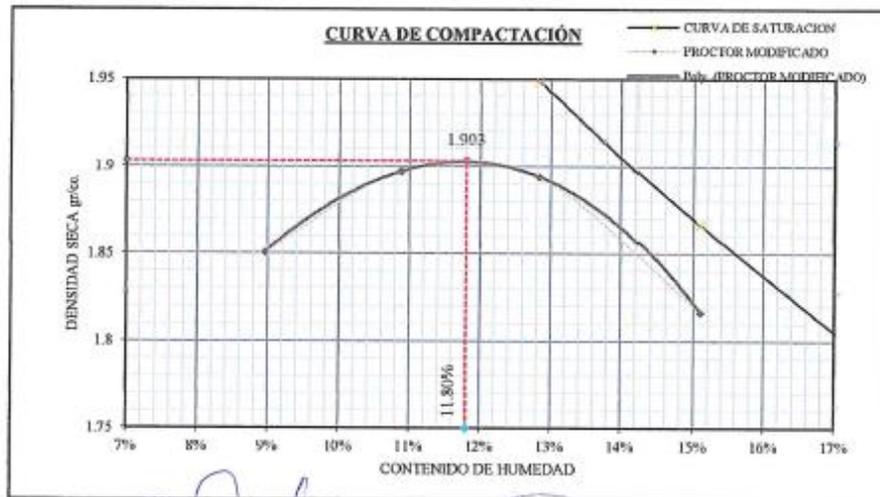
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y311, Bloque A, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE:**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6090	6172	6204	6160	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1902	1984	2016	1972	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.10	2.14	2.09	-
N° TARA	M-11	M-10	M-05	HR-01		
Peso de la Tara	g	71.37	70.58	71.48	71.10	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	500.79	537.89	544.46	533.57	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	465.50	492.04	490.64	472.87	-
Peso del Agua	g	35.29	45.85	53.82	60.70	-
Peso del Suelo Seco	g	394.13	421.46	419.16	401.77	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.95	10.88	12.84	15.11	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.95	10.88	12.84	15.11	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.90	1.89	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.11	2.03	1.95	1.87	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.903 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	11.80 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

*[Signature]*  
Ing. Edwin James Medina Alvarez  
Tecnico de Laboratorio de Mecanica de Suelos y Materiales  
EPIC - UNAP

JEFATURA  
Lab. Mecanica de Suelos y Mat.  
UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fco. Paredes  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

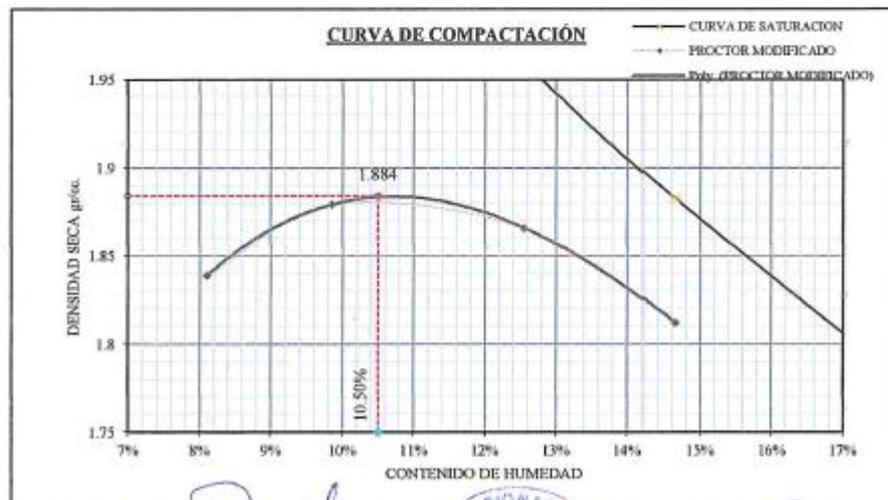
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y411, Bloque A, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6063	6135	6169	6148	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1875.3	1947.2	1981	1959.8	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.06	2.10	2.08	-
N° TARA		HR-01	HR-09	M-07	M-14	-
Peso de la Tara	g	71.10	71.60	70.73	71.42	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	513.80	535.65	541.24	529.48	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	480.59	494.02	488.75	470.95	-
Peso del Agua	g	33.21	41.63	52.49	58.53	-
Peso del Suelo Seco	g	409.49	422.42	418.02	399.53	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.11	9.86	12.56	14.65	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.11	9.86	12.56	14.65	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.88	1.87	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.15	2.07	1.96	1.88	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.884 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.50 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
Ing. DE EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TOMANDO LABORATORIO TECNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Masas

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Faustino Poncebano Alejandro Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

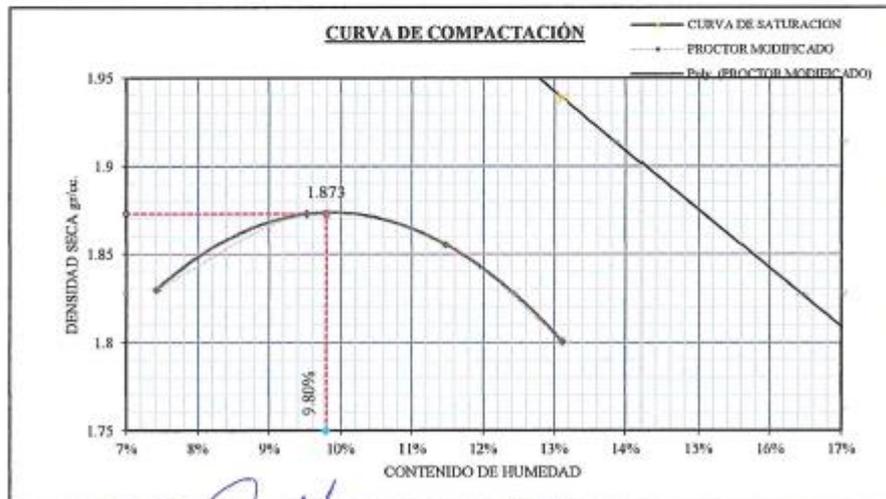
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y511, Bloque A, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE:**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6042	6123	6139	6109	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1854	1935	1951	1921	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.05	2.07	2.04	-
N° TARA		HR-02	E-01	M-02	ME-15	-
Peso de la Tara	g	71.03	53.74	71.25	71.45	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	522.16	485.56	545.20	535.06	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	491.01	447.99	496.40	481.30	-
Peso del Agua	g	31.15	37.57	48.80	53.76	-
Peso del Suelo Seco	g	419.98	394.25	425.15	409.85	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.42	9.53	11.48	13.12	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.42	9.53	11.48	13.12	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.87	1.86	1.80	-
SATURACION	%	2.18	2.08	2.00	1.94	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.873 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA :</b>	<b>9.80 %</b>



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

*[Signature]*  
DOCTOR EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecanica de Suelos y Mat.  
PUNO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponciano Mijangos Mamani  
SETE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

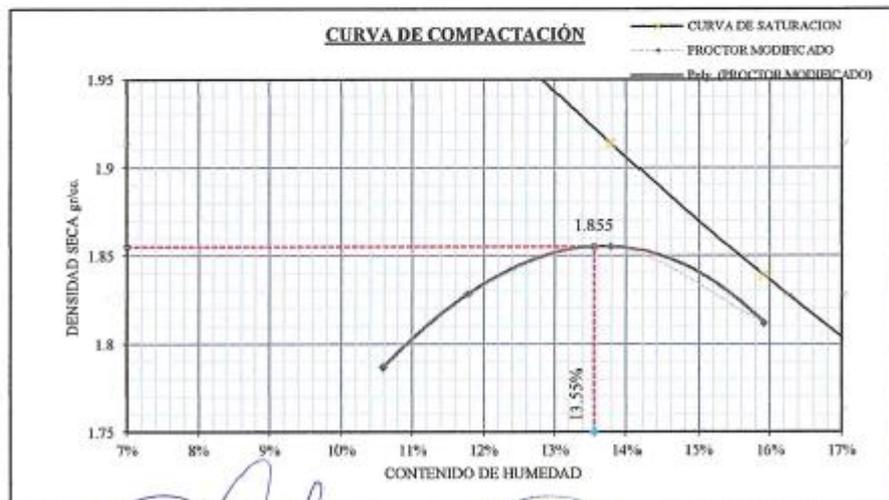
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y112, Bloque A, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6052	6116	6179	6169	-	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1864	1928	1991	1981	-	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm3	1.98	2.04	2.11	2.10	-	-
Nº TARA		E-03	M-06	HR-12	HR-11	-	-
Peso de la Tara	g	52.59	71.38	71.28	71.82	-	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	529.97	536.23	543.99	536.99	-	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	484.24	487.21	486.73	473.12	-	-
Peso del Agua	g	45.73	49.02	57.26	63.87	-	-
Peso del Suelo Seco	g	431.65	415.83	415.45	401.30	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.59	11.79	13.78	15.92	-	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.59	11.79	13.78	15.92	-	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm3	1.79	1.83	1.86	1.81	-	-
SATURACIÓN	%	2.04	1.99	1.91	1.84	-	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.855 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm3	HUMEDAD OPTIMA :	13.55 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO EN MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponce de Leon Marmora  
EPS DEL ALTIPLANO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

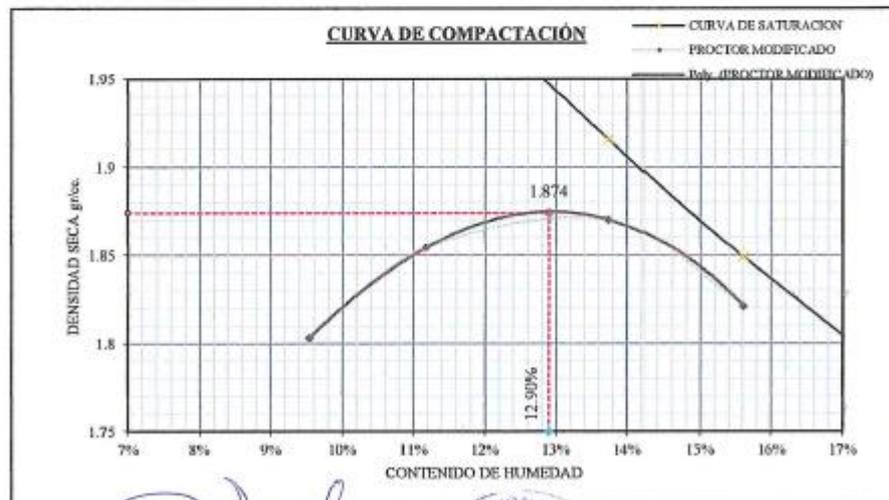
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y212, Bloque A, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6051	6132	6194	6174	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1863	1944.4	2006.3	1986	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.98	2.06	2.13	2.11	-
N° TARA	E-48	HR-12	M-01	HR-10	-	
Peso de la Tara	g	53.99	71.28	71.48	70.82	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	484.20	532.51	513.97	513.25	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	446.73	486.16	460.52	453.50	-
Peso del Agua	g	37.47	46.35	53.45	59.75	-
Peso del Suelo Seco	g	392.74	414.88	389.04	382.68	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.54	11.17	13.74	15.61	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.54	11.17	13.74	15.61	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.85	1.87	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.68	2.01	1.92	1.85	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.874 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA :</b>	<b>12.90 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Director de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
EPIC - UNAP

JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Mat.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

Ing. Fariño Ponce de Amorán Momeni  
117 DEL 11 DE AGOSTO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

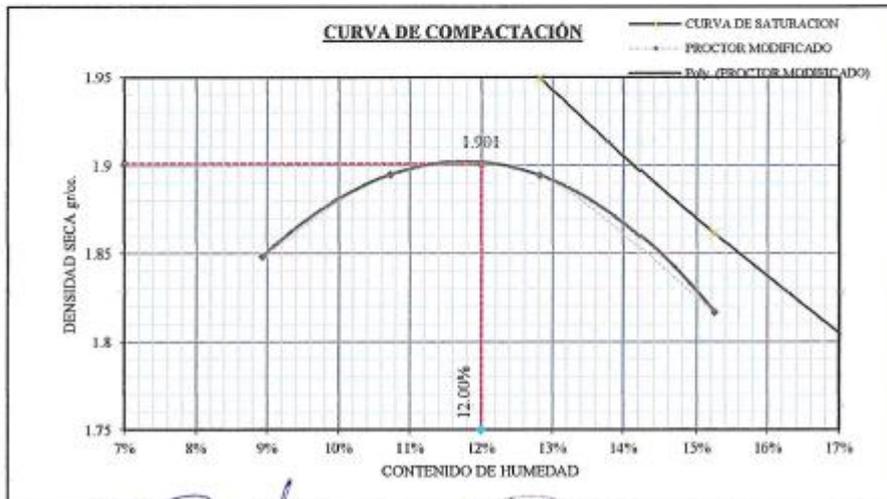
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y312, Bloque A, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6087	6167	6204	6163	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1899	1979	2016	1975	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.10	2.14	2.09	-
N° TARA		M-15	HR-15	M-09	HR-06	-
Peso de la Tara	g	71.45	71.84	71.22	72.12	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	504.61	526.44	496.87	527.46	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	469.10	482.40	448.49	467.20	-
Peso del Agua	g	35.51	44.04	48.38	60.26	-
Peso del Suelo Seco	g	397.65	410.56	377.27	395.08	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.93	10.73	12.82	15.25	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.93	10.73	12.82	15.25	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.89	1.89	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.11	2.03	1.95	1.86	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.901 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA :</b>	<b>12.00 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
 Bch. DE TALENTO EN INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 TECNICO LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 JEFATURA  
 de Obras y  
 Mat.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Fausta Fonceña Mamani Mamani  
 JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

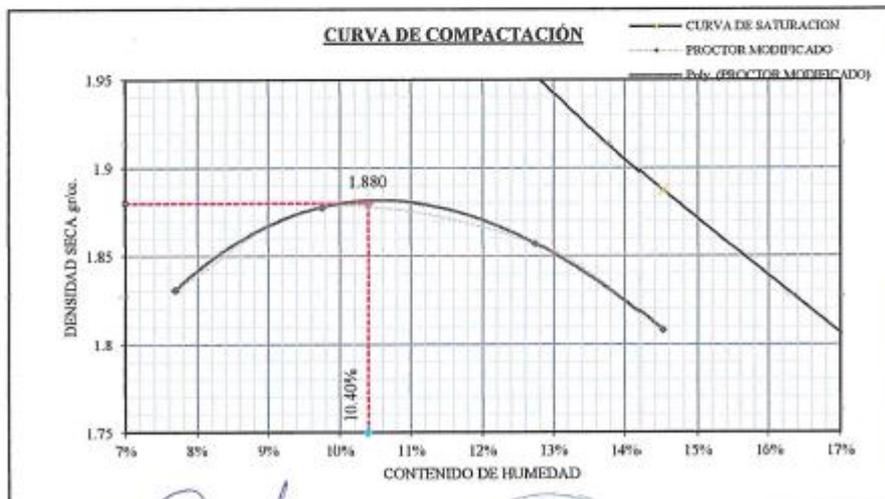
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y412, Bloque A, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	943 cc				5
		GOLPES POR CAPA				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6048	6132	6163	6141	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1860	1944	1975	1953	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.06	2.09	2.07	-
Nº TARA		E-03	M-10	HR-03	HR-13	-
Peso de la Tara	g	52.59	70.58	72.54	71.73	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	481.57	502.41	522.96	528.69	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	450.91	464.04	472.04	470.76	-
Peso del Agua	g	30.66	38.37	50.92	57.93	-
Peso del Suelo Seco	g	398.32	393.46	399.50	399.03	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.70	9.75	12.75	14.52	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.70	9.75	12.75	14.52	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.88	1.86	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.17	2.07	1.95	1.89	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.880 gr/cc
Gs:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.40 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
BOLIVIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
de Suelos y Mat

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Román Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

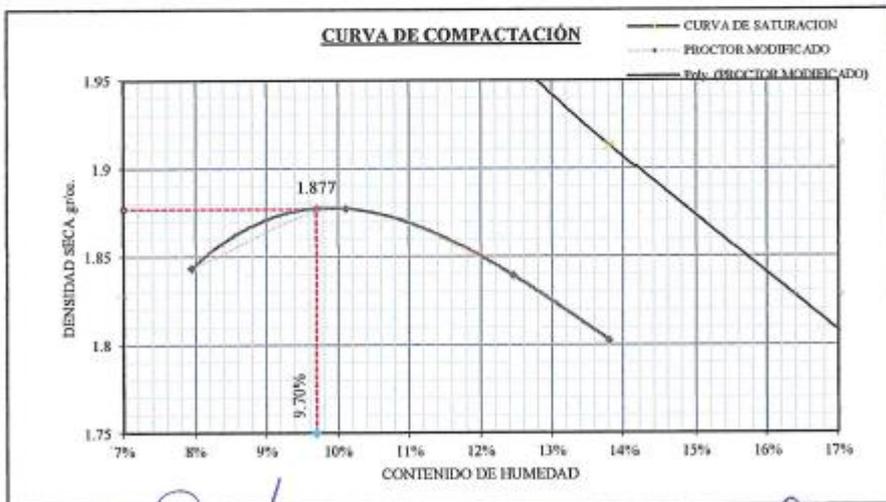
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y512, Bloque A, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6065	6138	6139	6123	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1877	1950	1951	1935	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.07	2.07	2.05	-
N° TARA	HR-14	M-09	M-10	HR-20		-
Peso de la Tara	g	70.73	71.22	70.58	71.16	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	510.36	517.31	503.47	520.38	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	477.99	476.32	455.52	465.88	-
Peso del Agua	g	32.37	40.99	47.95	54.50	-
Peso del Suelo Seco	g	407.26	405.10	384.94	394.72	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.95	10.12	12.46	13.81	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.95	10.12	12.46	13.81	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.88	1.84	1.80	-
SATURACIÓN	%	2.15	2.06	1.96	1.91	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.877 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	9.70 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
INGENIERO DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fovila Ponciano Mamoni Mamoni  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

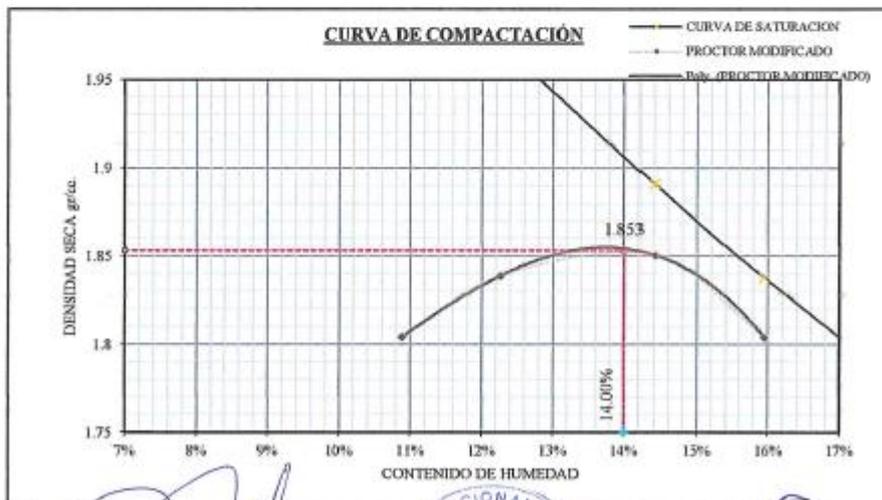
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y113, Bloque A, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	943 cc				5
		GOLPES POR CAPA				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6075	6135	6185	6161	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1887	1947	1997	1973	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.06	2.12	2.09	-
N° TARA	HR-10	HR-23	HR-22	HR-17	-	
Peso de la Tara	g	70.82	72.62	72.52	71.59	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	511.81	544.42	548.90	547.69	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	468.51	492.89	488.89	482.21	-
Peso del Agua	g	43.30	51.53	60.01	65.48	-
Peso del Suelo Seco	g	397.69	420.27	416.37	410.62	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.89	12.26	14.41	15.95	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.89	12.26	14.41	15.95	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.84	1.85	1.80	-
SATURACIÓN	%	2.03	1.97	1.89	1.84	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.853 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA	14.00 %



OBSERVACIONES: Las Muestras y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

BOGOTÁ, D.C. 15 DE ENERO DE 2023  
INGENIERO EN MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fawilo Pariscano Mamani Mamani  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

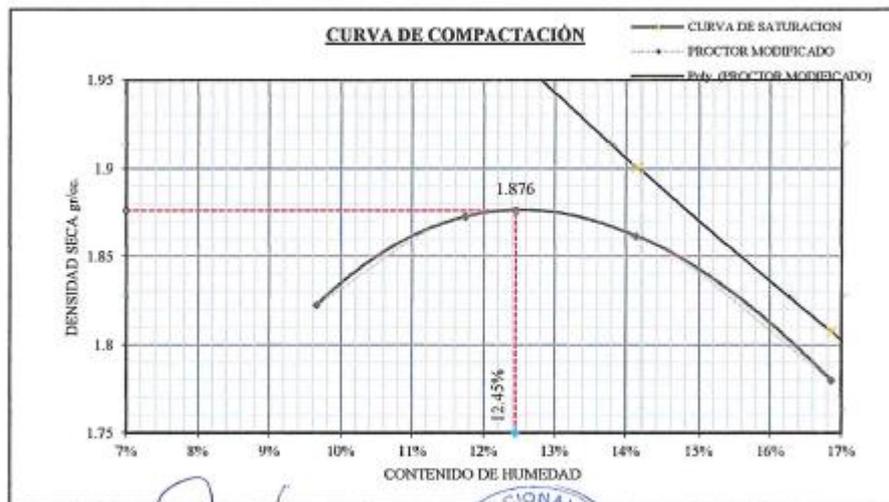
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y213, Bloque A, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6073	6162	6192	6150	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1885	1974	2004.3	1962	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm3	2.00	2.09	2.12	2.08	-
N° TARA		HR-15	HR-17	M-14	HR-24	-
Peso de la Tara	g	71.84	71.59	71.42	70.96	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	517.90	550.63	513.75	528.65	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	478.61	500.26	458.92	462.61	-
Peso del Agua	g	39.29	50.37	54.83	66.04	-
Peso del Suelo Seco	g	406.77	428.67	387.50	391.65	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.66	11.75	14.15	16.86	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.66	11.75	14.15	16.86	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm3	1.82	1.87	1.86	1.78	-
SATURACIÓN	%	2.08	1.99	1.90	1.81	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.876 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm3	HUMEDAD ÓPTIMA :	12.45 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
M.Sc. Edwin James Medina Alvarez  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

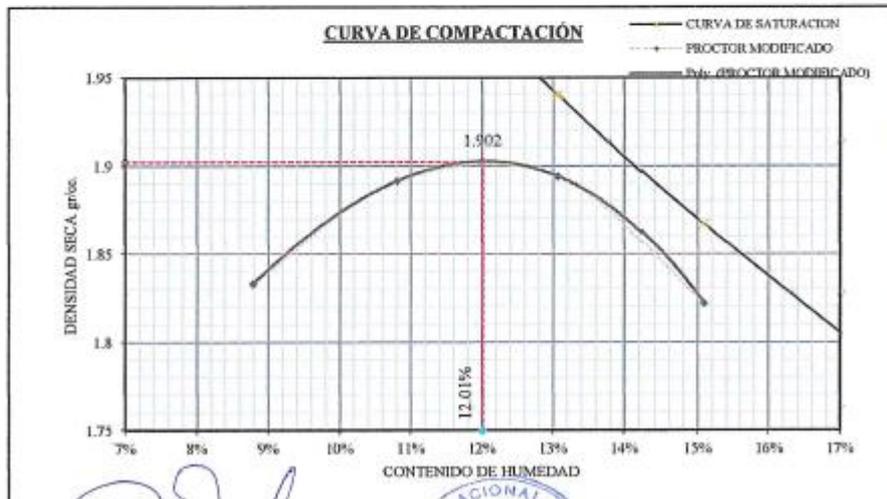
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y313, Bloque A, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6069	6165	6208	6166	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1881	1977	2020	1978	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.10	2.14	2.10	-
N° TARA	HR-17	E-01	M-14	HR-20	-	-
Peso de la Tara	g	71.59	53.74	71.42	71.16	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	538.30	495.30	500.98	506.96	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	500.60	452.23	451.32	449.82	-
Peso del Agua	g	37.70	43.07	49.66	57.14	-
Peso del Suelo Seco	g	429.01	398.49	379.90	378.66	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.79	10.81	13.07	15.09	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.79	10.81	13.07	15.09	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.89	1.89	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.12	2.03	1.94	1.87	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.902 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA :</b>	<b>12.01 %</b>



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYVID WAGNER MARRON MACACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponceiro  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

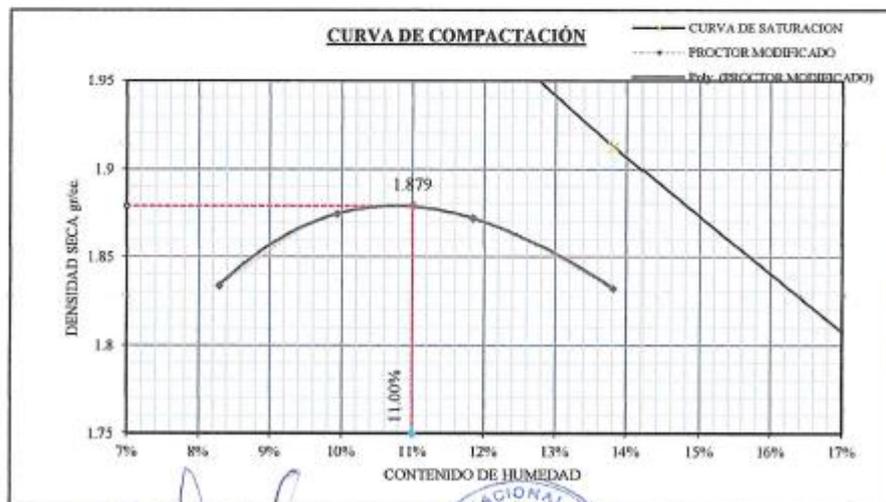
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y413, Bloque A, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6061	6132	6163	6155	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1873	1944	1975	1967	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.06	2.09	2.09	-
N° TARA		HR-24	E-03	E-06	M-05	-
Peso de la Tara	g	70.96	52.59	54.34	71.48	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	534.86	494.91	497.43	532.90	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	499.35	454.91	450.49	476.88	-
Peso del Agua	g	35.51	40.00	46.94	56.02	-
Peso del Suelo Seco	g	428.39	402.32	396.15	405.40	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.29	9.94	11.85	13.82	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.29	9.94	11.85	13.82	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.87	1.87	1.83	-
SATURACIÓN	%	2.14	2.07	1.99	1.91	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.879 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	11.00 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Ing. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. FAVISO PANGLOSSO MAMANI MAMANI  
LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Enero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

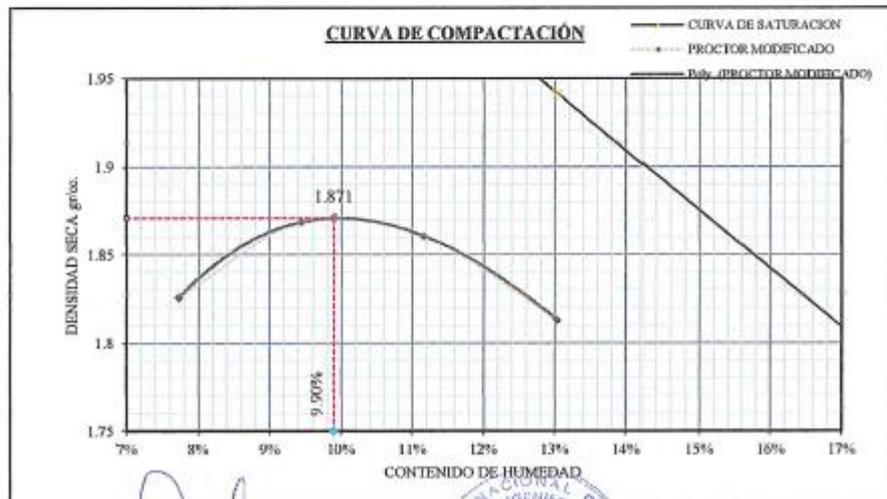
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y513, Bloque A, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6043	6117	6139	6121	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1855	1929	1951	1933	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.05	2.07	2.05	-
N° TARA	M-14	M-08	M-11	M-14	-	-
Peso de la Tara	g	71.42	70.82	71.37	71.42	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	515.37	500.80	515.97	516.04	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	483.53	463.69	471.33	464.75	-
Peso del Agua	g	31.84	37.11	44.64	51.29	-
Peso del Suelo Seco	g	412.11	392.87	399.96	393.33	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.73	9.45	11.16	13.04	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.73	9.45	11.16	13.04	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.87	1.86	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.16	2.09	2.01	1.94	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.871 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	9.90 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. DE WIND WAGNER MARRON NACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Penabaz Mammel Mamoni  
SITE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

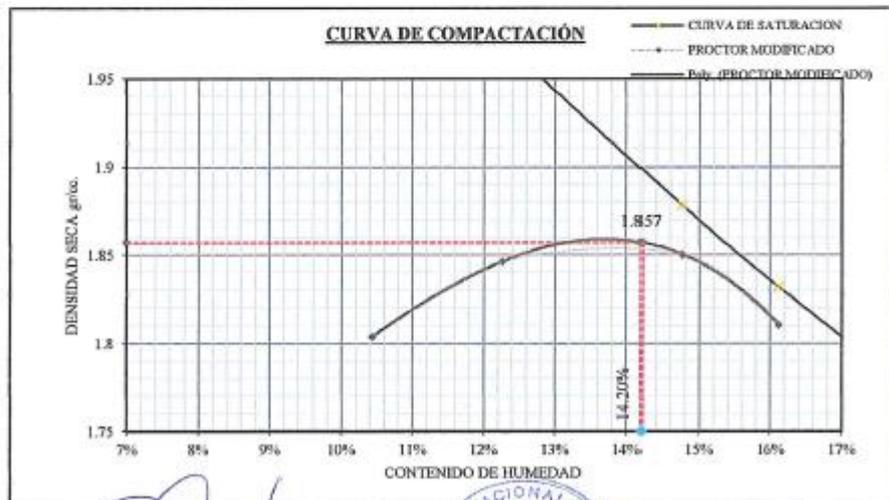
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y114, Bloque A, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				945 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6067	6143	6191	6171	-	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1879	1955	2003	1983	-	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.07	2.12	2.10	-	-
N° TARA	E-03	HR-22	M-15	E-05	-	-	-
Peso de la Tara	g	52.59	72.52	71.45	53.80	-	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	491.44	539.45	539.14	509.29	-	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	449.97	488.45	478.96	446.06	-	-
Peso del Agua	g	41.47	51.00	60.18	63.23	-	-
Peso del Suelo Seco	g	397.38	415.93	407.51	392.26	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.44	12.26	14.77	16.12	-	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.44	12.26	14.77	16.12	-	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.85	1.85	1.81	-	-
SATURACIÓN	%	2.04	1.97	1.88	1.83	-	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.857 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	14.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Dr. DEYVID WAGNER MARRON NACHICA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. FAVILDA PAROLANO ALMONDI MORALES  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

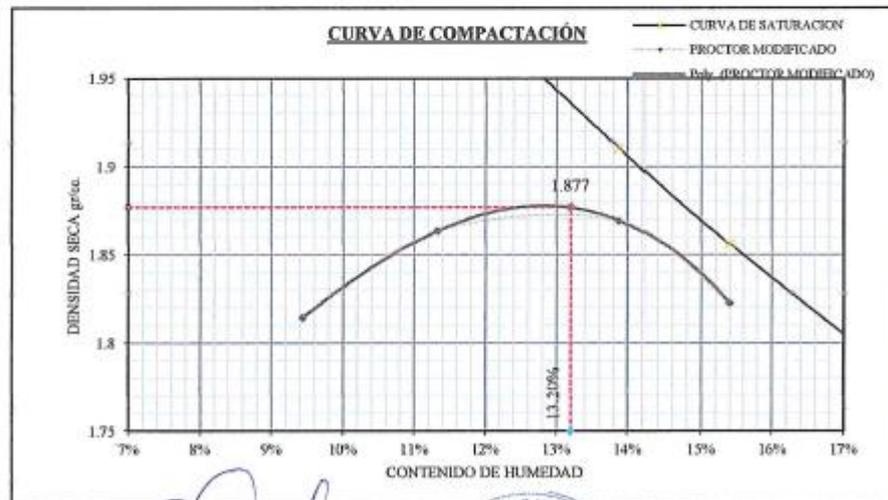
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y214, Bloque A, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6061	6145	6196	6172	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1873	1957	2008	1984	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.07	2.13	2.10	-
N° TARA		HR-19	E-08	M-13	E-01	-
Peso de la Tara	g	72.54	53.99	70.55	53.74	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	543.33	495.16	526.34	508.93	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	502.71	450.25	470.79	448.17	-
Peso del Agua	g	40.62	44.91	55.55	60.76	-
Peso del Suelo Seco	g	430.17	396.26	400.24	394.43	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.44	11.33	13.88	15.40	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.44	11.33	13.88	15.40	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.86	1.87	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.09	2.01	1.91	1.86	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.877 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	13.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID WAGNER BARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponce de Leon Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

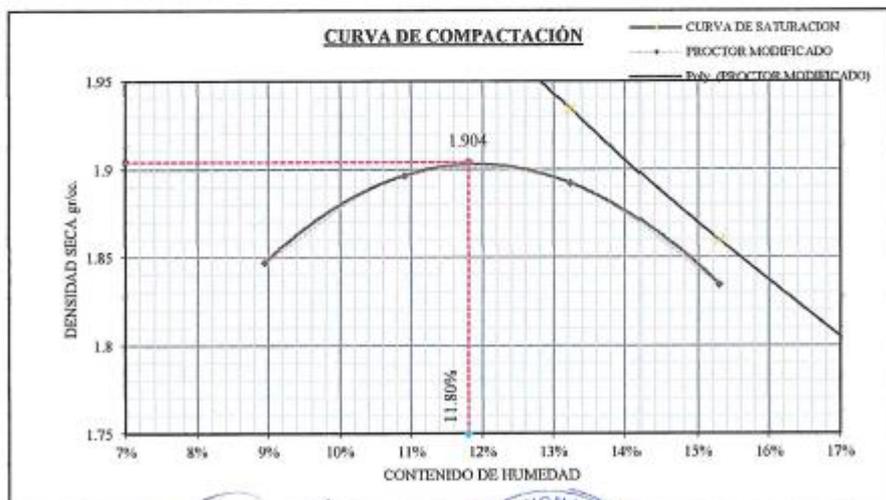
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y314, Bloque A, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6086	6172	6209	6183	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1898	1984	2021	1995	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.10	2.14	2.11	-
N° TARA		HR-17	M-09	HR-08	HR-24	-
Peso de la Tara	g	71.59	71.22	70.89	70.96	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	497.71	541.05	521.19	508.12	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	462.72	494.84	468.55	450.11	-
Peso del Agua	g	34.99	46.21	52.64	58.01	-
Peso del Suelo Seco	g	391.13	423.62	397.66	379.15	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.95	10.91	13.24	15.30	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.95	10.91	13.24	15.30	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.90	1.89	1.83	-
SATURACIÓN	%	2.11	2.03	1.93	1.86	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.904 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	11.80 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

*[Signature]*  
Dra. DELIA WACHER MARRON MACHUCA  
TITULO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAR

*[Signature]*  
Ing. Macintin  
de Siles y  
Hiel.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

*[Signature]*  
Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani  
EPIC DEL UNAR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

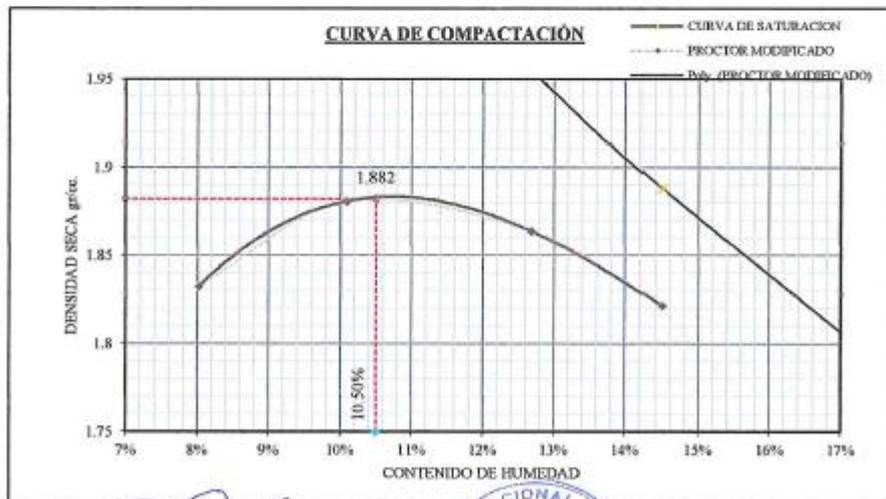
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y414, Bloque A, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	3
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6055	6141	6169	6155	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1867	1953	1981	1967	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.98	2.07	2.10	2.09	-
N° TARA	M-13	HR-02	M-15	M-11	-	-
Peso de la Tara	g	70.55	71.03	71.45	71.37	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	534.85	505.99	513.91	519.67	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	500.36	466.11	464.10	462.90	-
Peso del Agua	g	34.49	39.88	49.81	56.77	-
Peso del Suelo Seco	g	429.81	395.08	392.65	391.53	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.02	10.09	12.69	14.50	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.02	10.09	12.69	14.50	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.88	1.86	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.15	2.06	1.95	1.89	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.882 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.50 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. Fausto Ponciano Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

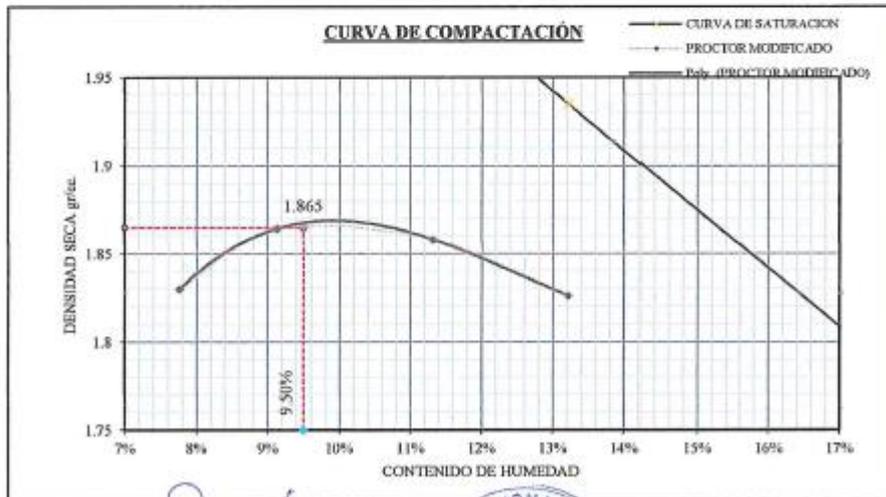
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** METODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y514, Bloque A, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata A  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6048	6107	6139	6138
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1860	1919	1951	1950
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.03	2.07	2.07
N° TARA	M-05	E-03	HR-02	M-07	-
Peso de la Tara	g	71.48	52.59	71.03	70.73
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	516.79	519.98	526.36	508.79
Peso del Suelo Seco + Tara	g	484.70	480.88	480.06	457.66
Peso del Agua	g	32.09	39.10	46.30	51.13
Peso del Suelo Seco	g	413.22	428.29	409.03	386.93
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.77	9.13	11.32	13.21
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.77	9.13	11.32	13.21
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.86	1.86	1.83
SATURACIÓN	%	2.16	2.10	2.01	1.93

<b>MÉTODO : A</b>	MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.865 gr/cc
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	9.50 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

*[Firma]*  
Dra. DE WAGNER HARRON VINCIGA  
COORDINADORA DEL LABORATORIO TECNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

JEFATURA  
Lab. Mecánico  
de Suelos y  
Mat.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani  
MSc. del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

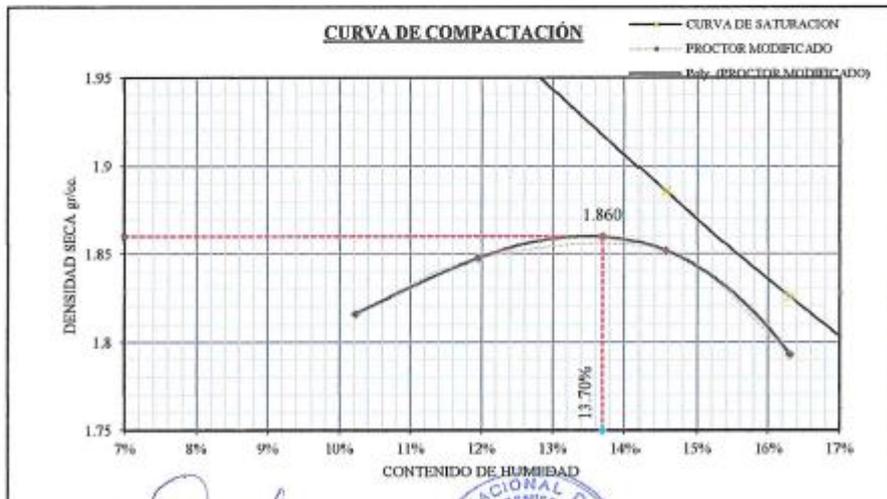
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y121, Bloque B, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10,15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11,65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6076	6139	6189	6155	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1888	1951	2001	1967	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.07	2.12	2.09	-
N° TARA		M-04	M-07	E-02	M-11	-
Peso de la Tara	g	71.29	70.73	52.97	71.37	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	514.81	533.10	513.73	543.12	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	473.67	483.73	455.15	476.98	-
Peso del Agua	g	41.14	49.37	58.58	66.14	-
Peso del Suelo Seco	g	402.38	413.00	402.18	405.61	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.22	11.95	14.57	16.31	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.22	11.95	14.57	16.31	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.85	1.85	1.79	-
SATURACIÓN	%	2.05	1.98	1.89	1.83	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.860 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.70 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TECNICO DE LABORATORIO PROVINCIA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Foulo Ponciano Marrón Medina  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

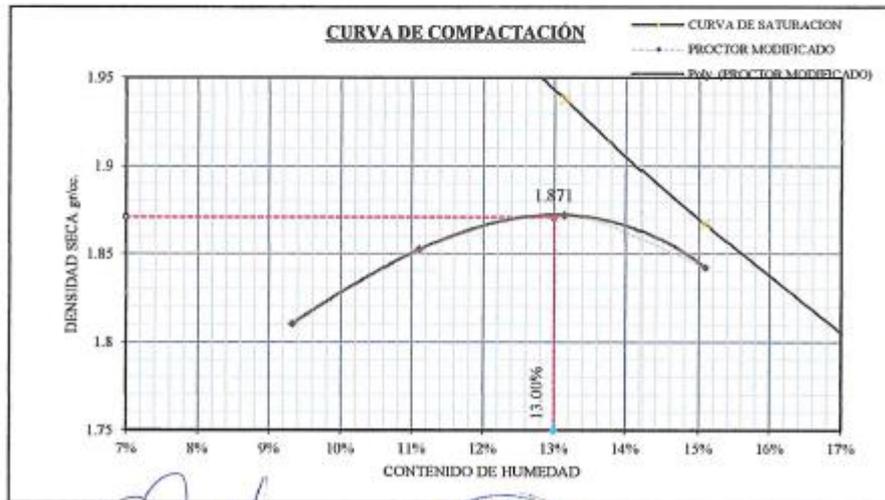
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y221, Bloque B, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicota B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				
No DE CAPAS	5	943 cc				
		M-1				
		GOLPES POR CAPA				
		25				
		5				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6055	6129	6186	6188	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1867	1941	1998	2000	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.98	2.06	2.12	2.12	-
N° TARA		HR-06	HR-21	M-01	M-13	-
Peso de la Tara	g	72.12	70.57	71.48	70.55	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	527.46	535.76	513.98	532.69	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	488.62	489.30	462.59	472.10	-
Peso del Agua	g	38.84	46.46	51.39	60.59	-
Peso del Suelo Seco	g	416.50	418.73	391.11	401.55	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.33	11.10	13.14	15.09	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.33	11.10	13.14	15.09	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.85	1.87	1.84	-
SATURACIÓN	%	2.09	2.02	1.94	1.87	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.871 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	13.00 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
 TÉCNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Flavio Ponce de Leon Alzamora  
 JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

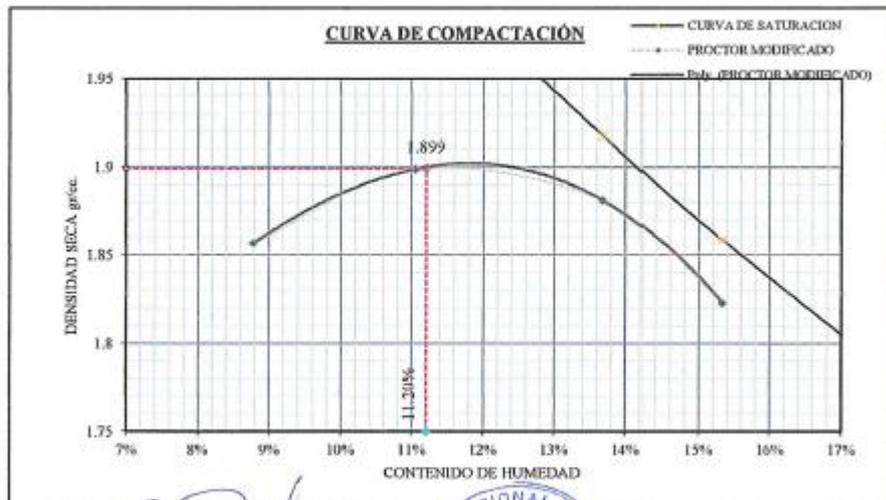
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **METODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y321, Bloque B, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6093	6177	6205	6171	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1905	1989	2017	1983	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.11	2.14	2.10	-
N° TARA		HR-19	M-05	HR-21	E-05	-
Peso de la Tara	g	72.54	71.48	70.57	53.80	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	511.84	512.65	507.98	513.67	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	476.39	468.73	455.34	452.52	-
Peso del Agua	g	35.45	43.92	52.64	61.15	-
Peso del Suelo Seco	g	403.85	397.25	384.77	398.72	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.78	11.06	13.68	15.34	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.78	11.06	13.68	15.34	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.90	1.88	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.12	2.02	1.92	1.86	-

<b>MÉTODO : A</b>	MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.899 gr/cc
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	11.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Bach. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TALLER DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Mat

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Posada  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

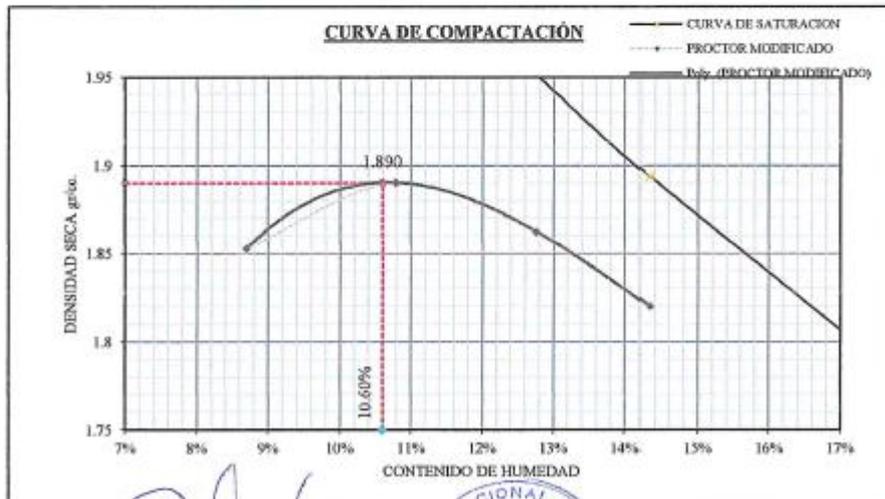
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y421, Bloque B, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
DIÁMETRO PROMEDIO : 10.15 cm  
ALTURA PROMEDIO : 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6088	6163	6169	6151	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1899.5	1975.4	1981	1963	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.09	2.10	2.08	-
N° TARA	M-10	HR-12	HR-14	HR-05	-	-
Peso de la Tara	g	70.58	71.28	70.73	70.92	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	525.78	502.37	531.46	531.53	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	489.37	460.38	479.29	473.79	-
Peso del Agua	g	36.41	41.99	52.17	57.74	-
Peso del Suelo Seco	g	418.79	389.10	408.56	402.87	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.69	10.79	12.77	14.33	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.69	10.79	12.77	14.33	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.89	1.86	1.82	-
SATURACION	%	2.12	2.03	1.95	1.89	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.890 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.60 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID WAGNER MARRON NACHACA  
TENDRÓ LA ORDEN TECNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fawilo Paredón Mamani Mamani  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

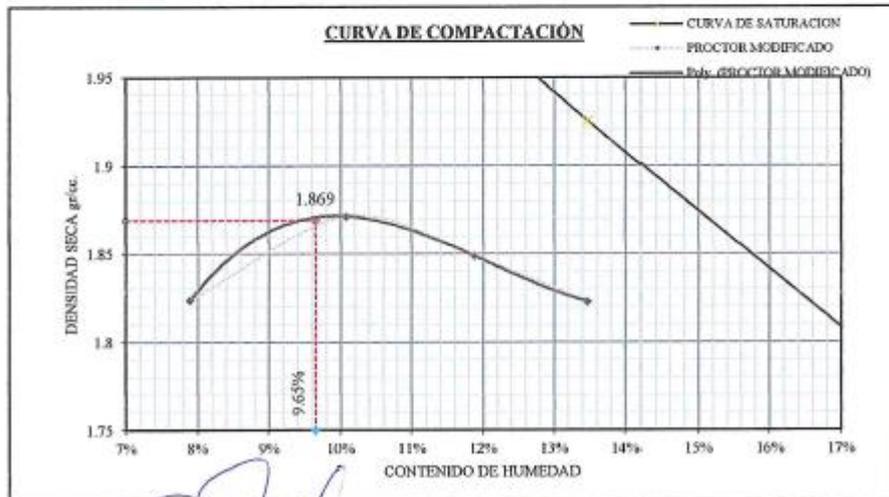
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **METODO B**

**REFERENCIA:** Espéccimen Y521, Bloque B, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6044	6131	6139	6139	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1856	1943	1951	1951	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.06	2.07	2.07	-
N° TARA	HR-05	HR-01	HR-24	HR-22		-
Peso de la Tara	g	70.92	71.10	70.96	72.52	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	540.09	504.40	523.13	537.43	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	505.75	464.73	475.13	482.24	-
Peso del Agua	g	34.34	39.67	48.00	55.19	-
Peso del Suelo Seco	g	434.83	393.63	404.17	409.72	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.90	10.08	11.88	13.47	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.90	10.08	11.88	13.47	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.87	1.85	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.16	2.06	1.99	1.93	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.869 gr/cc</b>
Gs : 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA :</b>	<b>9.65 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Sr. DEYVID YACNER MARRON MACHACA  
 TÉCNICO DE LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Epulso Paredano Magallan Mamani  
 JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

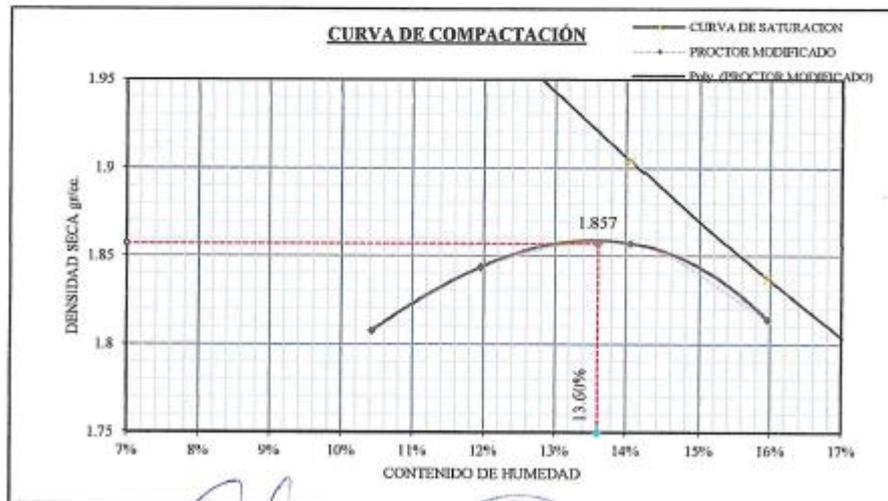
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y122, Bloque B, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6071	6135	6186	6172	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1883	1947	1998	1984	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.06	2.12	2.10	-
N° TARA	HR-03	HR-08	M-05	E-10	-	-
Peso de la Tara	g	72.54	70.89	71.48	54.23	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	516.35	529.01	517.90	525.58	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	474.42	480.08	462.87	460.70	-
Peso del Agua	g	41.93	48.93	55.03	64.88	-
Peso del Suelo Seco	g	401.88	409.19	391.39	406.47	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.43	11.96	14.06	15.96	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.43	11.96	14.06	15.96	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.84	1.86	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.04	1.98	1.90	1.84	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.857 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA	13.60 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYVID WAGNER MAURON RACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPG - UNAP

JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Met.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Eng. FIDELIA POPOLICAY MURIONI MAMANI  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

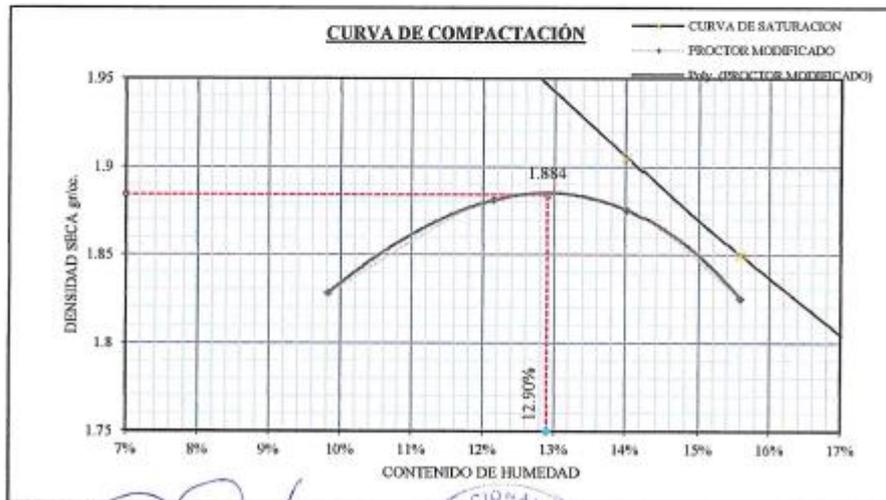
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y222, Bloque B, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	943 cc				5
		GOLPES POR CAPA				
		25				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6082	6178	6205	6178	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1894	1990	2017	1990	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.11	2.14	2.11	-
N° TARA	E-10	E-01	E-03	M-16	-	-
Peso de la Tara	g	54.23	53.74	52.59	71.13	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	523.34	504.01	509.28	538.67	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	481.36	455.22	453.13	475.61	-
Peso del Agua	g	41.98	48.79	56.15	63.06	-
Peso del Suelo Seco	g	427.13	401.48	400.54	404.48	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.83	12.15	14.02	15.59	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.83	12.15	14.02	15.59	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.88	1.88	1.83	-
SATURACIÓN	%	2.07	1.98	1.91	1.85	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.884 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	12.90 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Bach. DEYWD HINER MERRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
*[Signature]*  
Ing. Fousto Pinedo Alvarado Alvarado  
SUP. DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



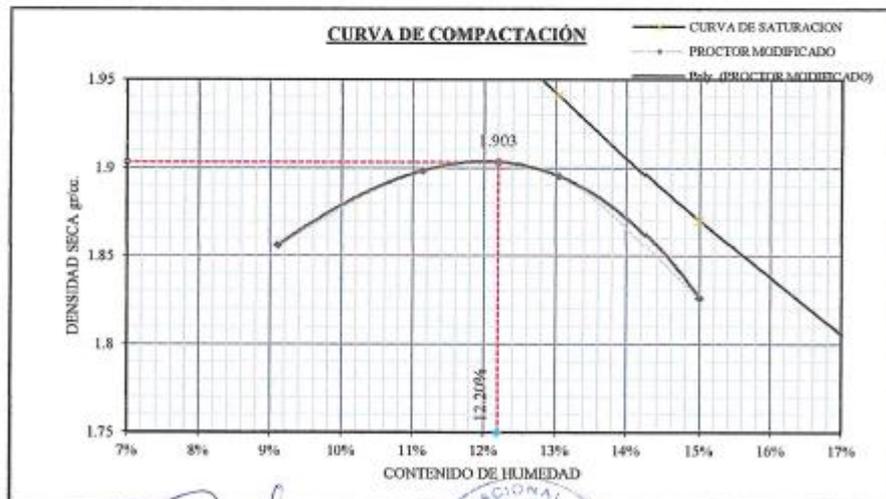
**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

**DATOS DE LA MUESTRA:** REFERENCIA: Espéccimen Y322, Bloque B, Repetición 2  
**DATOS DEL MOLDE:** CÁLCULO: No DE CAPAS: 5, VOLUMEN DEL MOLDE: 943 cc, M-1: 5  
**MÉTODO B**  
**DATOS DEL MOLDE**  
CALCATA: Calicata B DIÁMETRO PROMEDIO: 10.15 cm  
TRATAMIENTO: Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV ALTURA PROMEDIO: 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6098	6178	6209	6169	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1910	1990	2021	1981	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.11	2.14	2.10	-
N° TARA	E-09	HR-23	M-08	HR-24	-	-
Peso de la Tara	g	52.72	72.62	70.82	70.96	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	522.78	508.04	526.89	507.51	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	483.56	464.41	474.24	450.55	-
Peso del Agua	g	39.22	43.63	52.65	56.96	-
Peso del Suelo Seco	g	430.84	391.79	403.42	379.59	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.10	11.14	13.05	15.01	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.10	11.14	13.05	15.01	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.90	1.90	1.83	-
SATURACIÓN	%	2.10	2.02	1.94	1.87	-

<b>MÉTODO : A</b>	MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.903 gr/cc
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	12.20%



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Bach. DEYWILVA ESTER VARRON MACHACA  
TECNICO DEL LABORATORIO REGIONAL DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Piedad Patricia Mamani Mamani  
RPE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

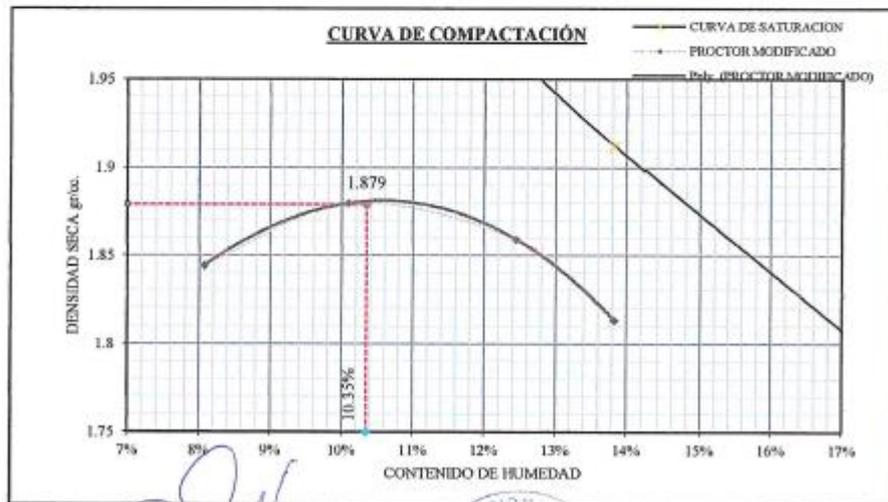
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y422, Bloque B, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
DIÁMETRO PROMEDIO : 10.15 cm  
ALTURA PROMEDIO : 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6068	6140	6160	6135
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1880	1952	1972	1947
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.07	2.09	2.06
N° TARA	E-06	M-11	HR-16	M-07	-
Peso de la Tara	g	54.34	71.37	71.20	70.73
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	513.68	501.25	513.32	494.74
Peso del Suelo Seco + Tara	g	479.36	461.83	464.36	443.22
Peso del Agua	g	34.32	39.42	48.96	51.52
Peso del Suelo Seco	g	425.02	390.46	393.16	372.49
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.07	10.10	12.45	13.83
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.07	10.10	12.45	13.83
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.88	1.86	1.81
SATURACIÓN	%	2.15	2.06	1.96	1.91

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.879 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	10.35 %



OBSERVACIONES: La Mostrita y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Ing. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Pancocha Alvarado Mendi  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

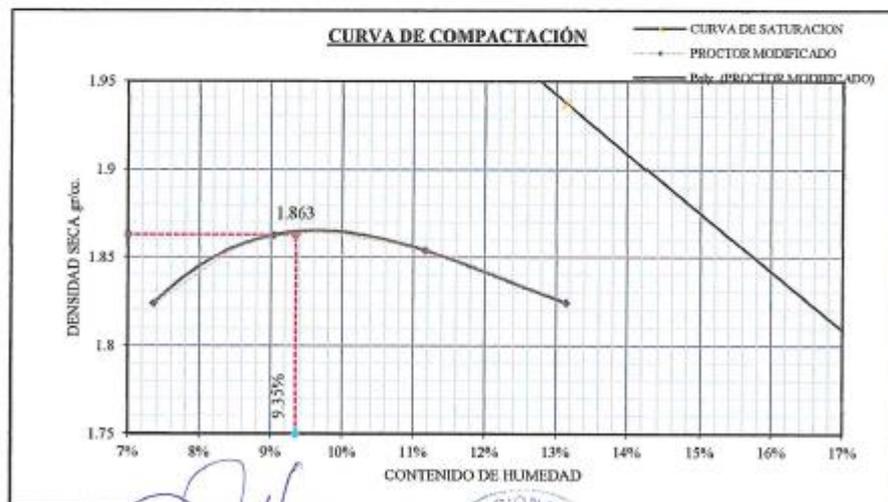
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y522, Bloque B, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6035	6104	6132	6135
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1847	1916	1944	1947
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.96	2.03	2.06	2.06
N° TARA	HR-12	M-03	HR-03	E-10	-
Peso de la Tara	g	70.73	70.70	72.54	54.23
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	497.19	529.68	525.29	481.96
Peso del Suelo Seco + Tara	g	467.95	491.62	479.81	432.27
Peso del Agua	g	29.24	38.06	45.48	49.69
Peso del Suelo Seco	g	397.22	420.92	407.27	378.04
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.36	9.04	11.17	13.14
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.36	9.04	11.17	13.14
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.86	1.85	1.82
SATURACIÓN	%	2.18	2.10	2.01	1.94

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.863 gr/cc
Gs:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	9.35 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYVID WAGNER MARRON NACHACA  
TÉCNICO DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Porcayo Alzamora Moriconi  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestría - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

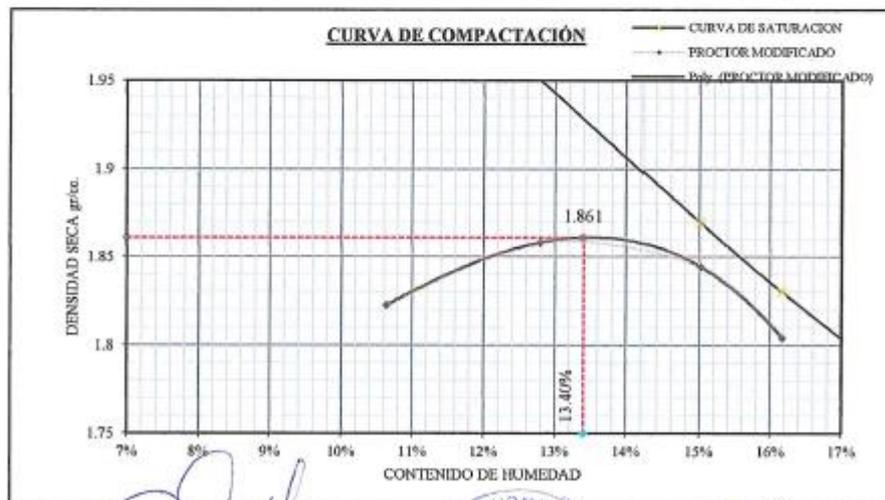
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y123, Bloque B, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6090	6165	6189	6165	-	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1902	1977	2001	1977	-	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.10	2.12	2.10	-	-
N° TARA		E-09	HR-01	M-10	M-04	-	-
Peso de la Tara	g	52.72	71.10	70.58	71.29	-	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	501.36	506.64	520.65	498.58	-	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	458.23	457.22	461.87	439.11	-	-
Peso del Agua	g	43.13	49.42	58.78	59.47	-	-
Peso del Suelo Seco	g	405.51	386.12	391.29	367.82	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.64	12.80	15.02	16.17	-	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.64	12.80	15.02	16.17	-	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.86	1.84	1.80	-	-
SATURACION	%	2.04	1.95	1.87	1.83	-	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.861 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.40 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Posadas Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

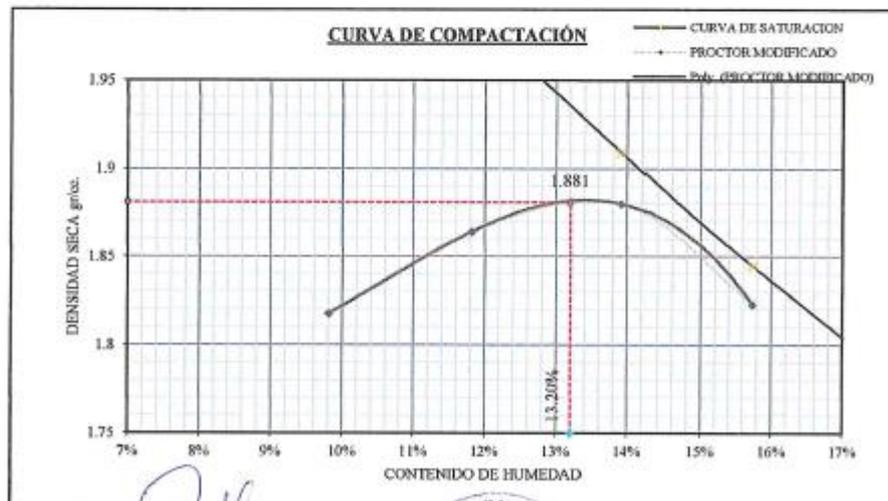
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y223, Bloque B, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
DIÁMETRO PROMEDIO : 10.15 cm  
ALTURA PROMEDIO : 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6071	6134	6208	6178	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1882.8	1966.2	2020	1990	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.08	2.14	2.11	-
N° TARA	E-06	HR-01	E-10	M-05	-	-
Peso de la Tara	g	54.34	71.10	54.23	71.48	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	484.14	541.32	502.16	518.42	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	445.73	491.62	447.45	457.65	-
Peso del Agua	g	38.41	49.70	54.71	60.77	-
Peso del Suelo Seco	g	391.39	420.52	393.22	386.17	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.81	11.82	13.91	15.74	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.81	11.82	13.91	15.74	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.86	1.88	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.07	1.99	1.91	1.84	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.881 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fructo Pascual Zamora Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

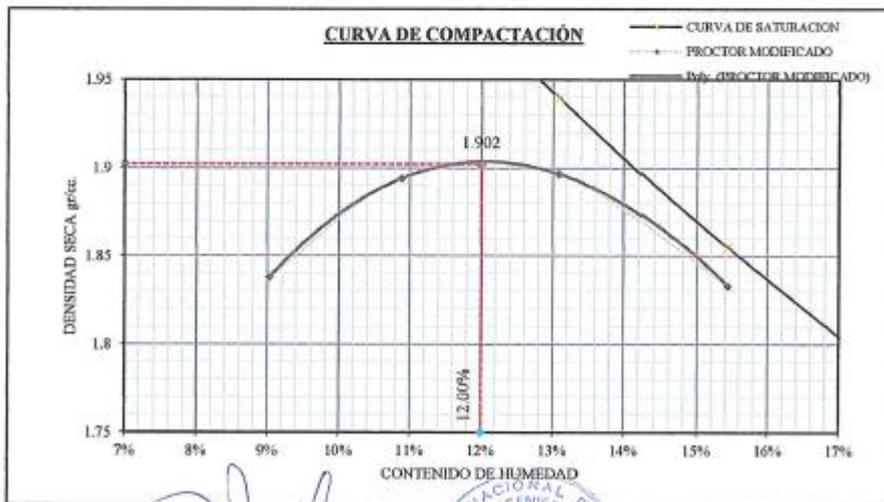
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y323, Bloque B, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6078	6169	6211	6184	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1890	1981	2023	1996	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.10	2.14	2.12	-
N° TARA	M-06	HR-12	M-12	M-08	-	
Peso de la Tara	g	71.38	71.28	70.72	70.82	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	528.40	517.05	503.68	528.16	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	490.56	473.29	453.58	466.99	-
Peso del Agua	g	37.84	43.76	50.10	61.17	-
Peso del Suelo Seco	g	419.18	402.01	382.86	396.17	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.03	10.89	13.09	15.44	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.03	10.89	13.09	15.44	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.89	1.90	1.83	-
SATURACION	%	2.11	2.03	1.94	1.85	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.902 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA :</b>	<b>12.00 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Ing. DEBORA ROSA AMORIM WACHACA  
TECNICO DEL LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. PAVLO PATRICIO RAMONI MAMANI  
INGENIERO DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

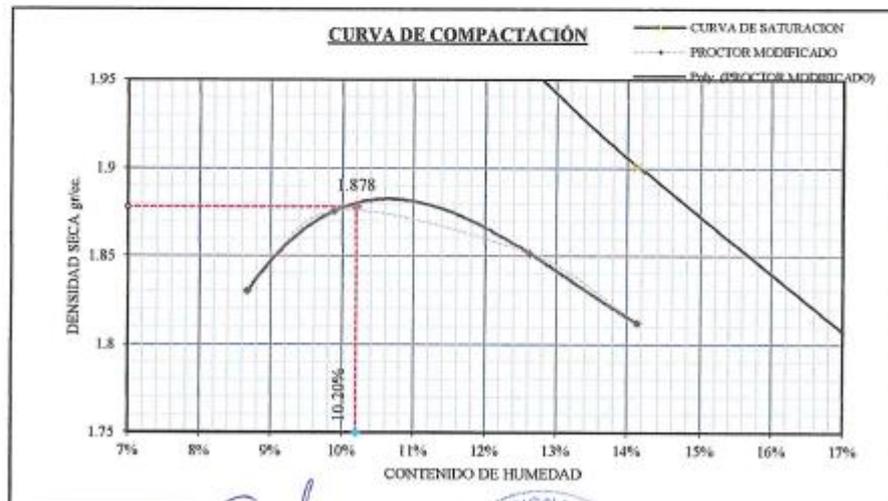
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y423, Bloque B, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			
No DE CAPAS	5	943 cc			
		M-1			
		GOLPES POR CAPA			
		25			
		5			
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6064	6132	6155	6139
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1876	1944	1967	1951
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.06	2.09	2.07
Nº TARA		HR-22	HR-14	E-08	HR-13
Peso de la Tara	g	72.52	70.73	53.99	71.73
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	506.86	508.04	504.99	509.50
Peso del Suelo Seco + Tara	g	472.20	468.70	454.43	455.26
Peso del Agua	g	34.66	39.34	50.56	54.24
Peso del Suelo Seco	g	399.68	397.97	400.44	383.53
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.67	9.89	12.63	14.14
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.67	9.89	12.63	14.14
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.88	1.85	1.81
SATURACIÓN	%	2.12	2.07	1.96	1.90

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.878 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Dr. DEYVID WAGNER MARRON MASHICA  
 TITULAR DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Faustino Fariñas Almonaci Mamani  
 RFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

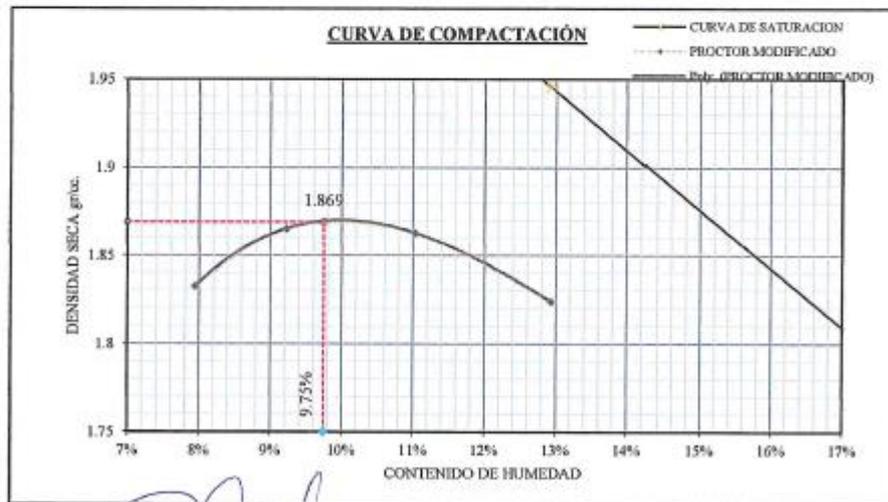
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y523, Bloque B, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
DIÁMETRO PROMEDIO : 10.15 cm  
ALTURA PROMEDIO : 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6054	6110	6139	6131	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1866	1922	1951	1943	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.98	2.04	2.07	2.06	-
N° TARA	M-09	-	M-12	E-02	-	-
Peso de la Tara	g	71.22	71.28	70.72	52.97	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	531.86	513.26	492.38	495.65	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	497.95	475.91	450.47	444.95	-
Peso del Agua	g	33.91	37.35	41.91	50.70	-
Peso del Suelo Seco	g	426.73	404.63	379.75	391.98	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.95	9.23	11.04	12.93	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.95	9.23	11.04	12.93	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.87	1.86	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.15	2.10	2.02	1.95	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.869 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	9.75 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. BERNARDO ENRIQUE TARRON MACARIACA  
TÉCNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Ricardo Luciano Mamani Mamani  
LABORADOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



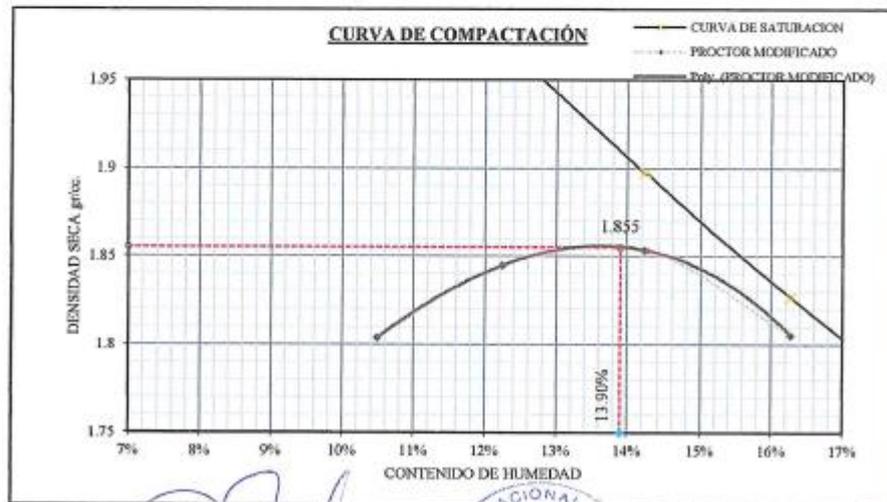
**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B  
**REFERENCIA:** Espécimen Y124, Bloque B, Repetición 4 **DATOS DEL MOLDE**  
**CALICATA:** Calicata B **DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV **ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6068	6141	6185	6168	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1880	1953	1997	1980.1	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.07	2.12	2.10	-
N° TARA		E-07	M-12	M-08	HR-24	-
Peso de la Tara	g	52.58	70.72	70.82	70.96	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	480.12	523.45	542.12	532.16	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	439.51	474.07	483.38	467.59	-
Peso del Agua	g	40.61	49.38	58.74	64.57	-
Peso del Suelo Seco	g	386.93	403.35	412.56	396.63	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.50	12.24	14.24	16.28	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.50	12.24	14.24	16.28	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.84	1.85	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.04	1.97	1.90	1.83	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.855 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.90 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Ing. DEYWID WAGNER MARRON MACHACA  
JEFE DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. Fouslo Peralta Mazoni Mamani  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

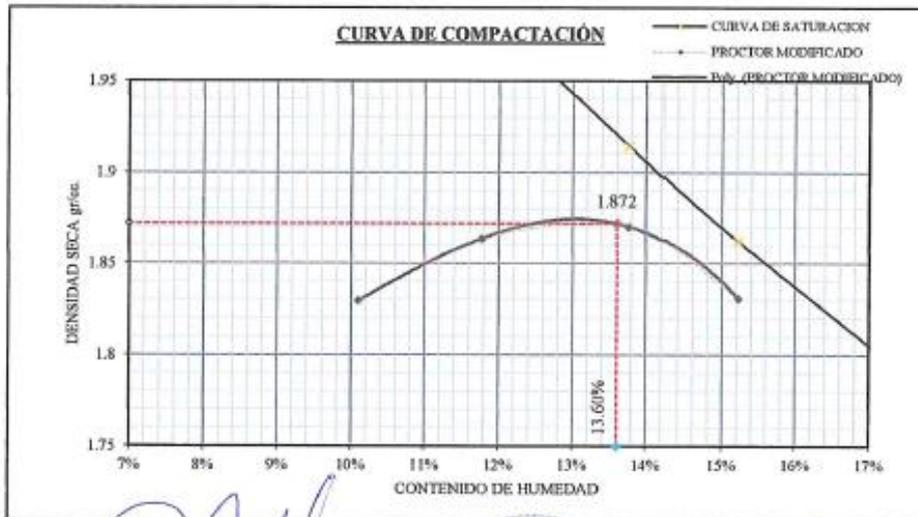
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y224, Bloque B, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				23	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6088	6153	6195	6178	-	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1900	1965	2007	1990	-	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.08	2.13	2.11	-	-
N° TARA		E-08	HR-03	HR-01	HR-14	-	-
Peso de la Tara	g	53.99	72.54	71.10	70.73	-	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	527.37	504.10	499.98	528.79	-	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	483.93	458.63	448.07	468.26	-	-
Peso del Agua	g	43.44	45.47	51.91	60.53	-	-
Peso del Suelo Seco	g	429.94	386.09	376.97	397.53	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.10	11.78	13.77	15.23	-	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.10	11.78	13.77	15.23	-	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.86	1.87	1.83	-	-
SATURACIÓN	%	2.06	1.99	1.91	1.86	-	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.872 gr/cc
Gs:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA	13.60 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el Solicitante.

Bach. VERÓNICA MARIAMON MAMANI  
MEMBRO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponceiro Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez.  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

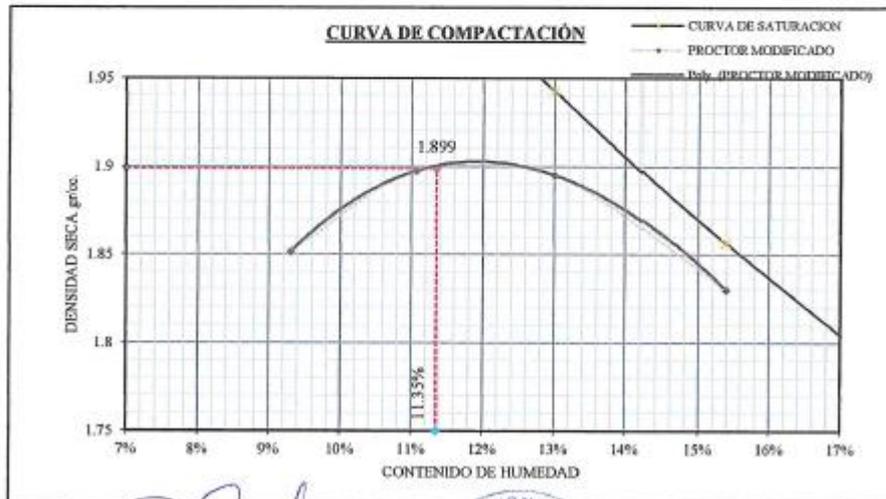
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y324, Bloque B, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
DIÁMETRO PROMEDIO : 10.15 cm  
ALTURA PROMEDIO : 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6097	6176	6208	6180
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1909	1988	2020	1992
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.11	2.14	2.11
N° TARA	HR-02	HR-22	HR-08	M-11	-
Peso de la Tara	g	71.03	72.52	70.89	71.37
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	507.68	509.28	507.45	511.23
Peso del Suelo Seco + Tara	g	470.51	465.74	457.19	452.55
Peso del Agua	g	37.17	43.54	50.26	58.68
Peso del Suelo Seco	g	399.48	393.22	386.30	381.18
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.30	11.07	13.01	15.39
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.30	11.07	13.01	15.39
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.90	1.89	1.83
SATURACIÓN	%	2.09	2.02	1.94	1.86

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.899 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	11.35 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Dra. CLEYDA WAGNER HARRON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

*[Signature]*  
Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

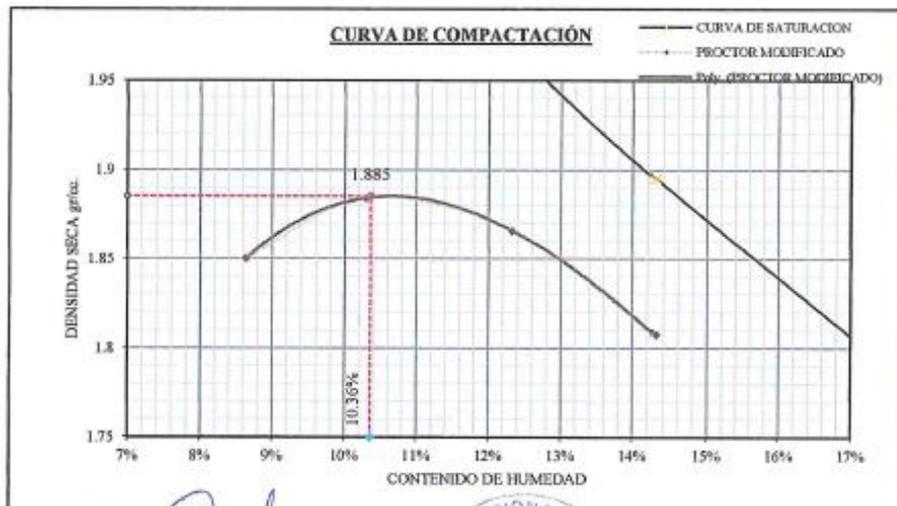
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y424, Bloque B, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6084	6148	6165	6137	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1895.8	1960	1977	1948.9	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.08	2.10	2.07	-
N° TARA	M-02	E-06	HR-13	HR-03	-	-
Peso de la Tara	g	71.25	54.34	71.73	72.54	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	535.77	495.10	501.80	506.19	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	498.85	453.96	454.58	451.94	-
Peso del Agua	g	36.92	41.14	47.22	54.25	-
Peso del Suelo Seco	g	427.60	399.62	382.85	379.40	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.63	10.29	12.33	14.30	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.63	10.29	12.33	14.30	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.88	1.87	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.12	2.05	1.97	1.90	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.885 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.36 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. Edwin James Medina Alvarez  
DIRECTOR DEL LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Freddy Marcelo Morón Morón  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Febrero 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

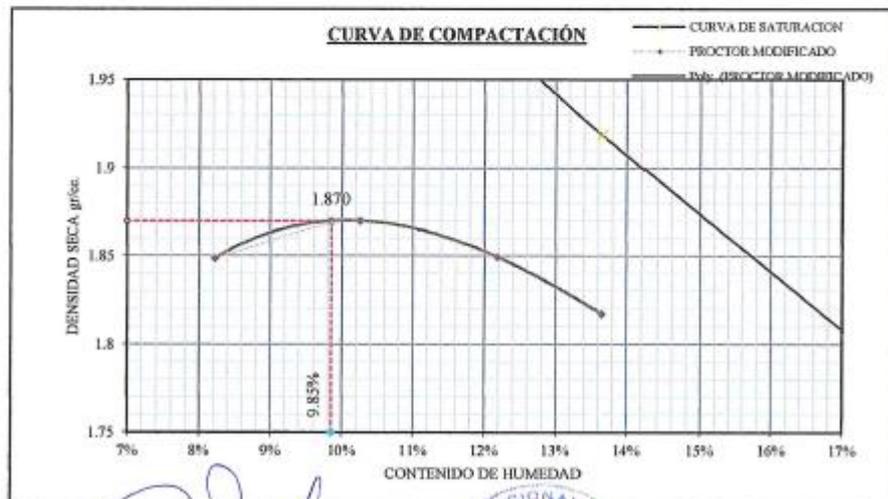
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y524, Bloque B, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata B  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-3 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6075	6133	6145	6136
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1887	1945	1957	1948
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.06	2.07	2.07
N° TARA	E-07	HR-23	HR-07	E-08	-
Peso de la Tara	g	52.58	72.62	72.54	53.99
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	504.96	509.95	537.34	517.36
Peso del Suelo Seco + Tara	g	470.60	469.26	486.82	461.70
Peso del Agua	g	34.36	40.69	50.52	55.66
Peso del Suelo Seco	g	418.02	396.64	414.28	407.71
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.22	10.26	12.19	13.65
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.22	10.26	12.19	13.65
DENSIDAD SECA DEL SURLO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.87	1.85	1.82
SATURACIÓN	%	2.14	2.05	1.97	1.92

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.870 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA	9.85 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Bach. DEYVY WALTER RAMIRO RACHUCA  
TOMO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Fausto Porcelano Mazoni Mazoni  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

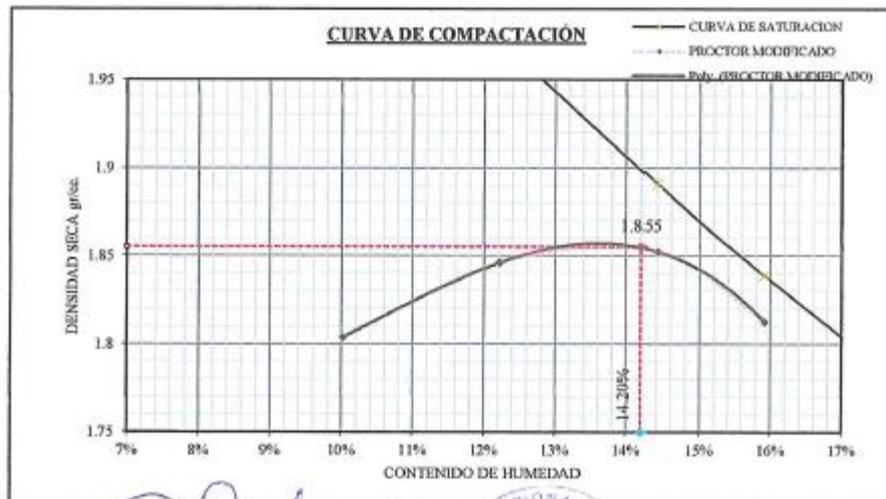
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y131, Bloque C, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6060	6142	6187	6170	-	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1872	1954	1999	1982	-	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.98	2.07	2.12	2.10	-	-
N° TARA	E-06	HR-11	HR-17	E-05	-	-	-
Peso de la Tara	g	54.34	71.82	71.59	53.80	-	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	514.22	542.41	545.78	514.85	-	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	472.31	491.16	486.03	451.54	-	-
Peso del Agua	g	41.91	51.25	59.75	63.31	-	-
Peso del Suelo Seco	g	417.97	419.34	414.44	397.74	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.03	12.22	14.42	15.92	-	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.03	12.22	14.42	15.92	-	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.85	1.85	1.81	-	-
SATURACIÓN	%	2.06	1.97	1.89	1.84	-	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.855 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA	14.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dra. Evelyn HERNANDEZ MARRON WACHACA  
 TITULAR DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Froylan Ponce de Leon Mamani  
 TITULAR DEL LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Froylan Ponce de Leon Mamani  
 TITULAR DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

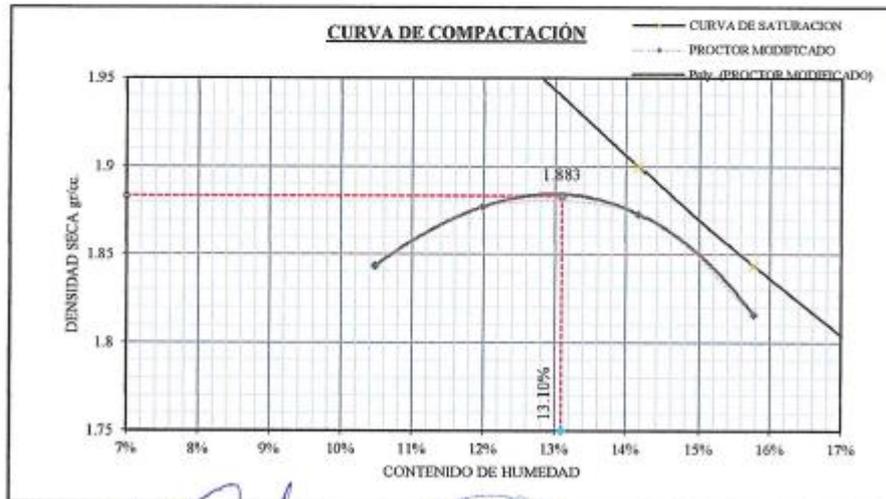
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y231, Bloque C, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	943 cc			5
		GOLPES POR CAPA			
		25			
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6109	6171	6205	6171
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1921	1983	2017	1983
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.04	2.10	2.14	2.10
N° TARA		HR-14	HR-03	M-15	E-09
Peso de la Tara	g	70.73	72.54	71.45	52.72
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	506.01	519.52	532.03	522.87
Peso del Suelo Seco + Tara	g	464.75	471.65	474.86	458.82
Peso del Agua	g	41.28	47.87	57.17	64.05
Peso del Suelo Seco	g	394.00	399.11	403.41	406.10
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.48	11.99	14.17	15.77
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.48	11.99	14.17	15.77
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.88	1.87	1.82
SATURACIÓN	%	2.04	1.98	1.90	1.84

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.883 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.10 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Dra. DEYAN WAGNER MARRON NACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fawcett Ponciano Marmori Marmori  
EFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

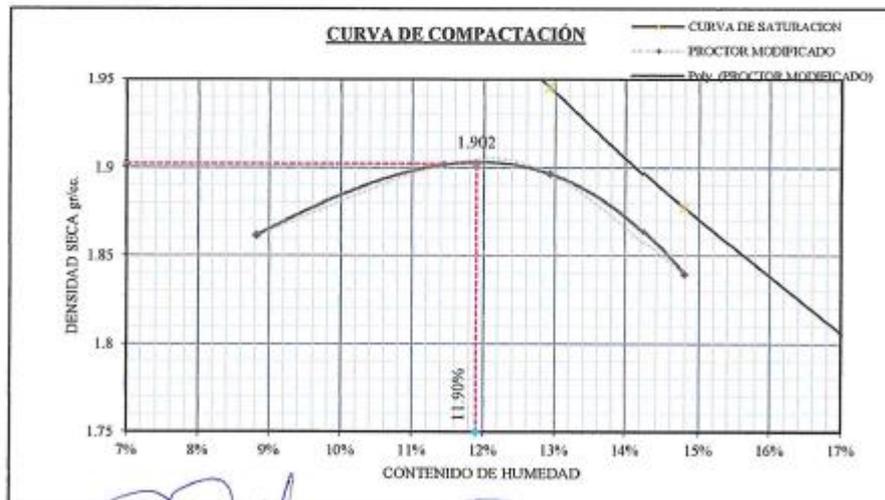
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y331, Bloque C, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata C **DATOS DEL MOLDE**  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV **DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6099	6187	6208	6180	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1911	1999	2020	1992	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.03	2.12	2.14	2.11	-
N° TARA		HR-11	HR-08	M-16	M-11	-
Peso de la Tara	g	71.82	70.89	71.13	71.37	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	517.04	548.29	507.75	546.85	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	480.94	499.24	457.77	485.56	-
Peso del Agua	g	36.10	49.05	49.98	61.29	-
Peso del Suelo Seco	g	409.12	428.35	386.64	414.19	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.82	11.45	12.93	14.80	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.82	11.45	12.93	14.80	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.90	1.90	1.84	-
SATURACIÓN	%	2.11	2.00	1.95	1.88	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.902 gr/cc
Gs:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA	11.90 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

RODOLFO WACHNER HERRON WACHACA  
 TITULAR DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Fausto Fortunato Marzoni Mamani  
 JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

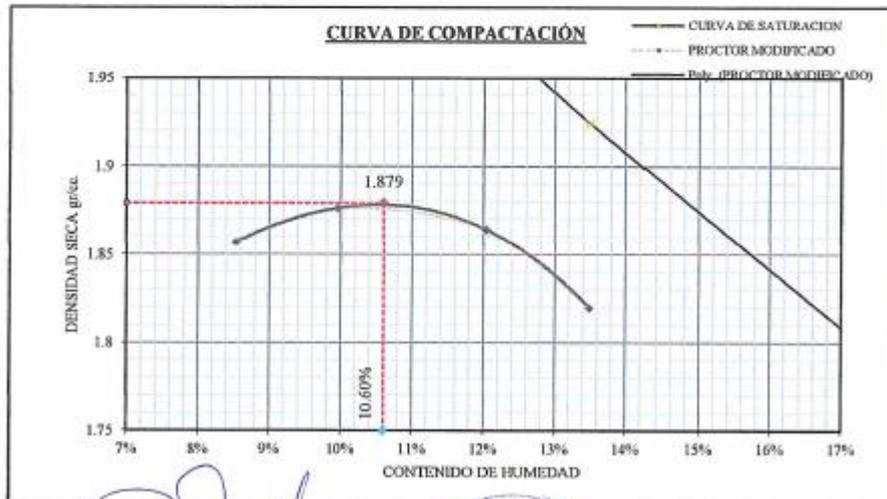
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y431, Bloque C, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	6089	6134	6158	6136	-
Peso del Molde	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	1901	1946	1970	1948	-
Densidad del Suelo Húmedo	2.02	2.06	2.09	2.07	-
Nº TARA	HR-12	HR-17	HR-21	HR-13	-
Peso de la Tara	71.28	71.59	70.57	71.73	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	517.69	530.82	505.62	500.95	-
Peso del Suelo Seco + Tara	482.59	489.21	458.87	449.92	-
Peso del Agua	35.10	41.61	46.75	51.03	-
Peso del Suelo Seco	411.31	417.62	388.30	378.19	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.53	9.96	12.04	13.49	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	8.53	9.96	12.04	13.49	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	1.86	1.88	1.86	1.82	-
SATURACIÓN	2.13	2.06	1.98	1.92	-

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.879 gr/cc</b>
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA :</b>	<b>10.60 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

**Edwin James Medina Alvarez**  
Bach. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
TOMADO DE LABORATORIO TECNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecánica  
de Suelos y  
Mat.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Fonceña Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

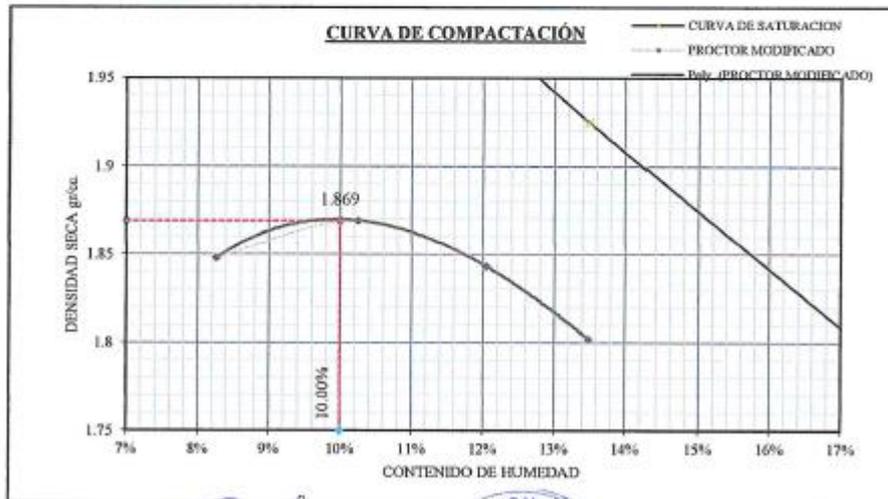
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y531, Bloque C, Repetición 1  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	943 cc				M-1
		GOLPES POR CAPA				5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6075	6132	6136	6117	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1887	1944	1948	1929	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.06	2.07	2.05	-
N° TARA	M-02	HR-23	E-03	HR-13		
Peso de la Tara	g	71.25	72.62	52.59	71.73	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	493.32	500.23	511.20	530.56	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	461.12	460.46	461.90	476.04	-
Peso del Agua	g	32.20	39.77	49.30	54.52	-
Peso del Suelo Seco	g	389.87	387.84	409.31	404.31	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.26	10.25	12.04	13.48	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.26	10.25	12.04	13.48	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.87	1.84	1.80	-
SATURACIÓN	%	2.14	2.05	1.98	1.92	-

<b>MÉTODO : A</b>		<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.869 gr/cc</b>
Gs :	2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA :</b>	<b>10.00 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
Ing. Edwin James Medina Alvarez  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
JEFATURA  
Lab. Mecánica de Suelos y Mat.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Faustino Pascual Mamani Mamani  
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

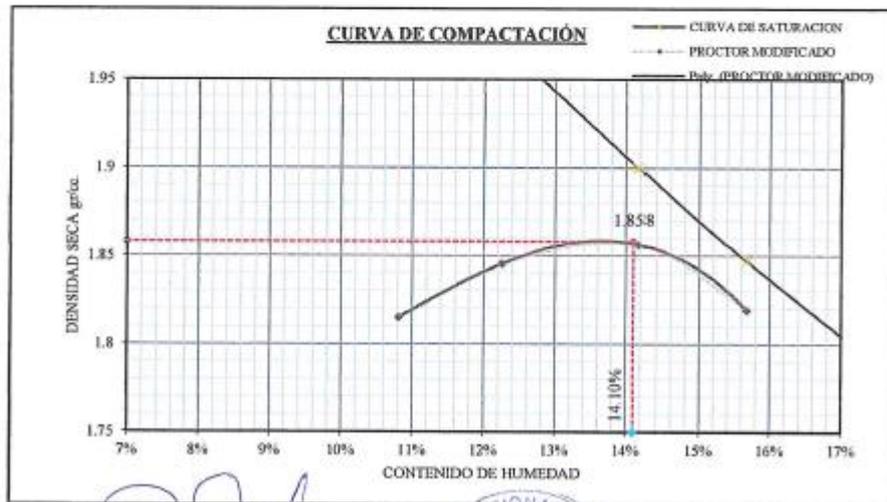
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y132, Bloque C, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	943 cc				5
		GOLPES POR CAPA				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6085	6142	6187	6173	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1897	1954	1999	1985	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.01	2.07	2.12	2.10	-
N° TARA		HR-21	HR-04	HR-16	HR-12	-
Peso de la Tara	g	70.57	72.35	71.20	71.28	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	543.33	506.43	524.05	535.60	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	497.21	459.03	467.85	472.68	-
Peso del Agua	g	46.12	47.40	56.20	62.92	-
Peso del Suelo Seco	g	426.64	386.68	396.65	401.40	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.81	12.26	14.17	15.68	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.81	12.26	14.17	15.68	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.85	1.86	1.82	-
SATURACIÓN	%	2.03	1.97	1.90	1.85	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.858 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	14.10 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Edwin JAMES MEDINA ALVAREZ  
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



Ing. Fausto Pineda Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

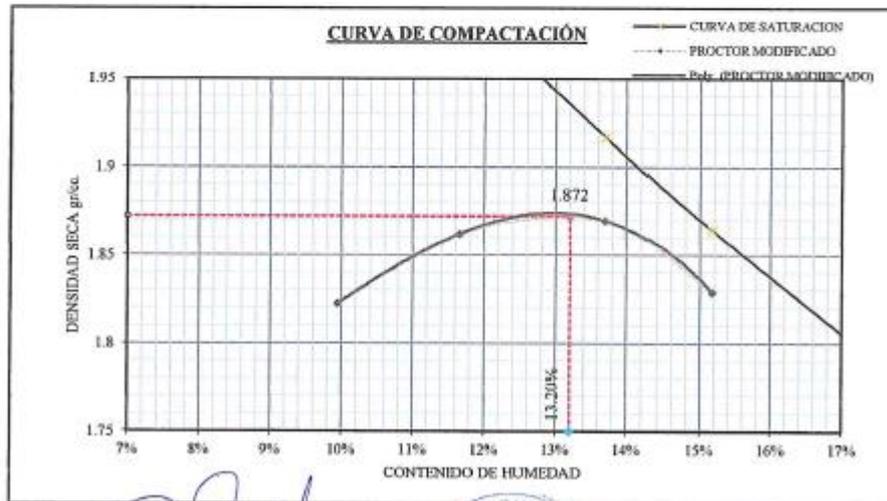
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y232, Bloque C, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6078	6149	6193	6175	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1890	1961	2005	1987	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.08	2.13	2.11	-
N° TARA		HR-07	HR-13	HR-06	E-06	-
Peso de la Tara	g	72.54	71.73	72.12	54.34	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	509.16	509.85	540.88	516.47	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	469.65	464.11	484.40	455.58	-
Peso del Agua	g	39.51	45.74	56.48	60.89	-
Peso del Suelo Seco	g	397.11	392.38	412.28	401.24	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.95	11.66	13.70	15.18	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.95	11.66	13.70	15.18	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.86	1.87	1.83	-
SATURACIÓN	%	2.07	1.99	1.92	1.86	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.872 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.20 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Recl. DEYWID WAGNER MARRON TASHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fouzlo Paredes Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

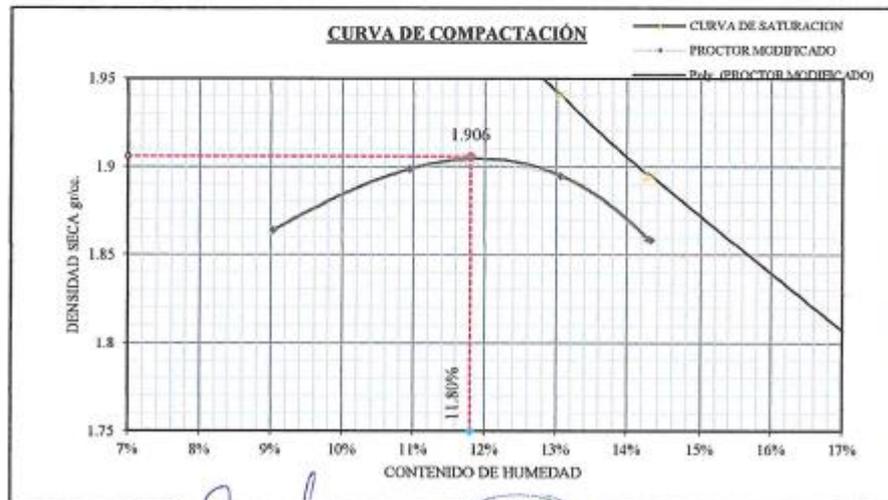
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y332, Bloque C, Repetición 2  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	943 cc				5
		GOLPES POR CAPA				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6105	6175	6209	6192	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1917	1987	2021	2004	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.03	2.11	2.14	2.12	-
N° TARA		E-05	HR-06	M-03	HR-23	-
Peso de la Tara	g	53.80	72.12	70.70	72.62	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	501.91	534.65	509.23	517.88	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	464.79	489.01	458.55	462.16	-
Peso del Agua	g	37.12	45.64	50.68	55.72	-
Peso del Suelo Seco	g	410.99	416.89	387.85	389.54	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.03	10.95	13.07	14.30	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.03	10.95	13.07	14.30	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.90	1.89	1.86	-
SATURACIÓN	%	2.11	2.02	1.94	1.89	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.906 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	11.80 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYWILWAGNER MARRON MACHACA  
TÉCNICO DE LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Poncebano Mamani Mantua  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



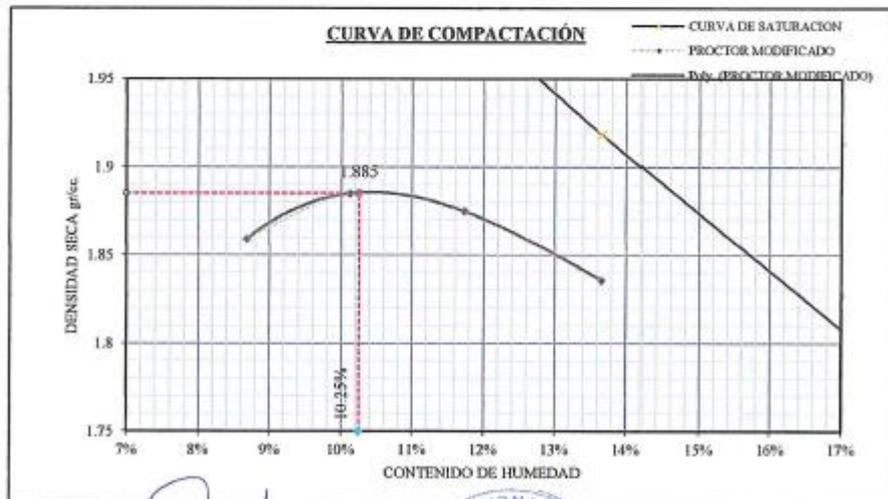
**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**  
**REFERENCIA:** Espécimen Y432, Bloque C, Repetición 2 **DATOS DEL MOLDE**  
**CALICATA:** Calicata C **DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV **ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5	
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6094	6146	6164	6156	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1906	1958	1976	1968	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.08	2.09	2.09	-
N° TARA		E-05	E-08	HR-03	HR-13	-
Peso de la Tara	g	53.80	53.99	72.54	71.73	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	486.92	495.85	526.19	521.87	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	452.32	455.21	478.54	467.77	-
Peso del Agua	g	34.60	40.64	47.65	54.10	-
Peso del Suelo Seco	g	398.52	401.22	406.00	396.04	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.68	10.13	11.74	13.66	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.68	10.13	11.74	13.66	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.88	1.87	1.84	-
SATURACIÓN	%	2.12	2.06	1.99	1.92	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.885 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.25 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

*[Signature]*  
**Dr. DEYDÉ WAGNER MARRON MACHACA**  
 TÉCNICO LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP



*[Signature]*  
**Ing. Forstó Planchón Marmón Mamani**  
 JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

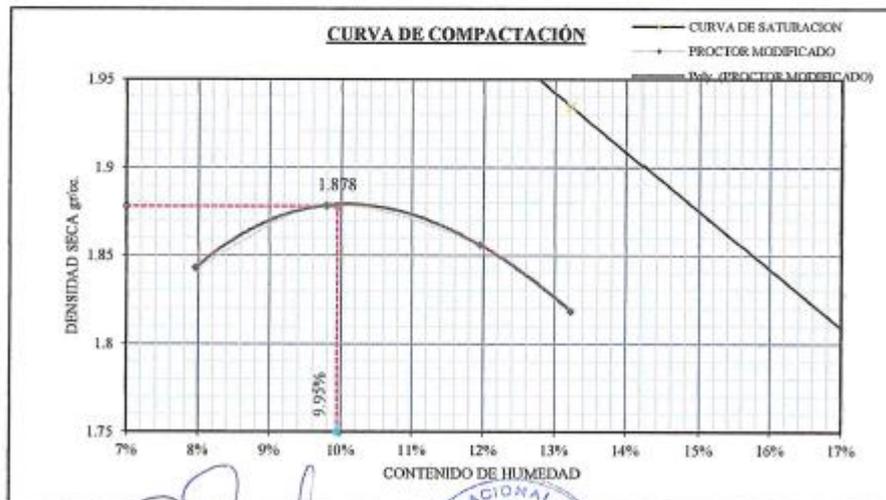
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y532, Bloque C, Repetición 2 **DATOS DEL MOLDE**  
**CALICATA:** Calicata C **DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV **ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6065	6134	6148	6130
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1877	1945.5	1960	1942.3
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.06	2.08	2.06
N° TARA	M-14	HR-07	M-05	HR-15	-
Peso de la Tara	g	71.42	72.54	71.48	71.84
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	502.43	524.33	493.45	495.39
Peso del Suelo Seco + Tara	g	470.62	484.01	448.38	445.91
Peso del Agua	g	31.81	40.32	45.07	49.48
Peso del Suelo Seco	g	399.20	411.47	376.90	374.07
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.97	9.80	11.96	13.23
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.97	9.80	11.96	13.23
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.88	1.86	1.82
SATURACIÓN	%	2.15	2.07	1.98	1.93

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.878 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	9.95 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Bach. DEIVY ANTONIO MARRON MACHACA  
TECNICO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponciano Mariani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
(ASTM D 1557-12)

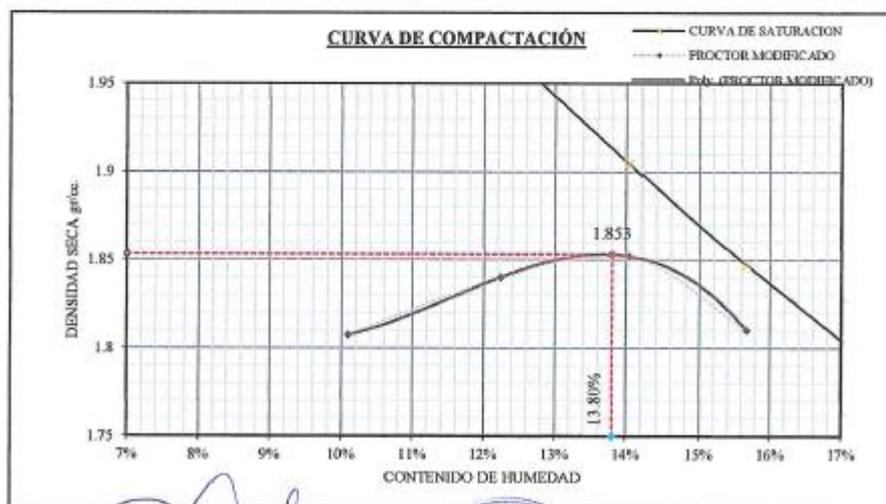
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y133, Bloque C, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
DIÁMETRO PROMEDIO : 10.15 cm  
ALTURA PROMEDIO : 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g 6065	6136	6180	6163	-
Peso del Molde	g 4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g 1877	1948	1992	1975	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup> 1.99	2.07	2.11	2.09	-
N° TARA	E-10	E-03	E-06	HR-17	-
Peso de la Tara	g 54.23	52.59	54.34	71.59	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g 512.43	494.52	524.44	526.85	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g 470.39	446.33	466.57	465.18	-
Peso del Agua	g 42.04	48.19	57.87	61.67	-
Peso del Suelo Seco	g 416.16	393.74	412.23	393.59	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	% 10.10	12.24	14.04	15.67	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	% 10.10	12.24	14.04	15.67	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup> 1.81	1.84	1.85	1.81	-
SATURACIÓN	% 2.06	1.97	1.90	1.85	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.853 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA :	13.80 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYVID WALTER TAMAYO TACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Panchano Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

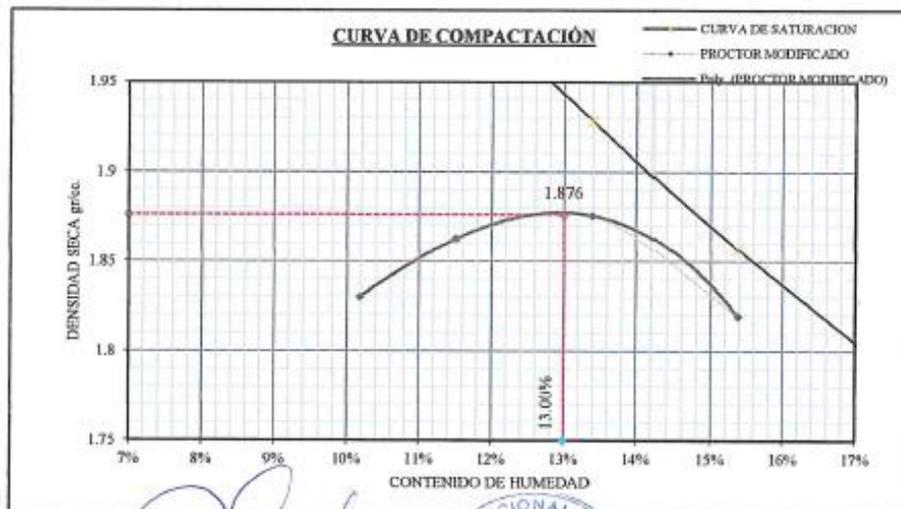
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y233, Bloque C, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	943 cc			5
		GOLPES POR CAPA			
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6090	6147	6194	6168
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1902	1959	2006	1980
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.02	2.08	2.13	2.10
<b>N° TARA</b>		<b>HR-23</b>	<b>E-09</b>	<b>HR-13</b>	<b>E-05</b>
Peso de la Tara	g	72.62	52.72	71.73	53.80
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	547.40	528.03	500.03	500.06
Peso del Suelo Seco + Tara	g	503.53	478.97	449.44	440.57
Peso del Agua	g	43.87	49.06	50.59	59.49
Peso del Suelo Seco	g	430.91	426.25	377.71	386.77
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.18	11.51	13.39	15.38
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.18	11.51	13.39	15.38
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.86	1.88	1.82
SATURACIÓN	%	2.06	2.00	1.93	1.86

<b>MÉTODO : A</b>		<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.876 gr/cc</b>
Gr.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA :</b>	<b>13.00 %</b>



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Bach. DEYWD WAGNER MARCON MACHACA  
TECNICO DE LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponce de León Alvarado  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

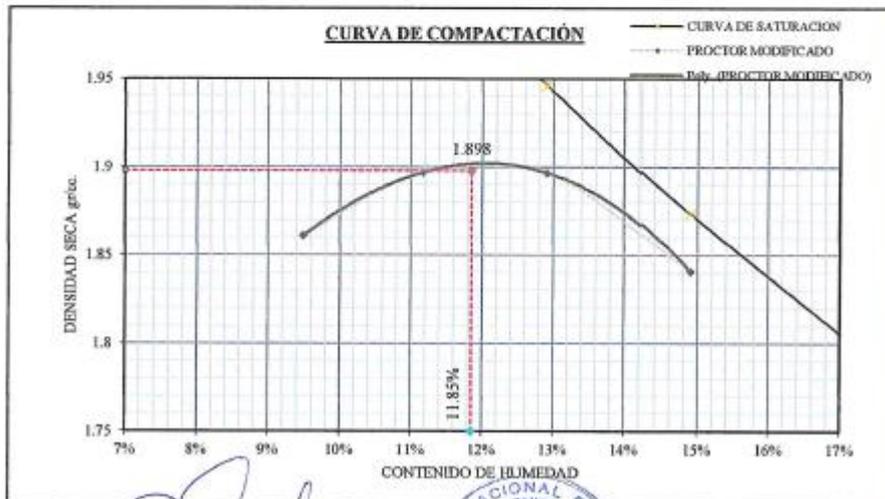
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y333, Bloque C, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				
No DE CAPAS	5	943 cc				
		M-1				
		GOLPES POR CAPA				
		25				
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6110	6177	6208	6183	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1922	1989	2020	1995	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.04	2.11	2.14	2.11	-
N° TARA		HR-20	HR-14	E-04	E-10	-
Peso de la Tara	g	71.16	70.73	54.58	54.23	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	520.31	508.16	525.34	496.38	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	481.37	464.21	471.50	439.02	-
Peso del Agua	g	38.94	43.95	53.84	57.36	-
Peso del Suelo Seco	g	410.21	393.48	416.92	384.79	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.49	11.17	12.91	14.91	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.49	11.17	12.91	14.91	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.90	1.90	1.84	-
SATURACIÓN	%	2.08	2.01	1.95	1.87	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.898 gr/cc
Gs:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	11.85 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
 TÉCNICO LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Paolo Fariña Mavoni Mamani  
 JEFE DEL LAB.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

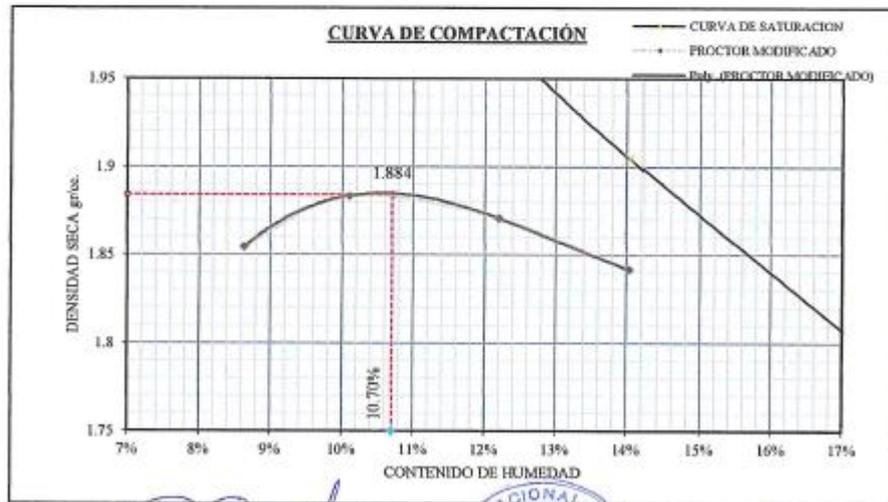
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y433, Bloque C, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6088	6144	6168	6169	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1900	1956	1980	1981	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm3	2.01	2.07	2.10	2.10	-
N° TARA	M-11	HR-21	M-15	HR-15	-	-
Peso de la Tara	g	71.37	70.57	71.45	71.84	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	542.36	533.86	525.88	534.65	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	504.93	491.34	476.44	477.67	-
Peso del Agua	g	37.43	42.52	49.44	56.98	-
Peso del Suelo Seco	g	433.56	420.77	404.99	405.83	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.63	10.11	12.21	14.04	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.63	10.11	12.21	14.04	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm3	1.85	1.88	1.87	1.84	-
SATURACION	%	2.12	2.06	1.97	1.90	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.884 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm3	HUMEDAD OPTIMA	10.70 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Bach. DEYVID WAGNER MARRON MACHACA  
TÉCNICO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Forasteo Paredano Almonaci Mazoni  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Marzo 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

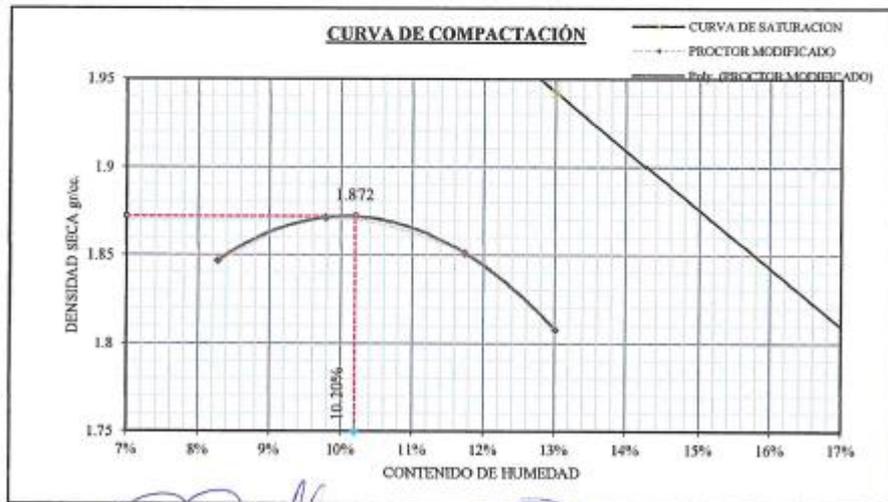
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y533, Bloque C, Repetición 3  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6074	6126	6139	6115	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1886	1938	1951	1927	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.05	2.07	2.04	-
Nº TARA		HR-03	HR-07	M-12	M-15	-
Peso de la Tara	g	72.54	72.54	70.72	71.45	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	503.56	534.04	526.52	516.29	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	470.62	492.88	478.62	465.05	-
Peso del Agua	g	32.94	41.16	47.90	51.24	-
Peso del Suelo Seco	g	398.08	420.34	407.90	393.60	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.27	9.79	11.74	13.02	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.27	9.79	11.74	13.02	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.87	1.85	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.14	2.07	1.99	1.94	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.872 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.20 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

Dr. DEYD WAGNER MARRON NACHACA  
TITULO DE LABORATORIO MEDANA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Porfirio Mamani Mamani  
2023 LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Abril 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
(ASTM D 1557-12)

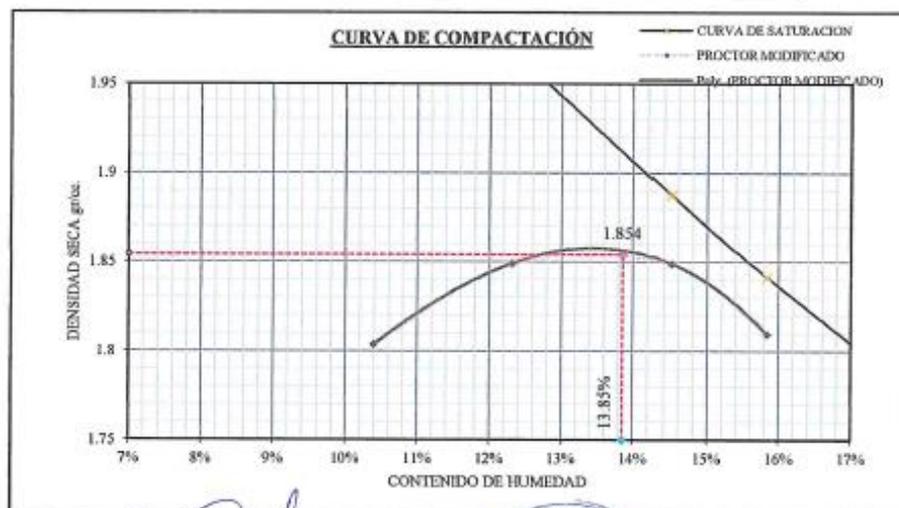
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** MÉTODO B

**REFERENCIA:** Espécimen Y134, Bloque C, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 0% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6066	6147	6185	6165	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1878	1959	1997	1977	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.99	2.08	2.12	2.10	-
N° TARA	E-08	HR-07	HR-03	E-08	-	-
Peso de la Tara	g	53.99	72.54	72.54	53.99	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	523.91	552.31	519.88	492.56	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	479.65	499.69	463.20	432.60	-
Peso del Agua	g	44.26	52.62	56.68	59.96	-
Peso del Suelo Seco	g	425.66	427.15	390.66	378.61	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.40	12.32	14.51	15.84	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	10.40	12.32	14.51	15.84	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.85	1.85	1.81	-
SATURACIÓN	%	2.05	1.97	1.89	1.84	-

<b>MÉTODO : A</b>	MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.854 gr/cc
Gs.: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	13.85 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Ing. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
Trabajo de Maestranza  
EPIC - UNAP



Ing. FORTALEZA ROSARIO MARIANA MONTAÑA  
M.Sc. en Ingeniería Civil  
M.Sc. en Mecánica de Suelos y Materiales



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Abril 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

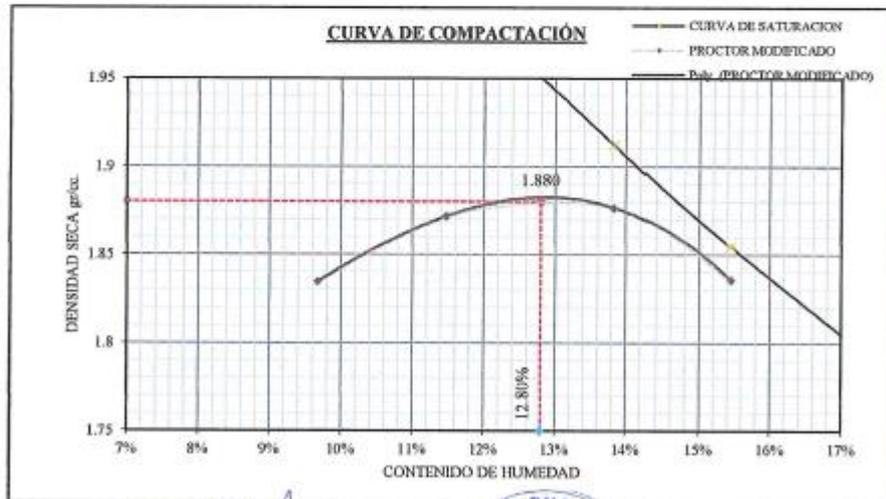
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especímen Y234, Bloque C, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 1% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE		943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA		25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g 6086	6156	6203	6187	-
Peso del Molde	g 4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g 1897.8	1968.2	2015	1999	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup> 2.01	2.09	2.14	2.12	-
N° TARA	E-03	M-06	E-03	E-10	-
Peso de la Tara	g 52.59	71.38	52.59	54.23	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g 522.38	512.69	481.29	513.12	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g 480.94	467.26	429.21	451.72	-
Peso del Agua	g 41.44	45.43	52.08	61.40	-
Peso del Suelo Seco	g 428.35	395.88	376.62	397.49	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	% 9.67	11.48	13.83	15.45	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	% 9.67	11.48	13.83	15.45	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup> 1.83	1.87	1.88	1.84	-
SATURACIÓN	% 2.08	2.00	1.91	1.85	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.880 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	12.80 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

*[Signature]*  
 Bch. DEWID FORNER MARRON MACHACA  
 TECNICO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP

*[Signature]*  
 JEFATURA  
 Lab. Mecánica  
 de Suelos y  
 Mat.  
 UNAP

*[Signature]*  
 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Ing. Foalito Pazcoguin Alvarado Manóri  
 MSc. DOCTOR EN INGENIERIA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Abril 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-12)**

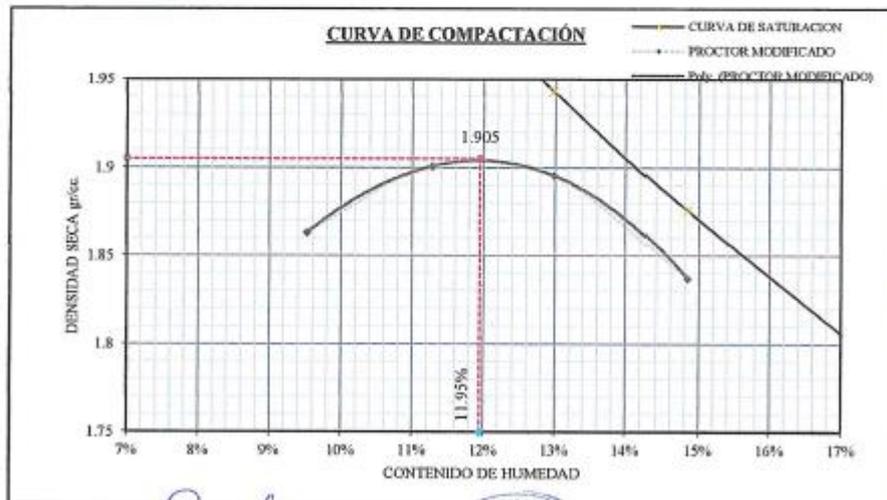
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y334, Bloque C, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 2% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6113	6183	6208	6178
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188
Peso del Suelo Húmedo	g	1925	1995	2020	1990
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.04	2.11	2.14	2.11
Nº TARA	E-02	E-10	HR-13	M-14	-
Peso de la Tara	g	52.97	54.23	71.73	71.42
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	526.59	525.08	510.11	538.20
Peso del Suelo Seco + Tara	g	485.38	477.35	459.72	477.85
Peso del Agua	g	41.21	47.73	30.39	60.35
Peso del Suelo Seco	g	432.41	423.12	387.99	406.43
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	9.53	11.28	12.99	14.85
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.53	11.28	12.99	14.85
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.86	1.90	1.90	1.84
SATURACIÓN	%	2.08	2.01	1.94	1.88

<b>MÉTODO : A</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA :</b>	<b>1.905 gr/cc</b>
Gs: 2.60 g/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA :</b>	<b>11.95 %</b>



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Edwin James Medina Alvarez  
Bach. EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ MACHACA  
TÉCNICO DEL LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Ponciano Mirkani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Abril 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

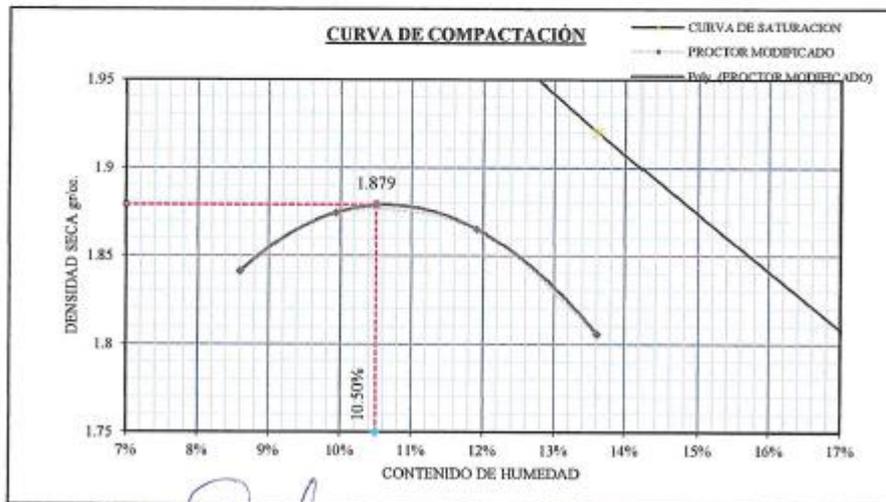
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Especimen Y434, Bloque C, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 4% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE				943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6074	6132	6157	6123	-	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1886	1944	1969	1935	-	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.00	2.06	2.09	2.05	-	-
N° TARA	E-01	HR-09	M-15	M-08	-	-	-
Peso de la Tara	g	53.74	71.60	71.45	70.82	-	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	481.53	519.89	518.00	499.73	-	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	447.67	479.34	470.46	448.34	-	-
Peso del Agua	g	33.86	40.55	47.54	51.39	-	-
Peso del Suelo Seco	g	393.93	407.74	399.01	377.52	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.60	9.95	11.91	13.61	-	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	8.60	9.95	11.91	13.61	-	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.87	1.87	1.81	-	-
SATURACIÓN	%	2.12	2.07	1.98	1.92	-	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA :	1.879 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA :	10.50 %



OBSERVACIONES: La muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante

*[Signature]*  
 EDWIN JAMES MEDINA ALVAREZ  
 TEGMOSO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 PUNO  
 11 de Abril del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



**PROYECTO** : Tesis Doctoral "Efecto en la consistencia y compactación de un suelo contaminado por petróleo de la ciudad de Puno"  
**SOLICITANTE** : MSc. Edwin James Medina Alvarez  
**UBICACIÓN** : Taller de Maestranza - Municipalidad Provincial de Puno, Av. Costanera s/n de la ciudad de Puno  
**FECHA** : Abril 2023

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(ASTM D 1557-12)**

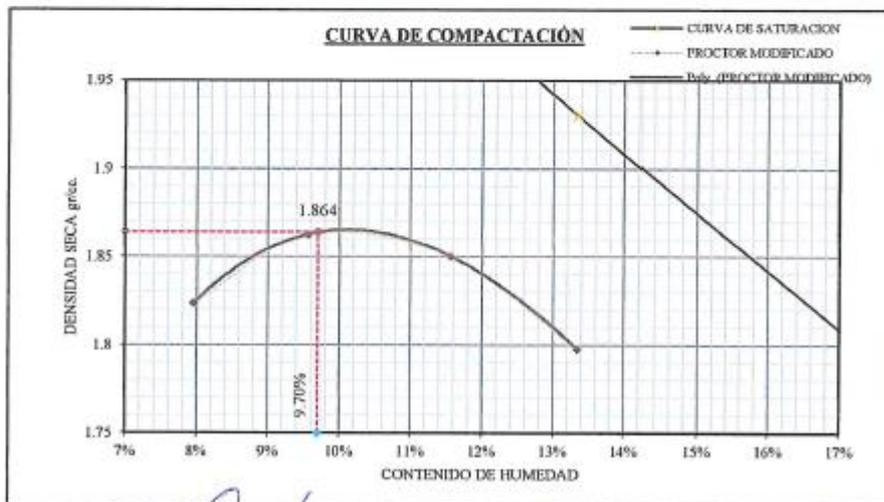
**DATOS DE LA MUESTRA:** **DATOS DEL MOLDE:** **MÉTODO B**

**REFERENCIA:** Espécimen Y534, Bloque C, Repetición 4  
**CALICATA:** Calicata C  
**TRATAMIENTO:** Tratamiento 6% de Diésel DB-5 S-50 UV

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIÁMETRO PROMEDIO:** 10.15 cm  
**ALTURA PROMEDIO:** 11.65 cm

MOLDE No	M-1	VOLUMEN DEL MOLDE			943 cc	M-1
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA			25	5
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	6045	6113	6135	6110	-
Peso del Molde	g	4188	4188	4188	4188	-
Peso del Suelo Húmedo	g	1857	1925	1947	1922	-
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.04	2.06	2.04	-
N° TARA	M-14	HR-06	M-02	E-10	-	-
Peso de la Tara	g	71.42	72.12	71.25	54.23	-
Peso del Suelo Húmedo + Tara	g	499.36	517.29	510.27	524.48	-
Peso del Suelo Seco + Tara	g	467.80	478.42	464.78	469.11	-
Peso del Agua	g	31.56	38.87	45.49	55.37	-
Peso del Suelo Seco	g	396.38	406.30	393.53	414.88	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.96	9.57	11.56	13.35	-
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	7.96	9.57	11.56	13.35	-
DENSIDAD SECA DEL SUELO	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.86	1.85	1.80	-
SATURACIÓN	%	2.15	2.08	2.00	1.93	-

MÉTODO : A		MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.864 gr/cc
Gs.:	2.60 g/cm <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA	9.70 %



OBSERVACIONES: La Muestra y los datos fueron proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID WAGNER MARRON NACHACA  
TOMANDO LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
EPIC - UNAP

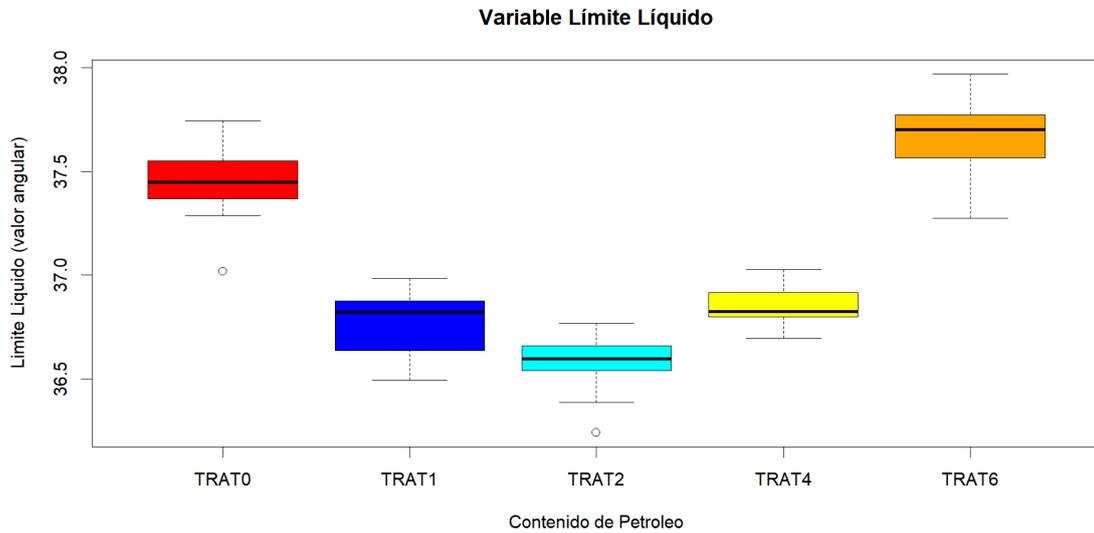


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Ing. Fausto Porfiriano Mamani Mamani  
JEFE DEL LABORATORIO

## Anexo 7. Resultados del software R V4.3.0

### ANOVA DE DISEÑO BLOQUE COMPLETO AL AZAR CON SUBMUESTREO – VARIABLE DE RESPUESTA LÍMITE LÍQUIDO (%)

\*Los datos de límites líquidos están expresados en porcentajes, razón por que se ha transformado para realizar el ANOVA en valores angulares o Arco Seno.

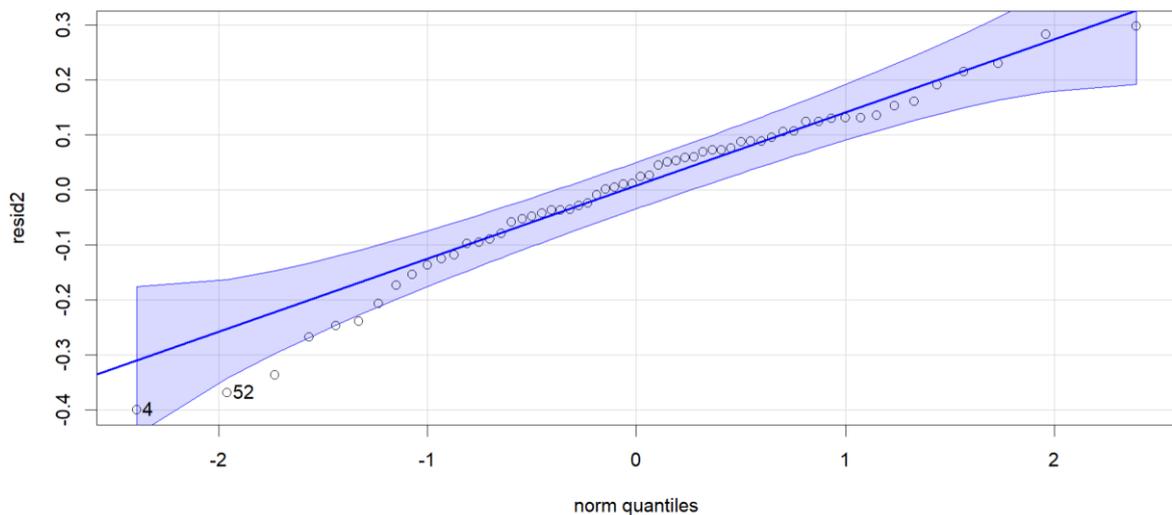


#### ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE LÍMITE LÍQUIDO (%)

VARIABLE LÍMITE LÍQUIDO

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas	2	0.01785	0.008924	0.305	0.746	ns.
Dosis de petróleo	4	10.61400	2.653400	90.570	0.000	**
Error Exptal	8	0.23400	0.029300			
Error Muestreo	45	1.10300	0.024510			
Total	59					

CV. = 0.4619



## Validación de ANOVA con los supuestos de normalidad de los errores

```
Shapiro-Wilk normality test
data: residuals(model_1)
W = 0.96733, p-value = 0.1079>0.05, no significativo

Anderson-Darling normality test
data: residuals(model_1)
A = 0.63642, p-value = 0.09259>0.05, no significativo

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: residuals(model_1)
D = 0.084503, p-value = 0.3563>0.05, no significativo

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean: data1)
  Df F value Pr(>F)
group 4 0.9911 0.4202>0.05, no significativo
      55

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median: data1)
  Df F value Pr(>F)
group 4 0.8828 0.4804>0.05, no significativo
      55

Bartlett test of homogeneity of variances
data: LL2 by TRAT
Bartlett's K-squared = 5.5883, df = 4, p-value = 0.2321>0.05, no
significativo
```

## PRUEBA MÚLTIPLE DE COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE TUKEY

```
$statistics
  MSerror Df      Mean      CV      MSD
  0.0293  8 37.05826 0.4619009 0.2414209

$parameters
  test      name.t ntr StudentizedRange alpha
  Tukey data1$trat  5          4.885754  0.05

$means
      LL2      std  r      se      Min      Max      Q25
Q50      Q75
TRAT0 37.44162 0.17957020 12 0.04941322 37.01902 37.74352 37.36853
37.44720 37.54952
TRAT1 36.76332 0.15642048 12 0.04941322 36.49319 36.98326 36.63988
36.82217 36.86097
TRAT2 36.57345 0.14280193 12 0.04941322 36.24119 36.76841 36.55758
36.59500 36.64735
TRAT4 36.84601 0.09478558 12 0.04941322 36.69669 37.02498 36.79828
36.82516 36.91319
TRAT6 37.66689 0.19262268 12 0.04941322 37.27495 37.96820 37.58953
37.70208 37.75831

$comparison
NULL

$groups
      LL2 groups
```



```
TRAT6 37.66689      a
TRAT0 37.44162      a
TRAT4 36.84601      b
TRAT1 36.76332      bc
TRAT2 36.57345      c
```

**PRUEBA MÚLTIPLE DE COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE DUNCAN**

\$statistics

```
MSerror Df      Mean      CV
0.0293  8 37.05826 0.4619009
```

\$parameters

```
test      name.t ntr alpha
Duncan data1$trat  5  0.05
```

\$duncan

```
Table CriticalRange
2 3.261182      0.1611455
3 3.398460      0.1679289
4 3.475191      0.1717204
5 3.521194      0.1739935
```

\$means

```
LL2      std  r      se      Min      Max      Q25
Q50      Q75
TRAT0 37.44162 0.17957020 12 0.04941322 37.01902 37.74352 37.36853
37.44720 37.54952
TRAT1 36.76332 0.15642048 12 0.04941322 36.49319 36.98326 36.63988
36.82217 36.86097
TRAT2 36.57345 0.14280193 12 0.04941322 36.24119 36.76841 36.55758
36.59500 36.64735
TRAT4 36.84601 0.09478558 12 0.04941322 36.69669 37.02498 36.79828
36.82516 36.91319
TRAT6 37.66689 0.19262268 12 0.04941322 37.27495 37.96820 37.58953
37.70208 37.75831
```

\$comparison

NULL

\$groups

```
LL2 groups
TRAT6 37.66689      a
TRAT0 37.44162      b
TRAT4 36.84601      c
TRAT1 36.76332      c
TRAT2 36.57345      d
```

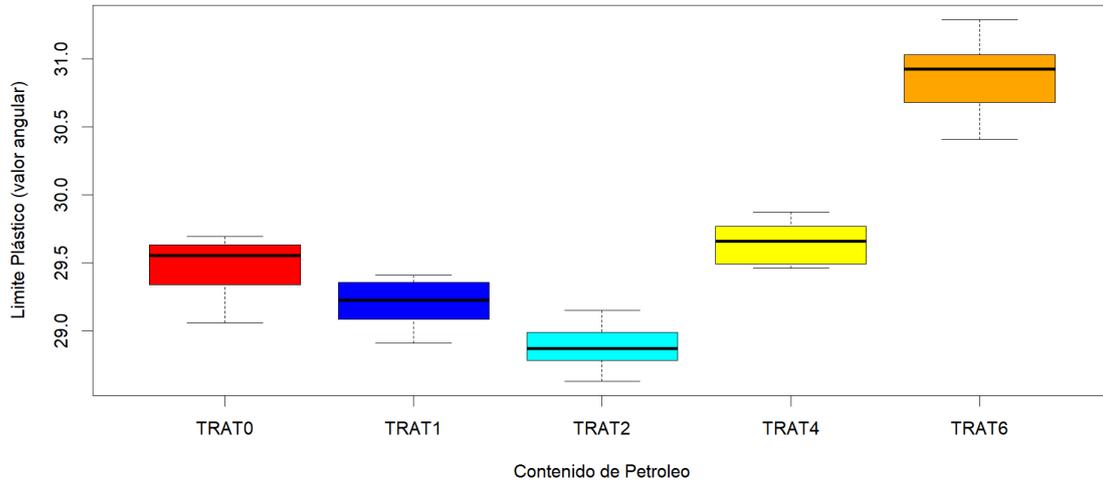
attr(,"class")

[1] "group"

**ANOVA DISEÑO BLOQUE COMPLETO AL AZAR CON SUBMUESTREO – VARIABLE DE RESPUESTA LÍMITE PLÁSTICO**

\*Los datos de límites líquidos están expresados en porcentajes, razón por que se ha transformado para realizar el ANOVA en valores angulares o Arco Seno.

Variable Límite Plástico

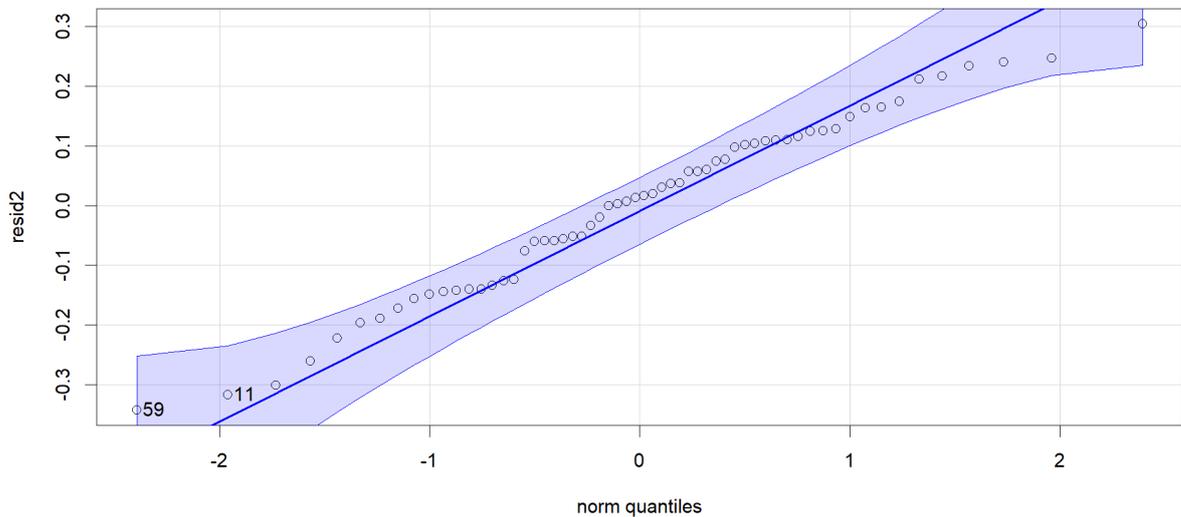


**ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE LÍMITE PLÁSTICO (%)**

VARIABLE LÍMITE PLÁSTICO

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas	2	0.5435	0.27175	16.104	0.002	**
Dosis de petroleo	4	27.2840	6.82100	404.207	0.000	**
Error Exptal	8	0.1350	0.01688			
Error Muestreo	45	1.2120	0.02693			
Total	59					

CV. = 0.4386



Validación de ANOVA con los supuestos de normalidad de los errores

Shapiro-Wilk normality test  
data: residuals(model\_1)

W = 0.98176, p-value = 0.5073>0.05 entonces los errores se distribuyen en forma normal

Anderson-Darling normality test

data: residuals(model\_1)

A = 0.34358, p-value = 0.4776>0.05 entonces los errores se distribuyen en forma normal

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: residuals(model\_1)

D = 0.076344, p-value = 0.5199>0.05 entonces los errores se distribuyen en forma normal

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean: data1)

Df F value Pr(>F)

group 4 1.157 0.3398>0.05 entonces la varianza es constante

55

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median: data1)

Df F value Pr(>F)

group 4 0.671 0.6149>0.05 entonces la varianza es constante

55

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LP2 by TRAT

Bartlett's K-squared = 3.8588, df = 4, p-value = 0.4254>0.05 entonces la varianza es constante

#### PRUEBA MÚLTIPLE DE COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE TUKEY

\$statistics

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.01688	8	29.62014	0.4386308	0.1832429

\$parameters

test	name.t	ntr	Studentized	Range	alpha
Tukey	data1\$trat	5	4.885754		0.05

\$means

	LP2	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50
TRAT0	29.48867	0.1954789	12	0.03750556	29.05807	29.69475	29.35736	29.55473
TRAT1	29.21164	0.1566536	12	0.03750556	28.90938	29.40763	29.09516	29.22309
TRAT2	28.88487	0.1552188	12	0.03750556	28.63097	29.15244	28.80601	28.86874
TRAT4	29.65122	0.1560001	12	0.03750556	29.46118	29.87416	29.49628	29.65810
TRAT6	30.86430	0.2463763	12	0.03750556	30.40855	31.28711	30.70789	30.92443
	Q75							
TRAT0	29.62813							
TRAT1	29.35234							
TRAT2	28.97871							



TRAT4 29.76460  
TRAT6 31.00070

\$comparison  
NULL

\$groups  
LP2 groups  
TRAT6 30.86430 a  
TRAT4 29.65122 b  
TRAT0 29.48867 b  
TRAT1 29.21164 c  
TRAT2 28.88487 d

**PRUEBA MÚLTIPLE DE COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE DUNCAN**

\$statistics  
MSerror Df Mean CV  
0.01688 8 29.62014 0.4386308

\$parameters  
test name.t ntr alpha  
Duncan data1\$trat 5 0.05

\$duncan  
Table CriticalRange  
2 3.261182 0.1223125  
3 3.398460 0.1274611  
4 3.475191 0.1303390  
5 3.521194 0.1320643

\$means  
LP2 std r se Min Max Q25 Q50  
TRAT0 29.48867 0.1954789 12 0.03750556 29.05807 29.69475 29.35736  
29.55473  
TRAT1 29.21164 0.1566536 12 0.03750556 28.90938 29.40763 29.09516  
29.22309  
TRAT2 28.88487 0.1552188 12 0.03750556 28.63097 29.15244 28.80601  
28.86874  
TRAT4 29.65122 0.1560001 12 0.03750556 29.46118 29.87416 29.49628  
29.65810  
TRAT6 30.86430 0.2463763 12 0.03750556 30.40855 31.28711 30.70789  
30.92443  
Q75  
TRAT0 29.62813  
TRAT1 29.35234  
TRAT2 28.97871  
TRAT4 29.76460  
TRAT6 31.00070

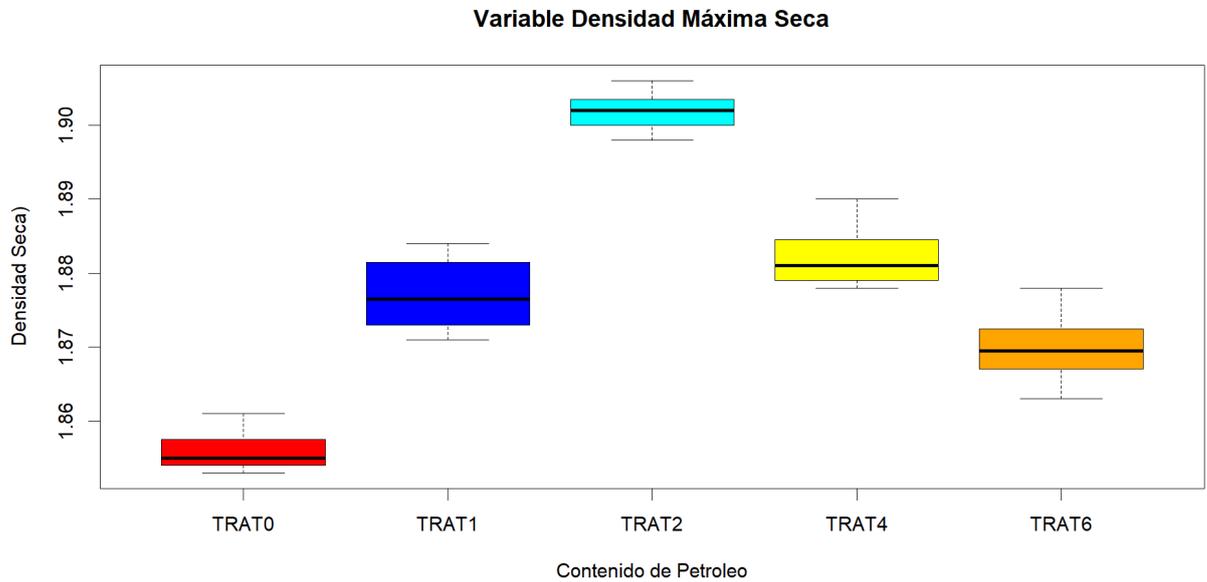
\$comparison  
NULL

\$groups  
LP2 groups  
TRAT6 30.86430 a  
TRAT4 29.65122 b  
TRAT0 29.48867 c  
TRAT1 29.21164 d

TRAT2 28.88487 e

Los tratamientos son diferentes.

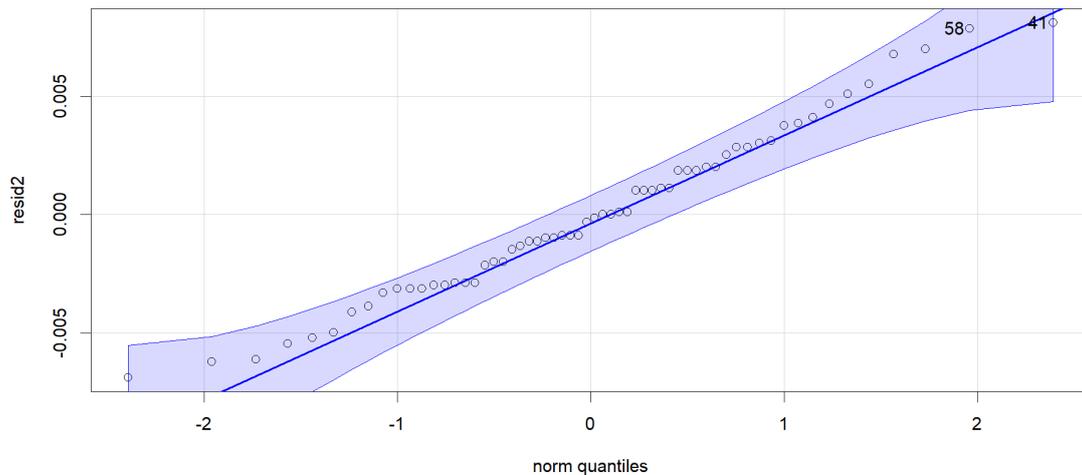
**ANOVA DE DISEÑO BLOQUE COMPLETO AL AZAR CON SUBMUESTREO –  
VARIABLE DE RESPUESTA DENSIDAD MÁXIMA SECA (g/cm3)**



**ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DENSIDAD MÁXIMA SECA (g/cm3)**

VARIABLE DENSIDAD MÁXIMA SECA (g/cm3)

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas	2	0.0000006333	0.0000003167	0.032	0.969	ns.
Dosis de petroleo	4	0.0136680000	0.0034170000	346.025	0.000	**
Error Exptal	8	0.0000790000	0.0000098750			
Error Muestreo	45	0.0006795000	0.0000151000			
Total	59					
CV. =		0.1674				



### Validación de ANOVA con los supuestos de normalidad de los errores

```
Shapiro-Wilk normality test
data: residuals(model_1)
W = 0.98161, p-value = 0.5003>0.05, existe normalidad de los errores.
```

```
Anderson-Darling normality test
data: residuals(model_1)
A = 0.27792, p-value = 0.6394>0.05, existe normalidad de los errores.
```

```
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: residuals(model_1)
D = 0.080661, p-value = 0.43>0.05, existe normalidad de los errores.
```

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean: data1)
  Df F value Pr(>F)
group 4  2.2103 0.07974>0.05, la varianza es constante u homogénea. .
  55
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median: data1)
  Df F value Pr(>F)
group 4  1.9046 0.1227>0.05, la varianza es constante u homogénea
  55
```

```
Bartlett test of homogeneity of variances
data: DM by TRAT
Bartlett's K-squared = 7.2708, df = 4, p-value = 0.1223>0.05, la varianza
es constante u homogénea
```

### PRUEBA MÚLTIPLE DE COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE TUKEY

```
$statistics
  MSerror Df      Mean      CV      MSD
  9.875e-06 8 1.877467 0.1673772 0.0044321
```

```
$parameters
  test      name.t ntr StudentizedRange alpha
```



```
Tukey data1$trat 5 4.885754 0.05

$means
      DM      std  r      se  Min  Max  Q25  Q50
Q75
TRAT0 1.856000 0.002628515 12 0.0009071475 1.853 1.861 1.8540 1.8550
1.85725
TRAT1 1.877333 0.004579268 12 0.0009071475 1.871 1.884 1.8735 1.8765
1.88125
TRAT2 1.902000 0.002449490 12 0.0009071475 1.898 1.906 1.9005 1.9020
1.90325
TRAT4 1.882000 0.003643175 12 0.0009071475 1.878 1.890 1.8790 1.8810
1.88425
TRAT6 1.870000 0.004670994 12 0.0009071475 1.863 1.878 1.8680 1.8695
1.87225

$comparison
NULL

$groups
      DM groups
TRAT2 1.902000 a
TRAT4 1.882000 b
TRAT1 1.877333 c
TRAT6 1.870000 d
TRAT0 1.856000 e
```

**PRUEBA MÚLTIPLE DE COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE DUNCAN**

```
$statistics
      MSerror Df      Mean      CV
9.875e-06 8 1.877467 0.1673772

$parameters
      test      name.t ntr alpha
Duncan data1$trat 5 0.05
```

```
$duncan
      Table CriticalRange
2 3.261182 0.002958374
3 3.398460 0.003082905
4 3.475191 0.003152511
5 3.521194 0.003194242
```

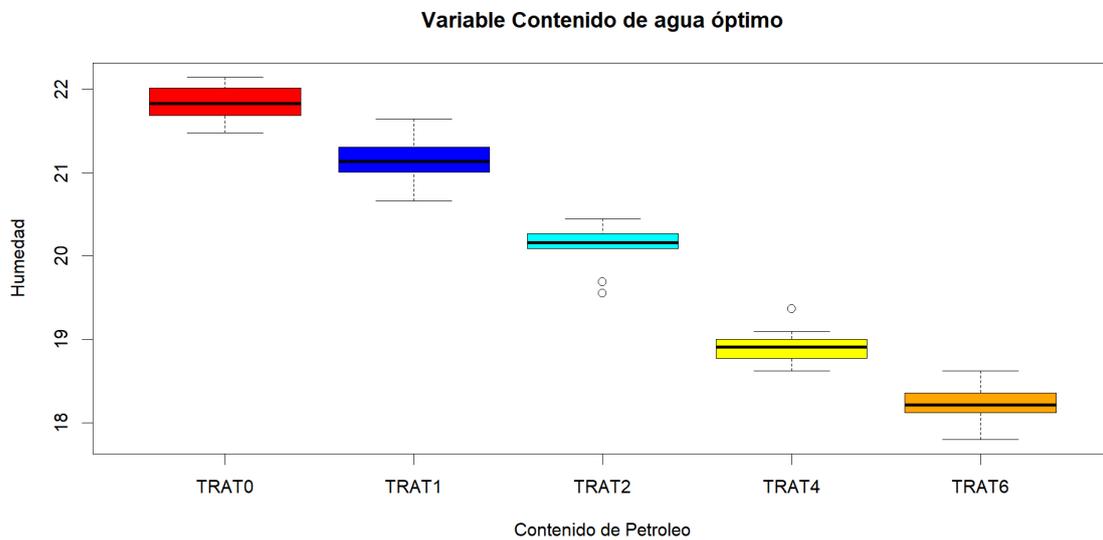
```
$means
      DM      std  r      se  Min  Max  Q25  Q50
Q75
TRAT0 1.856000 0.002628515 12 0.0009071475 1.853 1.861 1.8540 1.8550
1.85725
TRAT1 1.877333 0.004579268 12 0.0009071475 1.871 1.884 1.8735 1.8765
1.88125
TRAT2 1.902000 0.002449490 12 0.0009071475 1.898 1.906 1.9005 1.9020
1.90325
TRAT4 1.882000 0.003643175 12 0.0009071475 1.878 1.890 1.8790 1.8810
1.88425
TRAT6 1.870000 0.004670994 12 0.0009071475 1.863 1.878 1.8680 1.8695
1.87225
```

\$comparison  
NULL

\$groups  
DM groups  
TRAT2 1.902000 a  
TRAT4 1.882000 b  
TRAT1 1.877333 c  
TRAT6 1.870000 d  
TRAT0 1.856000 e

**ANOVA DE DISEÑO BLOQUE COMPLETO AL AZAR CON SUBMUESTREO –  
VARIABLE DE RESPUESTA CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO O HUMEDAD (%)**

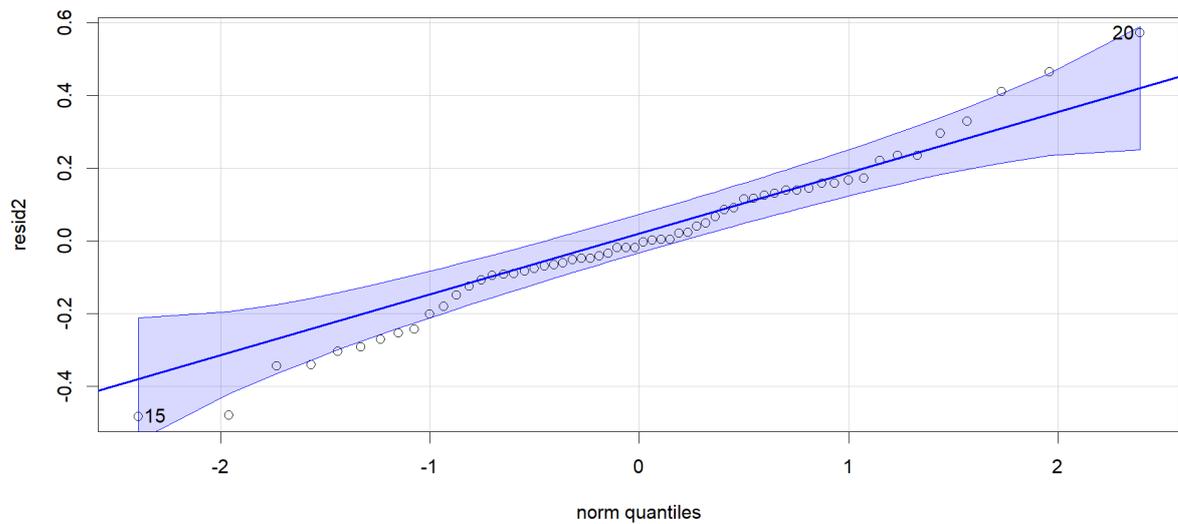
\*Los datos de contenidos de humedad óptimos están expresados en porcentajes, razón por que se ha transformado para realizar el ANOVA en valores angulares o Arco Seno.



**ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO (%)**

VARIABLE CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO O HUMEDAD (%)

F. de V.	GL.	SC.	CM.	Fc	p	Signif.
Calicatas	2	0.22530	0.1126500	1.878	0.215	ns.
Dosis de petroleo	4	108.77000	27.1925000	453.208	0.000	**
Error Exptal	8	0.48000	0.0600000			
Error Muestreo	45	2.10400	0.0467556			
Total	59					
CV. =		1.2221				



### Validación de ANOVA con los supuestos de normalidad de los errores

Shapiro-Wilk normality test  
 data: residuals(model\_1)  
 W = 0.98322, p-value = 0.5784 > 0.05, los errores se distribuyen en forma normal.

Anderson-Darling normality test  
 data: residuals(model\_1)  
 A = 0.40169, p-value = 0.3491 > 0.05, los errores se distribuyen en forma normal.

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test  
 data: residuals(model\_1)  
 D = 0.089781, p-value = 0.2675 > 0.05, los errores se distribuyen en forma normal.

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean: data1)  
 Df F value Pr(>F)  
 group 4 0.0848 0.9868 > 0.05, la varianza es constante u homogénea.  
 55

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median: data1)  
 Df F value Pr(>F)  
 group 4 0.0726 0.9902 > 0.05, la varianza es constante u homogénea.  
 55

Bartlett test of homogeneity of variances  
 data: CH2 by TRAT  
 Bartlett's K-squared = 0.74587, df = 4, p-value = 0.9456 > 0.05, la varianza es constante u homogénea.

### PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TUKEY

\$statistics  
 MSerror Df Mean CV MSD



0.06 8 20.04384 1.222066 0.345475

\$parameters

test name.t ntr StudentizedRange alpha  
Tukey data1\$trat 5 4.885754 0.05

\$means

	CH2	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50
TRAT0	21.84099	0.2114577	12	0.07071068	21.47286	22.13741	21.70311	21.82791
TRAT1	21.14392	0.2422346	12	0.07071068	20.66148	21.64052	21.02758	21.13431
TRAT2	20.10899	0.2518654	12	0.07071068	19.55212	20.44361	20.09096	20.15746
TRAT4	18.90331	0.2014184	12	0.07071068	18.62511	19.36973	18.77369	18.90726
TRAT6	18.22200	0.2191682	12	0.07071068	17.80497	18.62511	18.13443	18.21900

Q75

TRAT0	21.99339
TRAT1	21.30413
TRAT2	20.26792
TRAT4	19.00052
TRAT6	18.35123

\$comparison

NULL

\$groups

	CH2	groups
TRAT0	21.84099	a
TRAT1	21.14392	b
TRAT2	20.10899	c
TRAT4	18.90331	d
TRAT6	18.22200	e

**PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE DUNCAN**

\$statistics

MSerror	Df	Mean	CV
0.06	8	20.04384	1.222066

\$parameters

test name.t ntr alpha  
Duncan data1\$trat 5 0.05

\$duncan

	Table	CriticalRange
2	3.261182	0.2306004
3	3.398460	0.2403074
4	3.475191	0.2457331
5	3.521194	0.2489860

\$means

	CH2	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50
TRAT0	21.84099	0.2114577	12	0.07071068	21.47286	22.13741	21.70311	21.82791
TRAT1	21.14392	0.2422346	12	0.07071068	20.66148	21.64052	21.02758	21.13431
TRAT2	20.10899	0.2518654	12	0.07071068	19.55212	20.44361	20.09096	20.15746
TRAT4	18.90331	0.2014184	12	0.07071068	18.62511	19.36973	18.77369	18.90726
TRAT6	18.22200	0.2191682	12	0.07071068	17.80497	18.62511	18.13443	18.21900

Q75

TRAT0	21.99339
TRAT1	21.30413
TRAT2	20.26792
TRAT4	19.00052
TRAT6	18.35123



\$comparison  
NULL

\$groups  
CH2 groups

TRAT0	21.84099	a
TRAT1	21.14392	b
TRAT2	20.10899	c
TRAT4	18.90331	d
TRAT6	18.22200	e

### Anexo 8. Datos transformados para prueba de normalidad

N°	Tratamiento	Bloque	Límite Líquido %	Límite Líquido Valor Transformado (Arcoseno)	Límite Plástico %	Límite Plástico Valor Transformado (Arcoseno)	Contenido de Humedad Óptimo %	Contenido de Humedad Óptimo Valor Transformado (Arcoseno)
1	TRAT0	A	36.93	37.42	24.21	29.47	13.80	21.81
2	TRAT0	A	37.15	37.55	24.52	29.68	13.55	21.60
3	TRAT0	A	37.14	37.55	23.96	29.31	14.00	21.97
4	TRAT0	A	36.25	37.02	24.38	29.59	14.20	22.14
5	TRAT0	B	36.93	37.42	24.28	29.52	13.70	21.72
6	TRAT0	B	36.70	37.29	24.54	29.69	13.60	21.64
7	TRAT0	B	36.84	37.37	23.93	29.29	13.40	21.47
8	TRAT0	B	36.83	37.36	24.47	29.65	13.90	21.89
9	TRAT0	C	37.01	37.47	24.06	29.37	14.20	22.14
10	TRAT0	C	37.47	37.74	24.43	29.62	14.10	22.06
11	TRAT0	C	37.09	37.52	23.59	29.06	13.80	21.81
12	TRAT0	C	37.19	37.58	24.41	29.61	13.85	21.85
13	TRAT1	A	35.96	36.85	24.05	29.37	12.80	20.96
14	TRAT1	A	35.62	36.64	24.08	29.39	12.90	21.05
15	TRAT1	A	35.37	36.49	24.02	29.35	12.45	20.66
16	TRAT1	A	35.91	36.82	24.11	29.41	13.20	21.30
17	TRAT1	B	35.95	36.84	23.60	29.06	13.00	21.13
18	TRAT1	B	36.06	36.91	23.90	29.27	12.90	21.05
19	TRAT1	B	35.78	36.74	23.84	29.23	13.20	21.30
20	TRAT1	B	36.06	36.91	23.83	29.22	13.60	21.64
21	TRAT1	C	35.93	36.83	23.37	28.91	13.10	21.22
22	TRAT1	C	35.60	36.63	23.66	29.11	13.20	21.30
23	TRAT1	C	35.43	36.53	23.80	29.20	13.00	21.13
24	TRAT1	C	36.19	36.98	23.56	29.04	12.80	20.96
25	TRAT2	A	35.58	36.62	23.73	29.15	11.80	20.09
26	TRAT2	A	35.55	36.60	23.67	29.11	12.00	20.27
27	TRAT2	A	35.72	36.70	23.29	28.86	12.01	20.28
28	TRAT2	A	35.51	36.58	23.46	28.97	11.80	20.09
29	TRAT2	B	35.52	36.58	23.51	29.00	11.20	19.55
30	TRAT2	B	35.19	36.39	23.25	28.83	12.20	20.44
31	TRAT2	B	35.68	36.68	23.33	28.88	12.00	20.27
32	TRAT2	B	35.61	36.64	23.12	28.74	11.35	19.69

N°	Tratamiento	Bloque	Límite Líquido %	Límite Líquido Valor Transformado (Arcoseno)	Límite Plástico %	Límite Plástico Valor Transformado (Arcoseno)	Contenido de Humedad Óptimo %	Contenido de Humedad Óptimo Valor Transformado (Arcoseno)
33	TRAT2	C	35.53	36.59	23.25	28.83	11.90	20.18
34	TRAT2	C	35.83	36.77	23.09	28.72	11.80	20.09
35	TRAT2	C	34.95	36.24	23.35	28.90	11.85	20.14
36	TRAT2	C	35.38	36.50	22.96	28.63	11.95	20.22
37	TRAT4	A	35.88	36.80	24.81	29.87	10.50	18.91
38	TRAT4	A	36.07	36.91	24.80	29.87	10.40	18.81
39	TRAT4	A	36.08	36.92	24.32	29.55	11.00	19.37
40	TRAT4	A	35.94	36.83	24.42	29.61	10.50	18.91
41	TRAT4	B	35.91	36.82	24.64	29.76	10.60	19.00
42	TRAT4	B	36.26	37.02	24.66	29.77	10.35	18.77
43	TRAT4	B	36.17	36.97	24.21	29.47	10.20	18.63
44	TRAT4	B	35.93	36.83	24.25	29.50	10.36	18.78
45	TRAT4	C	35.92	36.82	24.55	29.70	10.60	19.00
46	TRAT4	C	35.77	36.73	24.63	29.75	10.25	18.67
47	TRAT4	C	35.71	36.70	24.19	29.46	10.70	19.09
48	TRAT4	C	35.88	36.80	24.22	29.48	10.50	18.91
49	TRAT6	A	37.45	37.73	26.97	31.29	9.80	18.24
50	TRAT6	A	37.09	37.52	26.67	31.09	9.70	18.15
51	TRAT6	A	37.69	37.87	26.41	30.92	9.90	18.34
52	TRAT6	A	36.68	37.27	26.41	30.92	9.50	17.95
53	TRAT6	B	37.46	37.74	26.68	31.10	9.65	18.10
54	TRAT6	B	37.85	37.97	26.48	30.97	9.35	17.80
55	TRAT6	B	36.92	37.42	25.91	30.60	9.75	18.19
56	TRAT6	B	37.31	37.65	26.12	30.74	9.85	18.29
57	TRAT6	C	37.47	37.74	26.41	30.92	10.00	18.43
58	TRAT6	C	37.25	37.61	26.19	30.78	9.95	18.39
59	TRAT6	C	37.35	37.67	25.62	30.41	10.20	18.63
60	TRAT6	C	37.57	37.80	25.95	30.62	9.70	18.15



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Edwin James Medina Alvarez  
identificado con DNI 41422313 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" Efecto en la consistencia y compactación de  
un suelo contaminado por petróleo de la ciudad  
de 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 27 de Marzo del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



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 Edwin James Medina Alvarez  
identificado con DNI 41422313 en mi condición de egresado de:

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

Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

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

“ Efecto en la consistencia y compactación de un  
suelo contaminado por petróleo de la ciudad de 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 27 de Marzo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella