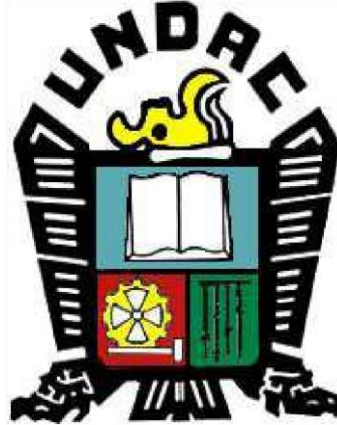


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

Comparación y evaluación de las granulometrías y propiedades Elasto-plásticas mediante gráficos de ajuste por mínimos cuadrados de los suelos en Chaupimarca, Pasco 2023

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Jessica Elizabeth PACHECO HUAPAYA

Asesor:

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCÍA

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

Comparación y evaluación de las granulometrías y propiedades Elasto-plásticas mediante gráficos de ajuste por mínimos cuadrados de los suelos en Chaupimarca, Pasco 2023.

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL
PRESIDENTE

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO
MIEMBRO

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 074-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Comparación Y Evaluación De Las Granulometrías Y Propiedades Elasto-Plásticas Mediante Gráficos De Ajuste Por Mínimos Cuadrados De Los Suelos En Chaupimarca, Pasco 2023.

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. PACHECO HUAPAYA, Jessica Elizabeth

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. CÓNDOR GARCÍA, Hildebrando Anival

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Civil

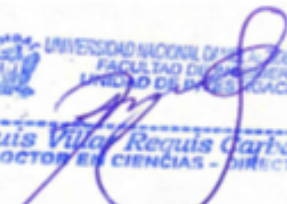
Índice de Similitud

18%

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 29 de febrero del 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villa Requis Garbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo Pacheco y Elizabeth Huapaya, porque ellos son la motivación de mi vida mi orgullo de ser lo que soy.

A Arik, porque desde que nació fue un impulso para continuar, y es la razón de sentirme tan orgullosa de culminar una de mis metas, y ser su ejemplo a seguir.

A mi familia por la confianza brindada en mí, a mis abuelitos, tíos, primos y hermanos, gracias por ser parte de mi vida, por su apoyo incondicional, por confiar en mí, por permitirme ser parte de su orgullo, y por ser el pilar fundamental para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco eternamente a Dios por haberme brindado la vida, su paz y sabiduría para seguir adelante, y obtener el grado de Ingeniería en Civil.

Agradezco a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión que me brindó la oportunidad de prepararme para la vida profesional y personal.

A cada una de las personas que me apoyaron para que este proyecto se realice, desde lo más profundo de mi corazón les agradezco.

RESUMEN

Se examinan dos aspectos fundamentales: las granulometrías, que describen la distribución de tamaños de partículas en el suelo, y las propiedades elasto-plásticas, que comprenden características como la compresibilidad, la plasticidad y la resistencia a la deformación.

Para llevar a cabo este análisis, se utiliza el método de ajuste por mínimos cuadrados, que permite construir gráficos que representen de manera precisa la relación entre las variables estudiadas. Esta técnica matemática es especialmente útil en la elaboración de modelos que se ajusten a datos dispersos, como es el caso de las muestras de suelo analizadas en este estudio.

El análisis comparativo revela diferencias significativas en la distribución de tamaños de partículas entre las muestras de suelo recolectadas en diferentes áreas de Chaupimarca, así como variaciones en las propiedades elasto-plásticas de estos suelos. La correlación entre estos dos aspectos proporciona información crucial sobre la composición y el comportamiento mecánico de los suelos en la región.

El uso del método de mínimos cuadrados garantiza una interpretación objetiva de los datos y facilita la comparación entre diferentes muestras, lo que contribuye a una comprensión más profunda de las características del suelo en Chaupimarca, Cerro de Pasco. Los resultados de este estudio pueden tener importantes implicaciones en la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil y ambiental en la región.

Palabras clave: Mínimos cuadrados, granulometrías, elasto-plásticas

ABSTRACT

Two fundamental aspects are examined: granulometries, which describe the distribution of particle sizes in the soil, and elasto-plastic properties, which include characteristics such as compressibility, plasticity and resistance to deformation.

To carry out this analysis, the least squares adjustment method is used, which allows the construction of graphs that accurately represent the relationship between the variables studied. This mathematical technique is especially useful in developing models that fit dispersed data, as is the case with the soil samples analyzed in this study.

The comparative analysis reveals significant differences in particle size distribution between soil samples collected in different areas of Chaupimarca, as well as variations in the elasto-plastic properties of these soils. The correlation between these two aspects provides crucial information about the composition and mechanical behavior of soils in the region.

The use of the least squares method guarantees an objective interpretation of the data and facilitates comparison between different samples, which contributes to a deeper understanding of the soil characteristics in Chaupimarca, Cerro de Pasco. The results of this study may have important implications for the planning and execution of civil and environmental engineering projects in the region.

Keywords: Least squares, granulometries, elasto-plastics

INTRODUCCIÓN

La evaluación detallada de las propiedades del suelo es fundamental en diversas áreas de la ingeniería civil y ambiental, ya que proporciona información crucial para el diseño y la ejecución de proyectos de construcción, geotécnicos y ambientales. En particular, el análisis de las granulometrías y las propiedades elasto-plásticas de los suelos es de gran importancia, ya que influyen directamente en su comportamiento mecánico y en su respuesta ante cargas y deformaciones.

En este contexto, el presente estudio se centra en la comparación y evaluación de las granulometrías y propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Cerro de Pasco. Esta región, ubicada en una zona montañosa de Perú, presenta una amplia variedad de suelos con características geotécnicas particulares, lo que la convierte en un área de interés para la investigación geotécnica y ambiental.

El objetivo principal de esta investigación es analizar en detalle las características de los suelos en Chaupimarca, con un enfoque en las granulometrías y las propiedades elasto-plásticas, utilizando el método de ajuste por mínimos cuadrados para elaborar gráficos que representen de manera precisa estas características. A través de este análisis comparativo, se busca comprender mejor la composición y el comportamiento mecánico de los suelos en la región, lo que permitirá obtener información valiosa para la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil y ambiental en Chaupimarca, Cerro de Pasco.

El Autor.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	1
1.3. Formulación del problema.	2
1.3.1. Problema general.....	2
1.3.2. Problemas específicos.	2
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivo específico.....	4
1.5. Justificación de la investigación.	4
1.5.1. Justificación social.	4
1.5.2. Justificación económica.	5
1.5.3. Justificación técnica.	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.1.1. Antecedente Internacional.....	7
2.2. Bases teóricas – científicos.....	9
2.2.1. Fundamentos de estudio de suelos.....	9
2.2.2. Métodos de clasificación de los suelos.....	10
2.2.3. Ensayos	20
2.2.4. Modelo matemático de comparación de datos	32
2.3. Definición de términos básicos	43
2.4. Formulación de la hipótesis	45
2.4.1. Hipótesis general.....	45
2.4.2. Hipótesis Específica.....	45
2.5. Identificación de variables	46
2.5.1. Variable Independiente	46
2.5.2. Variable Dependiente.....	46
2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores	47

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación.....	48
3.2. Nivel de Investigación	49

3.3. Método de Investigación	49
3.4. Diseño de Investigación	49
3.5. Población y Muestra.....	50
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
3.6.1. Instrumentos de Medición:.....	50
3.6.2. Muestreo Sistemático:.....	51
3.6.3. Recopilación de Datos:	51
3.6.4. Interpretación de Resultados:.....	51
3.6.5. Presentación de Resultados:.....	51
3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	51
3.8. Tratamiento Estadístico.....	52
3.8.1. Análisis Estadístico:.....	52
3.8.2. Validación Estadística:.....	52
3.9. Orientación ética, filosófica y epistémica	52

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	53
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.....	53
4.2.1. Estudio de Suelos	53
4.2.2. Modelamiento mediante software	54
4.2.3. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.....	54

4.2.4. Resultados de los Estudios Granulométricos de suelos	70
4.3. Prueba de Hipótesis.....	141
4.4. Discusión de Resultados	142

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. SISTEMA DE CLASIFICACION SUCS	14
Tabla 2, CARACTERISTICAS DE LA CLASIFICACION SUCS	15
Tabla 3. CARACTERISTICAS Y USOS DE LOS SUELOS	16
Tabla 4. SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO	18
Tabla 5. CARACTERÍSTICAS DE SUELOS SEGÚN AASHTO.....	19
Tabla 6. SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS.....	21
Tabla 7. PESO DEL MATERIAL A ENSAYAR	31
Tabla 8.COMPARATIVO N°1 TAMIZ 3”	74
Tabla 9. COMPARATIVO TAMIZ 2 ½”	79
Tabla 10.COMPARATIVO TAMIZ 2”	84
Tabla 11.COMPARATIVO TAMIZ 1 ½”	89
Tabla 12. COMPARATIVO TAMIZ 1”	94
Tabla 13. COMPARATIVO TAMIZ ¾”	99
Tabla 14. COMPARATIVO TAMIZ 3/8”	104
Tabla 15. COMPARATIVO TAMIZ N° 4.....	109
Tabla 16. COMPARATIVO TAMIZ N° 10.....	114
Tabla 17. COMPARATIVO TAMIZ N° 20.....	119
Tabla 18. COMPARATIVO TAMIZ N° 40.....	124
Tabla 19. COMPARATIVO TAMIZ N° 50.....	129
Tabla 20. COMPARATIVO TAMIZ N° 140.....	134
Tabla 21. COMPARATIVO TAMIZ N° 200.....	139
Tabla 22.COMPARATIVO ELASTO PLASTICOS	140

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. CARTA DE PLASTICIDAD SUCS.....	16
Gráfico 2 CARTA DE PLASTICIDAD AASHTO.....	19
Grafico 3. AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1 – CHAUPIMARCA	55
Grafico 4AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2 - CHAUPIMARCA	56
Grafico 5. AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3 - CHAUPIMARCA.....	57
Grafico 6 AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4 - CHAUPIMARCA	58
Grafico 7 AA.HH. NORUEGA ALTA - CHAUPIMARCA	59
Grafico 8 AA.HH. NORUEGA BAJA - CHAUPIMARCA.....	60
Grafico 9 AA.HH. HUARICAPCHA - CHAUPIMARCA.....	61
Grafico 10 AA.HH. LA ESPERANZA - CHAUPIMARCA.....	62
Grafico 11 CERCADO CHAUPIMARCA - CHAUPIMARCA	63
Grafico 12 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 6 - CHAUPIMARCA.....	64
Grafico 13 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 5 - CHAUPIMARCA.....	65
Grafico 14 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 4 - CHAUPIMARCA.....	66
Grafico 15 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 3 - CHAUPIMARCA.....	67
Grafico 16 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 2 - CHAUPIMARCA.....	68
Grafico 17 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 1 - CHAUPIMARCA.....	69
Grafico 18 COMPARACIÓN N° 1 TAMIZ 3"	74
Grafico 19. COMPARATIVO TAMIZ 2 1/2"	79
Gráfico 20. COMPARATIVO TAMIZ 2"	84
Gráfico 21. COMPARATIVO TAMIZ 1 1/2"	89
Gráfico 22. COMPARATIVO TAMIZ 1"	94
Gráfico 23.COMPARATIVO TAMIZ 3/4"	99
Gráfico 24. COMPARATIVO TAMIZ 3/8"	104

Gráfico 25 COMPARATIVO TAMIZ N° 4.....	109
Gráfico 26. COMPARATIVO TAMIZ N° 10.....	114
Gráfico 27. COMPARATIVO TAMIZ N° 20.....	119
Gráfico 28. COMPARATIVO TAMIZ N° 40.....	124
Gráfico 29. COMPARATIVO TAMIZ N.º 50.....	129
Gráfico 30. COMPARATIVO TAMIZ N° 140.....	134
Gráfico 31. COMPARATIVO TAMIZ N° 200.....	139
Gráfico 32. COMPARATIVO ELASTO PLASTICOS.....	140

SERIE DE GRAFICOS

Serie de Gráficos 1. TAMIZ N° 3"	70
Serie de Gráficos 2. TAMIZ 2 1/2"	75
Serie de Graficos 3. TAMIZ 2"	80
Serie de Gráficos 4. TAMIZ 1 1/2"	85
Serie de Gráficos 5. TAMIZ 1"	90
Serie de Gráficos 6 TAMIZ 3/4"	95
Serie de Gráficos 7. TAMIZ 3/8"	100
Serie de Gráficos 8. TAMIZ N°4	105
Serie de Gráficos 9. TAMIZ N° 10	110
Serie de Gráficos 10. TAMIZ N°20	115
Serie de Gráficos 11. TAMIZ N°40	120
Serie de Gráficos 12. TAMIZ N°50	125
Serie de Gráficos 13. TAMIZ N°140	130
Serie de Gráficos 14. TAMIZ N°200	135

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En la región de Chaupimarca, Pasco, se presenta una falta de información detallada sobre las características granulométricas y las propiedades elasto-plásticas de los suelos en el año 2023. Estas características son fundamentales para entender la respuesta del suelo a cargas y deformaciones, lo cual es importante en el diseño y en la ejecución exitosa de proyectos de construcción e infraestructura.

La ausencia de datos precisos y actualizados sobre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos puede conducir a decisiones subóptimas en la planificación y ejecución de proyectos, lo que podría resultar en problemas como asentamientos no previstos, fallas estructurales o dificultades en la implementación de obras civiles.

1.2. Delimitación de la investigación.

La investigación se centra exclusivamente en la localidad de Chaupimarca, en la región de Pasco. Los análisis de granulometría y propiedades elastoplásticas se limitan a esta área específica. La investigación se enfoca en los

diferentes tipos de suelos presentes en Chaupimarca. Se pueden incluir distintos perfiles de suelos, como arcillas, limos, arenas, etc. La recolección de datos y análisis se lleva a cabo durante el año 2023. El período específico para la toma de muestras y evaluación de propiedades de los suelos se detalla claramente. Se especifican los métodos utilizados para la comparación y evaluación de las granulometrías y propiedades elasto-plásticas. La utilización de gráficos de ajuste por mínimos cuadrados se destaca como la herramienta principal para estos análisis. Se describen los objetivos específicos de la investigación, como comparar granulometrías, evaluar propiedades elasto-plásticas y utilizar gráficos de ajuste. Se delimita lo que está dentro y fuera del alcance de la tesis. Se define si la investigación se enfoca en toda la población de suelos en Chaupimarca o en una muestra representativa. Se explica el proceso de selección de muestras y su representatividad. Se identifican las posibles limitaciones de la investigación, como restricciones de tiempo, recursos o acceso a ciertos lugares. Estas limitaciones ayudan a contextualizar la investigación.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general

¿Cómo es una comparación y análisis detallado de las granulometrías y propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco, utilizando gráficos de ajuste por mínimos cuadrados, con el propósito de proporcionar información fundamentada para la toma de decisiones en proyectos de construcción e infraestructura en los suelos de Chaupimarca, ¿Pasco 2023?

1.3.2. Problemas específicos.

En esta línea de análisis, se impone la necesidad para realizar un estudio comparativo y evaluativo de las características granulométricas y las propiedades

elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco, en el año 2023. El planteamiento del problema se enfoca en responder preguntas clave, tales como:

- ¿Cuál es la distribución de tamaños de partículas en los suelos de Chaupimarca y cómo ha evolucionado a través del tiempo?
- ¿Cuáles son las propiedades elasto-plásticas de los suelos en términos de su capacidad para resistir cargas y deformaciones?
- ¿Cómo se comparan estas características con estándares o valores de referencia, y qué implicaciones tienen para proyectos de construcción e infraestructura en la región?
- ¿Qué métodos de análisis son más apropiados para obtener resultados precisos y comparables en la evaluación de granulometrías y propiedades elasto-plásticas?

La tesis busca abordar estas interrogantes mediante la aplicación de gráficos de ajuste por mínimos cuadrados como herramienta estadística clave, con el propósito de ofrecer una base sólida para la toma de decisiones en el ámbito de la ingeniería civil y geotecnia en Chaupimarca, Pasco, en el año 2023.

1.4. Formulación de objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Analizar una comparación y evaluación detallada de las granulometrías y propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco, utilizando gráficos de ajuste por mínimos cuadrados, con el propósito de proporcionar información fundamentada para la toma de decisiones en proyectos de construcción e infraestructura en la región.

1.4.2. Objetivo específico.

- Obtener información actualizada y detallada sobre la distribución de tamaños de partículas en los suelos del distrito de Chaupimarca.
- Identificar posibles cambios o tendencias en la granulometría de los suelos a lo largo del tiempo.
- Determinar las propiedades elasto-plásticas de los suelos, centrándose en su capacidad para resistir cargas y deformaciones.
- Evaluar cómo estas propiedades influyen en la estabilidad y seguridad de las estructuras y proyectos de construcción.
- Seleccionar y aplicar gráficos de ajuste por mínimos cuadrados como herramienta estadística para la comparación y evaluación de las características de los suelos.
- Analizar los resultados obtenidos mediante los gráficos para identificar patrones y relaciones significativas.

1.5. Justificación de la investigación.

1.5.1. Justificación social.

La realización de este estudio en Chaupimarca, Pasco, contribuirá significativamente al bienestar social de la comunidad al proporcionar información esencial para la planificación de proyectos de construcción e infraestructura. Al entender las características específicas de los suelos locales, se puede mejorar la seguridad de las estructuras, reducir riesgos de fallas y minimizar impactos adversos en la comunidad. La aplicación de medidas de ingeniería basadas en datos precisos también asegurará la durabilidad de las obras, promoviendo la confianza y la calidad de vida de los residentes.

1.5.2. Justificación económica.

Desde una perspectiva económica, la investigación en granulometría y propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca tiene implicaciones directas en la eficiencia y la economía de los proyectos de construcción. La disponibilidad de datos detallados permitirá una planificación más precisa, evitando costosos contratiempos y optimizando el uso de recursos. La información generada también facilitará la selección de técnicas constructivas adecuadas, reduciendo el riesgo de reparaciones futuras y, por ende, disminuyendo los costos a largo plazo.

1.5.3. Justificación técnica.

Desde el punto de vista técnico, la investigación se justifica al aplicar herramientas estadísticas avanzadas, como los gráficos de ajuste por mínimos cuadrados, para analizar detalladamente las características del suelo. Este enfoque metodológico permite una evaluación precisa y comparativa de la granulometría y las propiedades elasto-plásticas, brindando resultados robustos y confiables. La aplicación de técnicas estadísticas avanzadas asegura la validez y la relevancia de los datos recopilados, proporcionando una base técnica sólida para la toma de decisiones en el ámbito de la ingeniería geotécnica.

1.6. Limitaciones de la investigación.

- Disponibilidad de Datos Previos:

La falta de datos históricos detallados podría limitar la capacidad de identificar tendencias a largo plazo en la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos.

- Variabilidad Natural del Suelo:

La variabilidad intrínseca de los suelos podría introducir cierta incertidumbre en los resultados, a pesar de la aplicación de técnicas estadísticas avanzadas.

- Restricciones Financieras y Temporales:

Limitaciones presupuestarias y de tiempo podrían afectar la extensión y la profundidad del muestreo, así como la cantidad de sitios de estudio, influyendo en la representatividad de los resultados.

- Factores Climáticos y Ambientales:

Las condiciones climáticas y ambientales pueden afectar la logística del muestreo y la realización de pruebas de laboratorio, introduciendo posibles desafíos en la obtención de datos precisos.

- Aplicabilidad a Otros Contextos Geográficos:

Los resultados y conclusiones pueden estar específicamente vinculados a Chaupimarca y podrían no ser completamente extrapolables a otras regiones geográficas con características de suelo diferentes.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedente Internacional.

Análisis comparativo de las diversas granulometrías y parámetros elasto-plástico establecida por gráficos de referencia por mínimos cuadrados de los suelos de la zona sur de la ciudad de La Paz, del tesista (Rivero Álvarez, 2018), en el desarrollo de este trabajo se realizaron; el análisis comparativo de 15 ensayos de clasificación de suelo que se realizó en diferentes zonas que comprenden la Zona Sur de la ciudad de La Paz, utilizando el método de recta ajustable por graficas de referencia que determinan funciones optimas del tipo de suelo que debería tener la zona de estudio. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo son de gran importancia durante la etapa de ejecución de la construcción, considerando que estas corresponden a calidad. Además, como resultado del trabajo de aplicación. A esto se le superpone un método lineal estadísticamente ajustable, y luego de la presentación de las curvas granulométricas, con base en el estudio y clasificación de los suelos de la región,

incluyendo la zona sur de la ciudad de La Paz, se puede concluir que: El suelo no sólo está formado por materiales finos y gruesos. Esto puede verificarse mediante los tipos de curvas granulométricas que representan cada tipo de suelo investigado en cada región donde se tomaron las muestras, en conjunto con estudios estadísticos comparativos realizados a través de tamices. Los resultados de cada ejecución se muestran a continuación. Luego, teniendo en cuenta el porcentaje de material que pasa por el tamiz, se realiza una comparación para cada área correspondiente y se ajusta a una gráfica lineal adaptable por mínimos cuadrados. Esto nos permite obtener la función óptima obtenida en nuestra investigación. El área requiere: En relación al porcentaje de material que pasa por cada tamiz se muestra en las figuras de este estudio.

Variación de las propiedades fisicoquímicas de los suelos del depósito lacustre de la ciudad de Tunja, zona universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, del tesista (Velandia Rativa, 2019), indica que el suelo sometido a estabilización por medio de cca+cal corresponde a un limo de media plasticidad, con un alto contenido de limos y arcillas, con un porcentaje de arenas finas, con permeabilidades muy bajas y con ángulo de fricción de 27° , lo que lo hace un suelo susceptible a asentamientos a largo plazo, y buen candidato a estabilización. El método de estabilización usado en esta investigación se recomienda para suelos con plasticidades medias-bajas, y con un contenido de arena considerable, ya que algunos autores siguieron que, aunque en suelos finos este tipo de estabilización funciona, no se recomienda en suelos con plasticidades altas, ya que requiere de grandes cantidades de material y por lo tanto aumento de costos en obra, para modificar sus propiedades, adicionalmente la cal en suelos finos agrupa el suelo generando grumos, que en presencia de agua son disueltos. Se elaboraron

partículas de tamaño $<75 \mu\text{m}$ por medio de calcinación de cascarilla de arroz mezclada con cal viva obtenida del comercio, se corroboró el tamaño de las partículas por medio de granulometría y tamiz No. 200. De acuerdo con los resultados presentados en el presente trabajo de investigación se puede decir que, al inyectar silicato de calcio en un suelo con plasticidad media, se aumentan las propiedades mecánicas del mismo, logrando que se mejore la capacidad portante del suelo, el ángulo de fricción presenta un aumento de hasta un 42,8% y los tiempos de consolidación del suelo disminuyen junto con los asentamientos evaluados por medio de consolidación unidimensional.

2.2. Bases teóricas – científicos.

2.2.1. Fundamentos de estudio de suelos.

2.2.1.1. Clasificación de suelos.

Con el fin de categorizar los suelos en conjuntos que compartan características similares y presenten propiedades geotécnicas afines, han sido desarrolladas diversas clasificaciones del suelo. Estas clasificaciones suelen fundamentarse principalmente en la distribución de tamaños de partículas, los límites de Atterberg y el contenido de materia orgánica, entre otros factores. Actualmente, los dos sistemas principales de clasificación son el sistema AASHTO y el SUCS.

2.2.1.2. Propiedades necesarias para su clasificación

Granulometría

La característica más importante para clasificar los suelos es determinar la proporción de masa de suelo seco que pasa por cada tamiz en una serie continúa estandarizada. Este valor se expresa como porcentaje y se puede representar gráficamente mediante una curva de tamaño de

partícula. Además, a partir de la granulometría se pueden derivar dos indicadores cruciales: el coeficiente de uniformidad (Cu), que se define como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasa el 60% y el 10% en peso de la muestra total, y el coeficiente de curvatura (Cc), que proporciona una medida numérica de la graduación de un suelo. Entre las propiedades del suelo que guardan una relación directa con la granulometría se incluyen la porosidad, permeabilidad y resistencia al corte.

Plasticidad

La plasticidad de un suelo se refiere a su cualidad para ser conformado sin sufrir fracturas, y este atributo está condicionado por su contenido de humedad y la naturaleza de los componentes arcillosos presentes. La medición de la plasticidad se realiza a través de los límites de consistencia o límites de Atterberg, lo que permite calcular un índice de plasticidad.

Contenido de material orgánico

Reviste importancia a largo plazo, dado que puede generar cambios volumétricos y hundimientos secundarios. Su determinación se lleva a cabo principalmente mediante procesos de oxidación con agua oxigenada y la aplicación del método que emplea permanganato de potasio.

2.2.2. Métodos de clasificación de los suelos.

2.2.2.1. SUCS – Unified Soil Classification System

El Sistema de Clasificación Unificado de Suelos, desarrollado por Arthur Casagrande en la década de los 40, utiliza parámetros como la composición granulométrica, los límites de Atterberg (Límite Líquido

(LL) e Índice Plástico (IP)), y la presencia de materia orgánica para determinar la clasificación de los suelos (adaptado del texto "Mecánica de Suelos" de Gonzalo Duque Escobar, 2002, y del "Manual de Carreteras" de Luis Bañón Blázquez, 1999).

Este sistema clasifica los suelos en tres categorías principales:

- Suelos de Granulometría Gruesa
- Suelos de Granulometría Fina
- Suelos Altamente Orgánicos

Los suelos granulares se identifican mediante símbolos con prefijos y sufijos:

Prefijos:

- G: Grava, si el 50% o más se retiene en el Tamiz No. 4
- S: Arena, si más del 50% pasa el Tamiz No. 4

Sufijos:

- W: Bien gradado
- P: Mal gradado (depende de Cu y Cc)
- M: Limoso
- C: Arcilloso (depende de WL y el IP)

Si menos del 5% pasa el Tamiz No. 200, los sufijos son W o P, según los valores de Cu y Cc. Si más del 12% pasa el Tamiz No. 200, los sufijos son M o C, dependiendo de WL e IP. Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia).

Los suelos finos se designan con símbolos que incluyen prefijos y sufijos:

Prefijos:

- M: Limo
- C: Arcilla
- O: Orgánico

Sufijos:

- L: Baja plasticidad ($WL < 50\%$)
- H: Alta plasticidad ($WL > 50\%$)

En la carta de plasticidad, se encuentran separados por la línea B (ver Figura 3). De acuerdo con lo anterior, se generan los siguientes tipos de grupos para la clasificación:

- GW: Grava bien gradada, mezclas gravosas con poco o ningún fino.
- GP: Grava mal gradada, mezclas de grava y arena con poco o ningún fino.
- GM: Grava limosa, mezclas de grava, arena y limo.
- GC: Grava arcillosa, mezclas gravo-arena arcillosas.
- SW: Arena bien gradada.
- SP: Arena mal gradada, arenas gravosas con poco o ningún fino.
- SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
- SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
- ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa).
- OL: Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.

- MH: Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
- OH: Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
- Pt: Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

En las Figuras 1, 2, 3 y 4, se puede observar el procedimiento de clasificación de los suelos mediante el sistema SUCS y las características de los grupos en esta clasificación.

Tabla 1. SISTEMA DE CLASIFICACION SUCS

DIVISION	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
	GRAVAS	ARENAS			Menos del 5% : GW, GP, SW, SP, SM, SC. Mas de 12% : GM, GC.	De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de simbolos dobles.	
SUELO DE PARTICULAS GRUESAS	Mas de la mitad del material PASA en la malla numero 200	Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	GW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	Coefficiente de uniformidad Cu: mayor de 4 C _u = D ₆₀ /D ₁₀ ; C _c = (D ₃₀) ² /D ₁₀ ³	Entre 1 y 3	
		Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	GP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.		
	Mas de la mitad del material PASA en la malla numero 200	Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de simbolos dobles.		
		Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	GU	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Arriba de "A". I.P. mayor que 7		
SUELO DE PARTICULAS FINAS	Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla numero 200	Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	SW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	Coefficiente de uniformidad Cu: mayor de 6 C _u = D ₆₀ /D ₁₀ ; C _c = (D ₃₀) ² /D ₁₀ ³	Entre 1 y 3	
		Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	SP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.		
	Mas de la mitad del material PASA en la malla numero 200	Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	SM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de simbolos dobles.		
		Mas de la mitad de la fraccion gruesa es RETENIDA en la malla N°4.	SC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Arriba de "A". I.P. mayor que 7		
PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40							
LIMOS Y ARCILLAS	LIMITE LIQUIDO mayor de 50	LIMITE LIQUIDO menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al rompimiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agua)	TEMACIDAD (sensación al tacto plástico)	INDICE PLASTICO	CARTAS DE PLASTICIDAD
			Nula o ligera	Rápida alenta	Nula		
	Media a alta	Nula a muy lenta	media	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
	Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomos, limos elásticos.		
	Alta a muy alta	Nula a muy lenta	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
	Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente, por su textura fibrosa.			Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		
	C = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad.						

U Si el límite líquido es de 28 o menos y el I.P. es de 6 o menos (caminos y aeropuertos)
 L Si el límite líquido es mayor de 28 y el I.P. es mayor de 6 (caminos y aeropuertos)
 LINEA U I.P. = 0.90 (L.L. - 6)
 LINEA A I.P. = 0.73 (L.L. - 20)

Descargado por Jessica Pacheco (jeitza.jepth@gmail.com)

Tabla 2, CARACTERISTICAS DE LA CLASIFICACION SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
			GP Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
			GC Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			SC Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.

SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.

Suelos muy orgánicos	PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.
-----------------------------	-----------	--

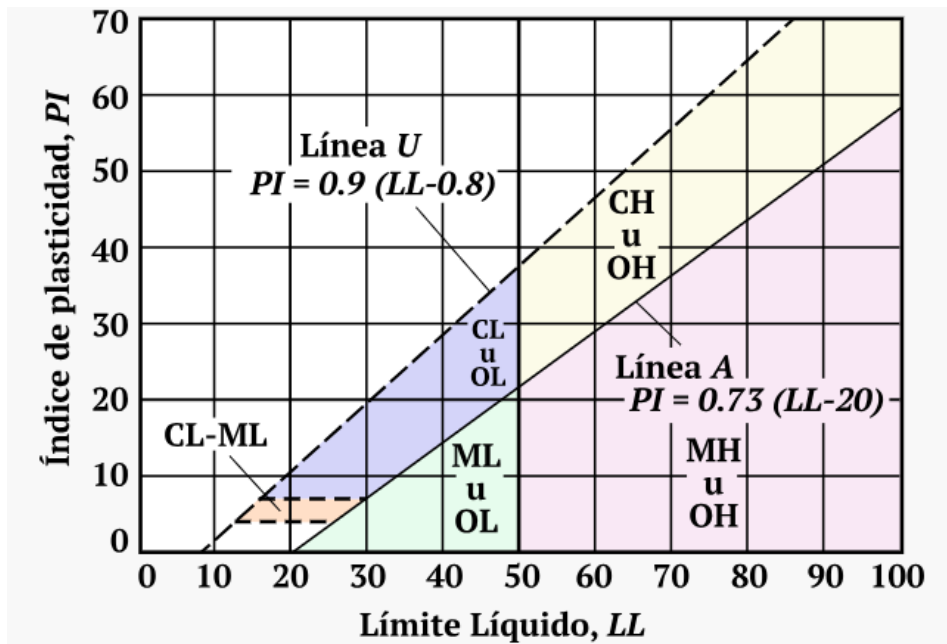


Gráfico 1. CARTA DE PLASTICIDAD SUCS

Tabla 3. CARACTERÍSTICAS Y USOS DE LOS SUELOS

Grupo	VALORACIÓN ATRIBUTOS				APTITUDES SEGÚN USOS	
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.	
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales.	
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua.	
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales.	
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.	
SP	m	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud.	
SM	m	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas.	
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento	
ML	m	-	M	m	Inaceptable en pavimentos, licuable.	
CL	+	--	M	m	Revestimiento de canales, pero es erodable.	
OL	m	-	--	m	No recomendable, máximo si hay agua.	
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)	
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)	
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.	
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obra	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente	+++
					Muy alto	++
					Alto	+
					Moderado	m
					Deficiente	-
					Muy bajo	---

2.2.2.2. AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

Este sistema, perteneciente al Departamento de Caminos de los Estados Unidos (HRB - Highway Research Board), fue introducido en

1929 y posteriormente adoptado por la "American Association of State Highway Officials", entre otros organismos. Se utiliza especialmente en la construcción de carreteras, particularmente en la gestión de subrasantes y terraplenes (modificado del texto "Mecánica de Suelos" de Gonzalo Duque Escobar, 2002, y del "Manual de Carreteras" de Luis Bañón Blázquez, 1999).

Los grupos de suelos establecidos son 7, subdivididos en otros más, llegando así a un total de 12 categorías.

a) Grueso granulares: 35% o menos pasa el Tamiz No. 200, y se subdividen de la siguiente manera:

- A-1: Menos del 20% pasa el Tamiz No. 200 y menos del 50% pasa el Tamiz No. 40, con $IP < 6\%$ en el material que pasa el Tamiz No. 40.
- A-2: Menos del 35% pasa el Tamiz No. 200 (limoso o arcilloso), y el material no cumple con las características de A-1 ni A-3.
- A-3: Menos del 10% pasa el Tamiz No. 200 y 51% o más pasa el Tamiz No. 40, pero si el material que pasa el Tamiz No. 40 no es plástico.

b) Suelo fino granulares (grupo limo arcilla): Más del 35% pasa el Tamiz No. 200 y se dividen en subgrupos:

- A-4: Si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \leq 40\%$
- A-5: Si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \geq 41\%$
- A-6: Si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 40\%$
- A-7: Si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \geq 41\%$

Por lo tanto, A-1 incluye cascajo y arena; A-3 comprende arena fina; A-2 abarca cascajos y arenas limosas o arcillosas; A-4 y A-5 engloban suelos limosos, mientras que A-6 y A-7 representan suelos arcillosos. En la Figura 5 se muestra el proceso de clasificación de suelos mediante el sistema AASHTO, la Figura 6 presenta la carta de plasticidad de este sistema, y en la Figura 7 se detallan las características de los grupos.

Tabla 4. SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				A-8	
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6		
Grupo:	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	A-8	
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	-			35 máx	-				36 mín	
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40													
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)	41 mín (2)	
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	11 mín	
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		Suelo Altamente Orgánico (TURBA) generalmente es de color oscuro fibroso y olor putrefacto		
Características como subgrado	Excelente a bueno							Regular a Deficiente					

NOTA:

Si el L.P Es menor que 30, la clasificación es (A-7-6)

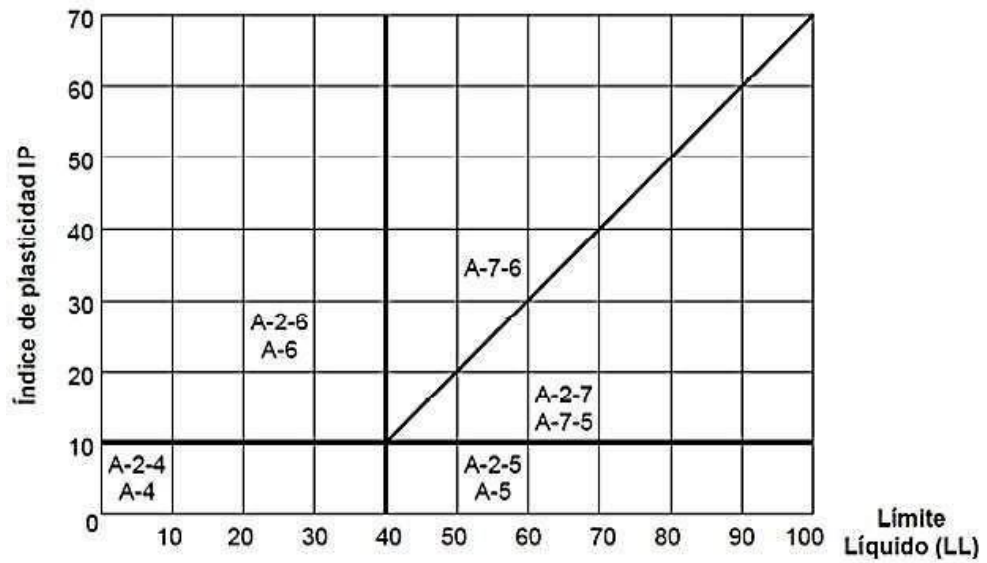
Si el L.P Es igual o mayor que 30, la clasificación es (A-7-5)

El grupo (A-7) es subdividido en (A-7-5) o (A-7-6) dependiendo del Límite Plástico (LP)

El índice de plasticidad de los suelos A-7-6 es mayor a su Límite Líquido.

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Índice de grupo:
 $IG = (F - 35) \cdot [0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)] + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$
 Siendo:
 F: % que pasa el tamiz ASTM n° 200.
 LL: límite líquido.
 IP: índice de plasticidad
 El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 se calcula usando sólo $IG = 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$



Límite líquido vs Índice plástico para suelos de grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Gráfico 2 CARTA DE PLASTICIDAD AASHTO

Tabla 5. CARACTERÍSTICAS DE SUELOS SEGÚN AASHTO

Grupo Suelos.	Permeabilidad d	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A-1	++	---	--	-	++	++	++	+ Sobresaliente.
A-2	-	++	+	m	-	M	+	+ Muy alto.
A-3	+	-	--	-	+	+	+	+ Alto.
A-4	-	+	+-	++	-	-	+-	m Moderado.
A-5	-	m	++	++	---	-	--	- Deficiente.
A-6	---	-	++	++	--	--	-	-- Bajo.
A-7	--	m	++	++	--	--	--	--- Muy bajo.

2.2.3. Ensayos

2.2.3.1. Ensayo granulométrico por tamizado (AASHTO T-87)

Se conoce como clasificación granulométrica o granulometría al proceso de medición y graduación de los granos en una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios y de los suelos. Este procedimiento tiene como objetivo analizar tanto el origen como las propiedades mecánicas de dichos materiales, calculando la abundancia correspondiente a cada uno de los tamaños establecidos por una escala granulométrica.

Para realizar esta clasificación se utilizan una serie de tamices de diferentes diámetros colocados en una columna. El material original (suelo o muestra) se coloca en la parte superior de esta columna, donde se ubica el tamiz de mayor diámetro. A continuación, la columna de tamiz se somete a un proceso de tamizado con intenso movimiento giratorio en una máquina especial. Después de un cierto tiempo, retire el colador.

La norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que atraviesan los distintos tamices de la serie utilizada en el ensayo, hasta el de 0.074 mm (Nº 200). Esto posibilita la evaluación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas presentes en el suelo.

Tamaño de las partículas que conforman la muestra del suelo



Imagen 1 TAMAÑO DE PARTICULAS

A. Equipo

- **Balanza**

El equipo de medición debe tener una capacidad que exceda la masa total de la muestra junto con el recipiente destinado para el pesaje. La precisión requerida es de 0.1 g cuando se trata de muestras con un peso inferior a 1000 g y de 1 g para muestras que superan los 1000 g.

- **Tamices**

Los tejidos deben estar compuestos por alambre, presentar aberturas cuadradas y estar debidamente tensados. Los tamaños nominales de las aberturas deben ajustarse a la serie indicada en el siguiente cuadro.

Tabla 6. SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS

SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS	
Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
80	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
40	(1 ½")
25	(1")
20	(¾")
12,5	(½")
10	(⅜")
6,3	(¼")
5	(N° 4)
2,5	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,25	(N° 16)
0,630	(N° 30)
0,315	(N° 50)
0,160	(N° 100)
0,080	(N° 200)



Imagen 2. TAMICES ESCOGIDOS

- **Horno**

Contará con la capacidad de ajustar la circulación de aire y la temperatura de acuerdo con las condiciones del ensayo.

- **Tapa**

Cada juego de tamices estará equipado con una tapa que encajará de manera precisa con el fin de prevenir la pérdida de material.

B. Herramientas y accesorios

Espátulas, pinceles y contenedores destinados al proceso de secado y pesaje de las muestras de suelo.

C. Procedimiento del ensayo

La totalidad de la muestra debe ser pesada con una aproximación de 1 g y registrada en planillas de granulometría.

- Se coloca el material registrado en el tamiz superior de la serie, cubriendo con la tapa y fondo correspondientes.
- El material registrado se agita o tamiza manualmente en el conjunto de tamices, siguiendo el orden establecido (3", 2½", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", No.4, No.10, No.40y No. 200) durante un mínimo de 5 minutos.

- En el proceso de tamizado inicial, se procede a pasar la muestra de suelo a través de los tamices mencionados, separando las fracciones que quedan retenidas y las que pasan.
- Se pesa y registra el material retenido en cada tamiz.
- Se elabora un formato para documentar los datos obtenidos durante la ejecución del ensayo.
- Se realiza el cálculo del porcentaje de material retenido en los distintos tamices.

D. Porcentajes

Porcentaje parcial retenido en un tamiz: proporción en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un tamiz específico.

Porcentaje acumulado retenido en un tamiz: porcentaje en masa de todas las partículas que superan la abertura de un tamiz determinado; se obtiene sumando el porcentaje parcial retenido en ese tamiz y los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz: porcentaje en masa de todas las partículas que son más pequeñas que la abertura de un tamiz en particular; se calcula restando el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz del 100%.

E. Cálculos

$$\% \textit{Retenido parcial} = \frac{\textit{peso retenido}}{\textit{masa total}} * 100$$

$$\% \textit{que pasa} = 100\% - \textit{porcentaje retenido}$$

F. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son empleados para describir el comportamiento de los suelos de grano fino, tal como fue definido por Albert Atterberg. Estos límites comprenden el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad.

2.2.3.2. Ensayo para la determinación del límite líquido (AASHTO T- 89)

Este procedimiento define la metodología para calcular el límite líquido de los suelos utilizando la máquina de Casagrande.

A. Finalidad

El límite líquido de un suelo se define como el contenido máximo de humedad a partir del cual el suelo deja de comportarse plásticamente y adquiere características líquidas. Este parámetro se determina mediante ensayos en materiales utilizados en la construcción de bases, sub-bases y terraplenes.

Esta propiedad se mide en el laboratorio mediante procedimientos estandarizados. Llene la cuchara Casagrande con una mezcla maleable de tierra y agua y golpéela en el fondo de la máquina, una tras otra. Gire la manivela hasta que la ranura que creó anteriormente tenga 12 mm de largo. Si el número de golpes necesarios para cerrar la zanja es 25, la humedad del suelo (relación entre el peso de agua y el peso de suelo seco) es igual al límite líquido.

B. Preparación de la muestra

En este análisis, se emplea una muestra representativa de 150 g que ha pasado a través del tamiz N° 40. Esta muestra se coloca en una

cápsula de evaporación y se mezcla con agua destilada utilizando una espátula hasta que adquiriera una consistencia uniformemente pastosa. Posteriormente, se deja reposar durante 12 horas o más en un conservador de humedad para lograr una distribución uniforme de la misma.

C. Equipo

- **Plato de evaporación:** Debe ser fabricado de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de aproximadamente 120 mm.
- **Espátula:** Debe estar equipada con una hoja flexible de alrededor de 75 mm de longitud y 20 mm de ancho.
- **Aparato de límite líquido (máquina Casagrande):** La taza de bronce debe tener una masa de 200 ± 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro con una resistencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, soltada libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90 %.
- **Acanalador:** Combinación de acanalador y calibre, construido conforme al plano y dimensiones de la figura.
- **Cápsulas para secado:** Deben ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.
- **Balanza:** La balanza debe tener una precisión de 0,01 g.
- **Probeta graduada:** La probeta debe tener una precisión de 25 ml.

- **Horno:** Debe estar provisto de circulación de aire y tener una temperatura regulable capaz de mantener la temperatura a 60 ± 5 °C.

Control del aparato Casagrande: Se comprobará que el pasador que conecta el plato de bronce no esté desgastado al punto de permitir un juego lateral. Se verificará que los tornillos que sujetan el plato de bronce y el brazo del dispositivo estén bien ajustados y que no se hayan formado surcos en el plato debido a ranurado. Se asegurará de que la altura de la caída del plato sea precisamente de 1 cm y que la profundidad del plato de bronce sea de 1 cm con respecto a la línea horizontal, cuando dicho plato esté en contacto con la base.

D. Procedimiento

El procedimiento estándar para llevar a cabo el ensayo consiste en colocar una porción de la muestra preparada en el plato de bronce. Después de alisar la superficie con una espátula, procurando tener un espesor de 1 cm en el punto máximo, se procede a abrir una ranura moviendo el rasurador a lo largo del diámetro de la taza desde el eje del aparato hasta su borde libre, formando así un canal claro y limpio. A una frecuencia de dos golpes por segundo, se deja caer el plato hasta que los labios de la ranura se unan a 1 cm, con el objetivo de obtener ensayos en los cuales el número de golpes necesarios para cerrar la ranura se encuentre en los rangos de 15 a 20, 20 a 25 y 25 a 30.

Con el conocimiento de la hermenéutica de cálculos de porcentaje de humedad, es posible completar fácilmente el formulario y luego

elaborar la gráfica según los mencionados porcentajes y el número respectivo de golpes. Una vez definidos los puntos, se traza una recta que conecta la mayoría de estos, siendo el límite líquido y el porcentaje de humedad aquellos que intersectan horizontalmente con la línea trazada y verticalmente con la marca de 25 golpes. De esta manera, una vez calculado el porcentaje de humedad para cada una de las determinaciones, se obtiene la información necesaria.

2.2.3.3. Ensayo para la determinación del límite plástico (IP)

Este procedimiento define la metodología para calcular el límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

A. Definición

La humedad, expresada como un porcentaje de la masa del suelo seco en horno, se determina en un suelo remoldeado en la transición entre los estados plástico y semisólido. Este valor representa la cantidad de humedad necesaria para que los bastones cilíndricos de suelo, con un diámetro de 3 mm, se desintegren en fragmentos de 0.5 a 1 cm de longitud y ya no puedan ser amasados ni reconstruidos.

El proceso implica la mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre el dedo índice en una superficie inerte, como vidrio, hasta lograr la formación de un cilindro de 3 mm de diámetro. Una vez alcanzado este diámetro, se desarma el cilindro y se vuelve a amasar hasta obtener nuevamente un cilindro de 3 mm. Este ciclo se repite de manera consecutiva hasta que ya no es posible obtener un cilindro con las dimensiones deseadas. En este punto, el suelo adquiere una textura quebradiza debido a la pérdida de humedad o se vuelve pulverulento.

El contenido de humedad medido en este estado corresponde al límite plástico.

B. Preparación de la muestra

Tomar una muestra representativa de 150 g que haya pasado a través del tamiz N° 40, deshacer los terrones con un mortero sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales y depositar la muestra en una cápsula de evaporación. Luego, agregar la cantidad necesaria de agua destilada utilizando una espátula hasta lograr una mezcla homogénea.

El tiempo de curado de las muestras está condicionado por el grado de plasticidad del suelo, y se establece la siguiente clasificación: s

- suelos de alta plasticidad > 24h
- suelos de plasticidad media > 12h
- suelos de baja plasticidad < 24h

C. Equipos y materiales

- **Plato de evaporación:** Debe ser fabricado de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro aproximado de 120 mm.
- **Espátula:** Debe contar con una hoja flexible de alrededor de 75 mm de longitud y 20 mm de ancho.
- **Superficie de amasado:** Placa de vidrio esmerilado con dimensiones de 20 x 20 cm.
- **Cápsulas para secado:** Deben estar confeccionadas en aluminio, bronce o acero inoxidable.
- **Balanza:** Debe poseer una precisión de 0,01 g.

- **Probeta graduada:** Debe tener una capacidad mínima de 25 ml.
- **Patrón de comparación:** Alambre o plástico con un diámetro de 3 mm.
- **Horno:** Debe contar con circulación de aire y tener una temperatura regulable, capaz de mantenerse a 60 ± 5 °C.

D. Procedimiento

Se considera que un suelo alcanza su límite plástico cuando, al ser amasado en una superficie no absorbente hasta formar un cilindro con un diámetro de 3 mm, comienza a agrietarse. Una vez alcanzado este límite, se coloca la muestra en una cápsula y se determina el porcentaje de humedad de acuerdo con el procedimiento detallado.

El límite plástico informado será el promedio de los porcentajes de humedad obtenidos, siempre y cuando la diferencia entre ellos sea menor al 2%. En caso contrario, se requerirá repetir el ensayo.

E. Determinación del índice de plasticidad (IP)

El índice de plasticidad se representa como un porcentaje del peso en seco de la muestra de suelo y señala el rango de variación del contenido de humedad en el cual el suelo conserva su propiedad plástica. En términos generales, este índice está vinculado únicamente a la cantidad de arcilla presente, indicando la fineza del suelo y su capacidad para adquirir forma sin alterar su volumen.

Este método tiene como objetivo determinar el índice de plasticidad de los suelos, que no es más que el valor numérico que representa la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP).

$$IP = LL - LP$$

2.2.3.4. Determinación del contenido de humedad (%) (ASTM D2216)

El propósito de este análisis es determinar el contenido de humedad en una muestra o masa de suelo, que incluye las aguas libre, capilar e higroscópica. La relevancia del contenido de agua en un suelo, junto con la cantidad de aire, constituye una de las características fundamentales para explicar el comportamiento del material, especialmente en suelos de textura más fina. El método convencional de determinación de la humedad del suelo en el laboratorio es mediante el secado en horno, donde la humedad de un suelo se define como la relación, expresada en porcentaje, entre el peso del agua presente en una masa específica de suelo y el peso de las partículas sólidas.

A. Preparación de la muestra

Las muestras almacenadas previas al ensayo deben conservarse en recipientes no corrosivos a una temperatura que oscile entre 3 y 30 °C, en un espacio donde no estén expuestas directamente a la luz solar. El peso del material húmedo seleccionado debe ajustarse de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 7. PESO DEL MATERIAL A ENSAYAR

PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	
Tamiz que retiene de 10% de la muestra	Peso recomendado de la muestra húmeda (g)
2.00 mm (N°10)	100 a 200
4.75 mm (N°4)	300 a 500
19.00 mm (3/4")	500 a 1000
37.50 mm (1 1/2")	1500 a 3000
75.00 mm(3")	5000 a 10000

Fuente: Manual de servicio nacional de caminos

B. Material y equipo

- **Horno:** Debe ser controlado termostáticamente, idealmente del tipo de corriente de aire, con la capacidad de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) en toda la cámara de secado.
- **Balanzas:** Se requieren balanzas con una precisión de 0.01 g para muestras que pesen 200 g o menos, dependiendo de la cantidad de muestras que deban ser pesadas.
- **Recipientes:** Se deben utilizar recipientes apropiados, fabricados con un material resistente a la corrosión y que no experimenten cambios significativos en su peso durante ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento, así como durante operaciones de limpieza.

C. Procedimiento

Se obtiene una muestra representativa de suelo, considerando el tamaño máximo de las partículas. Posteriormente, la muestra húmeda se coloca en un recipiente previamente tarado para realizar la pesada inicial. A continuación, se introduce el conjunto en un horno, y el tiempo necesario para alcanzar el peso seco variará según el tipo de material.

D. Cálculo

Calcular el contenido de humedad (%) de la muestra con la subsiguiente fórmula, donde:

$$W = \frac{(P_H - P_S)}{(P_S - P_R)} * 100$$

W= contenido de humedad manifiesto en %

Ph = Peso húmedo + recipiente

Ps = Peso seco + recipiente

PR = peso de recipiente

2.2.4. Modelo matemático de comparación de datos

2.2.4.1. Mínimos cuadrados

El método de mínimos cuadrados tiene una larga historia que se remonta a principios del siglo XIX. En junio de 1801, el astrónomo Zach, a quien Gauss había conocido dos años antes, anunció la posición orbital de Ceres, un nuevo "asteroide" descubierto ese mismo año por el astrónomo italiano G. Piazzi. Desafortunadamente, Piazzi sólo pudo observar el objeto a nueve grados de su órbita antes de que desapareciera

detrás del Sol. Zack ofreció varias predicciones para su posición, incluida la predicción de Gauss, que es muy diferente a las demás. Cuando Zack redescubrió Ceres en diciembre de 1801, estaba casi exactamente donde Gauss había predicho. Gauss ya había descubierto el método de mínimos cuadrados, aunque aún no había revelado su método. Hizo un gran trabajo calculando la órbita de Ceres a partir de un número limitado de observaciones. De hecho, el método gaussiano sólo requiere al menos tres observaciones y, en esencia, todavía se utiliza para calcular órbitas en la actualidad.

2.2.4.2. ¿Que son los mínimos cuadrados?

Es un procedimiento de análisis numérico en el cual, al contar con un conjunto de datos conformado por pares ordenados y una familia de funciones, se busca identificar la función continua que mejor se ajuste a los datos (ya sea mediante una línea de regresión o la línea de mejor ajuste). Este proceso ofrece una representación visual de la relación entre los puntos de datos. En su forma más básica, su objetivo es minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias ordenadas, conocidas como residuos, entre los puntos generados por la función y los datos correspondientes.

Este método es frecuentemente empleado para analizar conjuntos de datos obtenidos a través de estudios, con el propósito de expresar su comportamiento de manera lineal y reducir al mínimo los errores asociados con la recopilación de datos.

La creación del método de mínimos cuadrados generalmente se atribuye al matemático alemán Carl Friedrich Gauss, quien lo formuló en

1794 aunque no lo publicó sino hasta 1809. El matemático francés Adrien-Marie Legendre fue el primero en publicarlo en 1805, desarrollándolo de manera independiente.

2.2.4.3. Definición: método de mínimos cuadrados

Su formulación global es en base a la ecuación de una recta $y = mx + b$. Aquí, m representa la pendiente y b denota el punto de intersección, presentándose de la siguiente manera:

$$m = \frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - [\sum x]^2}$$

$$b = \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x \cdot y)}{n \cdot \sum x^2 - [\sum x]^2}$$

El símbolo Σ representa la sumatoria de todos los términos, donde (x, y) son los datos en cuestión y n es la cantidad total de datos disponibles.

El método de mínimos cuadrados se emplea para calcular, a partir de los N pares de datos experimentales (x, y) , los valores de m y b que ofrecen el mejor ajuste a una recta. Este mejor ajuste se define como la recta que minimiza las distancias d entre los puntos medidos y la recta.

Cuando se dispone de una serie de datos (x, y) representados en un gráfico, si la conexión punto a punto no sigue una línea recta, se debe recurrir al método de mínimos cuadrados. Esto se basa en la expresión general del método, que es la siguiente:

$$y = \left(\frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - [\sum x]^2} \right) x + \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum(x \cdot y)}{n \cdot \sum x^2 - [\sum x]^2}$$

Cuando se emplea el método de mínimos cuadrados, se busca identificar una línea de mejor ajuste que describa la posible relación entre

una variable independiente y una variable dependiente. En el análisis de regresión, las variables dependientes son asignadas al eje vertical (y), mientras que las variables independientes se representan en el eje horizontal (x). Estas asignaciones constituirán la ecuación de la línea de mejor ajuste, determinada mediante el método de mínimos cuadrados.

Hemos resaltado la importancia de las representaciones gráficas y hemos observado la utilidad de las versiones linealizadas de los gráficos (X, Y), junto con las diversas formas de llevar a cabo la linealización. Frecuentemente nos encontramos con situaciones en las que existe, o asumimos la existencia de, una relación lineal entre las variables X e Y.

Surge de manera inherente la interrogante: ¿cuál es la relación analítica que presenta el mejor ajuste para nuestros datos? El método de mínimos cuadrados constituye un enfoque general que nos capacita para abordar esta cuestión. En el caso de que la relación entre las variables X e Y sea lineal, el método de ajuste por mínimos cuadrados recibe la denominación adicional de método de regresión lineal.

Observamos o inferimos una tendencia lineal entre las variables y nos planteamos la pregunta de cuál es la recta óptima:

$$Y(x) = ax + b$$

Que incorpora este caso de interés. Resulta beneficioso definir la función:

$$X^2 = \sum_i (y_i - (a \cdot x_i + b))^2$$

La desviación total de los valores observados y_i con respecto a los predichos por el modelo lineal $ax + b$ es una medida significativa. Los

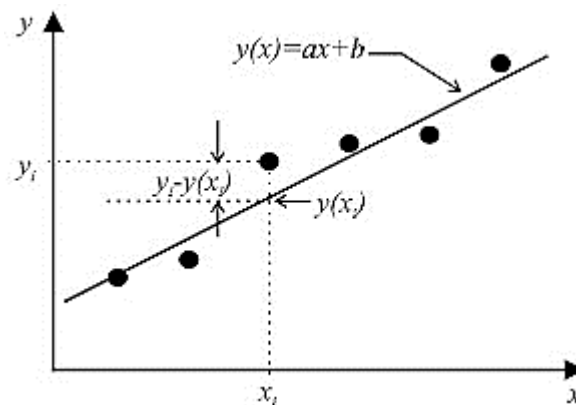
valores óptimos para la pendiente a y la ordenada al origen b son aquellos que minimizan esta desviación total, es decir, son los valores que, al sustituirse en la Ec. (1), reducen al mínimo la función c_2 , según la Ec. (2). Los parámetros a y b pueden determinarse mediante técnicas matemáticas que hacen uso del cálculo diferencial. Al aplicar estas técnicas, el problema de minimización se reduce a resolver el par de ecuaciones:

$$\frac{d_{x^2}}{da} = 0 \text{ y } \frac{d_{x^2}}{db} = 0$$

$$a = \frac{N \cdot \sum(x_i \cdot y_i) - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - [\sum x_i]^2}$$

$$b = \frac{N \cdot \sum y_i \cdot \sum x_i^2 - \sum x_i \cdot \sum(x_i \cdot y_i)}{N \cdot \sum x_i^2 - [\sum x_i]^2}$$

En la actualidad, la mayoría de los programas de análisis de datos y hojas de cálculo llevan a cabo el proceso de minimización de manera automática, proporcionando los resultados de los valores óptimos para a y b , es decir, los valores indicados por las ecuaciones.



En el gráfico de datos asociados a un modelo lineal, la diferencia entre la cantidad y_i y $y(x_i)$ representa la desviación de cada observación y_i respecto del valor predicho por el modelo $y(x)$.

El criterio de mínimos cuadrados elimina el juicio personal al observar gráficos y determinar la mejor recta. En programas como Excel, este proceso se realiza mediante la herramienta "regresión lineal" o "ajuste lineal". Los resultados son aplicables en casos lineales donde todos los datos de la variable dependiente tienen la misma incertidumbre absoluta y la incertidumbre de la variable independiente se considera despreciable.

2.2.4.4. Método de solución por mínimos cuadrados

El método de mínimos cuadrados se emplea para ajustar rectas a una serie de datos representados como puntos en el plano. Supongamos que se disponen de los siguientes datos para las variables x e y :

x_1	x_2	\dots	x_n
y_1	y_2	\dots	y_n

$$y = mx + b$$

Este escenario puede surgir en investigaciones experimentales, donde se examina la variación de una magnitud x en relación con otra magnitud y . Desde un punto de vista teórico, se podría anticipar que la relación entre estas variables sigue un patrón lineal:

El método de mínimos cuadrados nos ofrece un criterio mediante el cual podemos obtener la recta óptima que representa a los puntos dados. Se busca obtener:

$$y_i = mx_i + b$$

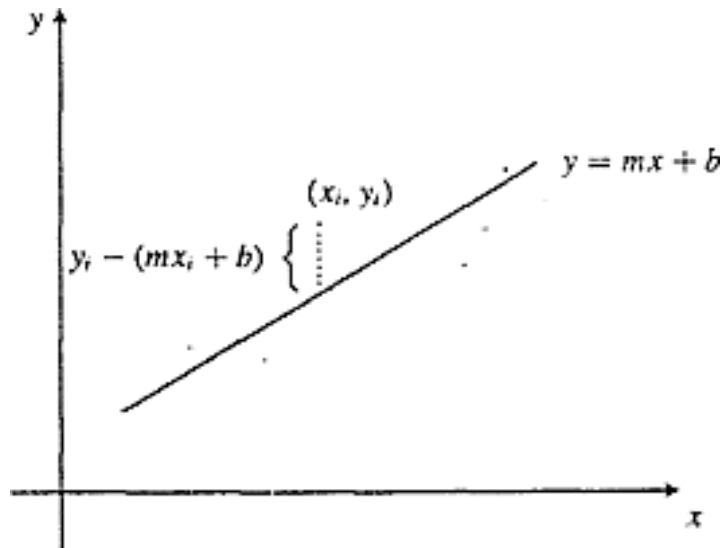
Para todos los puntos (x_i, y_i) de $i=1, \dots, n$. Sin embargo, como en general

$$y_i \neq mx_i + b$$

Se pide que la suma de los cuadrados de las diferencias (las desviaciones)

$$y_i - (mx_i + b)$$

Sea la menor posible.



2.2.4.5. Modelo de aplicación de mínimos cuadrados

A. Ajuste de una recta por mínimos cuadrados

- La información y su análisis.
- Los valores de los parámetros que ofrecen el mejor ajuste.
- Evaluación de la incertidumbre asociada a los parámetros.
- Cálculo del coeficiente de correlación lineal.
- Exposición de los resultados.

B. Los datos y su interpretación

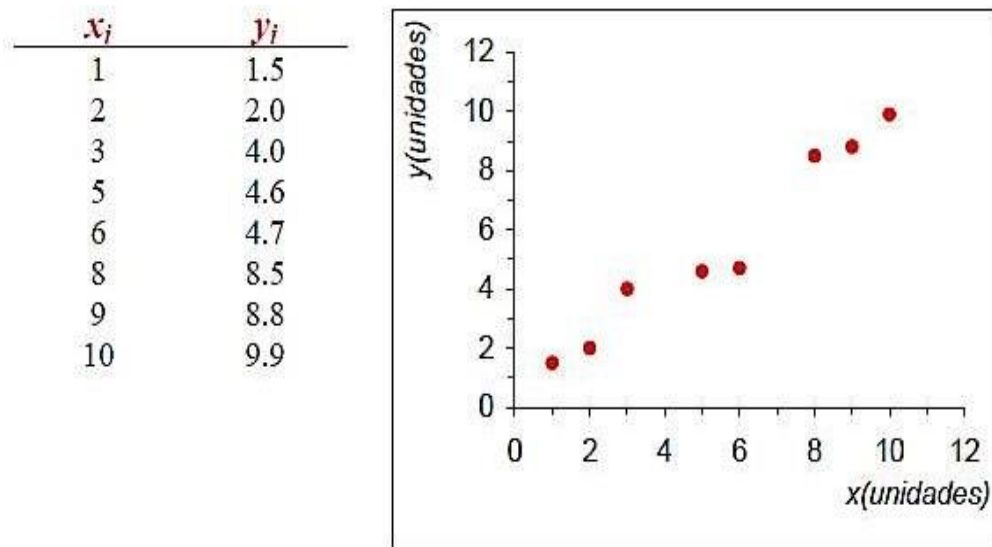
Razones teóricas: $y = mx + n$

N pares de medidas $(x_1, y_1) ; (x_2, y_2) ; \dots ; (x_n, y_n)$

C. Antes de tomar las medidas:

- ¿El rango de la variable independiente seleccionado cubre completamente el intervalo de interés?
- ¿Existe una distribución uniforme de los puntos dentro de este intervalo?

Ordenación y representación gráfica de los datos

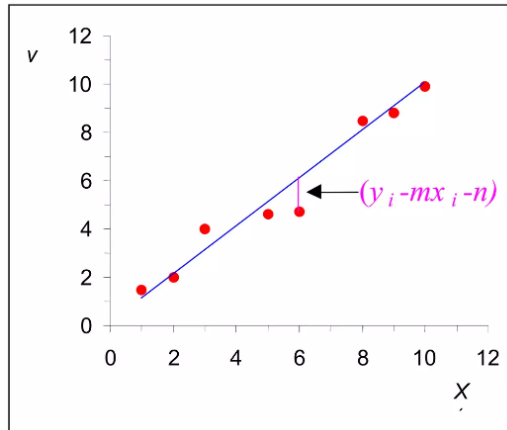


- ¿La representación gráfica de las medidas muestra un comportamiento lineal?
- ¿Existen puntos que exhiban un comportamiento atípico?

D. Los parámetros que mejor ajustan

- ¿Cuál es la recta que mejor se ajusta a las N medidas?

$$X^2(n, m) = \sum_{i=1}^N (y_i - mx_i - n)^2$$



$$m = \frac{NS_{xy} - S_x S_y}{NS_{xx} - S_x S_x}$$

$$n = \frac{S_{xx} S_y - S_x S_{xy}}{NS_{xx} - S_x S_x}$$

¿Qué valores de m y n hacen mínimo X^2 ?

$$\frac{\partial X^2}{\partial m} = 0 \rightarrow 0 = \sum_{i=1}^N -2(y_i - mx_i - n)x_i = -2 \sum_{i=1}^N (y_i x_i - mx_i^2 - nx_i)$$

$$\frac{\partial X^2}{\partial n} = 0 \rightarrow 0 = \sum_{i=1}^N -2(y_i - mx_i - n)$$

Definiendo

$$S_x = \sum_{i=1}^N x_i \quad S_y = \sum_{i=1}^N y_i$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i$$

¿Cuál es el mejor estimador de las incertidumbres de m y de n?

Suponemos que:

- Solo los valores y_i tienen error: δy_i

- Los errores en y son todos iguales: $\delta y_i = \delta y = \sigma_y$ y se estima a partir de la varianza de los datos:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (y_i - mx_i - n)^2 = \frac{X^2(n, m)}{N-2}$$

Aplicando propagación de errores:

$$\sigma_m^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial m}{\partial y_j} \sigma_y \right)^2 ; \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial n}{\partial y_j} \sigma_y \right)^2$$

Y operando se tiene:

$$\sigma_n^2 = \frac{S_{xx}}{NS_{xx} - S_x^2} \frac{\chi^2(n, m)}{N-2}$$

$$\sigma_m^2 = \frac{N}{NS_{xx} - S_x^2} \frac{\chi^2(n, m)}{N-2}$$

E. Coeficiente de correlación lineal

¿Cómo podemos saber cuán bueno es el comportamiento lineal de los N pares de datos medidos?

Los errores en las medidas σ_{y_i} son conocidos:

- ¿La recta pasa por casi todas las barras de error de los puntos?
- Test de X^2

Los errores en las medidas σ_{y_i} son desconocidos:

- A partir de la dispersión de los datos
- Coeficiente de correlación lineal: r
- Mide el grado de correlación lineal entre x e y .

- $|r| \leq 1$
- $|r| = 1$ Correlación total
- $r = 0$ No hay correlación

$$r = \frac{NS_{xy} - S_x S_y}{\sqrt{NS_{xx} - S_x S_x} \sqrt{NS_{yy} - S_y S_y}} \quad \text{siendo} \quad S_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2$$

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

EJEMPLO:

i	x_i	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2	$(n+mx_i - y_i)^2$
1	1	1.5	1.5	1.0	2.25	0.042
2	2	2.0	4.0	4.0	4.00	0.052
3	3	4.0	12.0	9.0	16.00	0.699
4	5	4.6	23.0	25.0	21.16	0.187
5	6	4.7	28.2	36.0	22.09	1.606
6	8	8.5	68.0	64.0	72.25	0.440
7	9	8.8	79.2	81.0	77.44	0.000
8	10	9.9	99.0	100.0	98.01	0.037

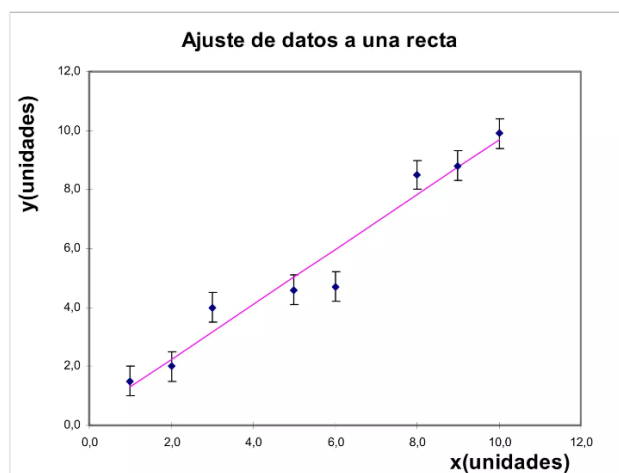
$N=8$	$S_x=44$	$S_y=44$	$S_{xy}=314.9$	$S_{xx}=320$	$S_{yy}=313.2$	$\chi^2=3.066$
-------	----------	----------	----------------	--------------	----------------	----------------

PARAMETROS DE AJUSTE

$$m = \frac{NS_{xy} - S_x S_y}{NS_{xx} - S_x S_x} = 0.935 \quad \varepsilon(m) = \sqrt{\frac{N}{NS_{xx} - S_x S_x} \frac{\chi^2(n, m)}{N-2}} = 0.081$$

$$n = \frac{S_{xx} S_y - S_x S_{xy}}{NS_{xx} - S_x S_x} = 0.36 \quad \varepsilon(n) = \sqrt{\frac{S_{xx}}{NS_{xx} - S_x S_x} \frac{\chi^2(n, m)}{N-2}} = 0.512$$

$$r = \frac{NS_{xy} - S_x S_y}{\sqrt{NS_{xx} - S_x S_x} \sqrt{NS_{yy} - S_y S_y}} = 0.978$$



$$y = (0.94 \pm 0.08)x + (0.4 \pm 0.5)$$

2.3. Definición de términos básicos

- **Granulometría:**

En un suelo, se identifican tres fases fundamentales: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está compuesta por las partículas minerales presentes en el suelo, que incluyen la capa sólida adsorbida. La fase líquida está constituida por el agua, específicamente la libre, aunque en el suelo pueden existir otros líquidos con menor relevancia. La fase gaseosa, predominantemente compuesta por aire, puede contener otros gases como vapores sulfurosos o anhídrido carbónico.

- **Propiedades Elasto-Plásticas:**

Estas propiedades hacen referencia al comportamiento de los suelos frente a cargas y deformaciones. La elasticidad se relaciona con la capacidad del suelo para deformarse y recuperarse al retirar la carga, mientras que la plasticidad se refiere a la capacidad del suelo para cambiar permanentemente de forma.

- **Gráficos de Ajuste por Mínimos Cuadrados:**

Se trata de una herramienta estadística empleada para modelar la relación entre dos variables, minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los predichos. En el contexto de la tesis, estos gráficos se utilizan para ajustar curvas a conjuntos de datos y analizar la relación entre las variables estudiadas.

- **Ingeniería Geotécnica:**

Una rama de la ingeniería civil que se enfoca en el comportamiento de la tierra y los materiales geológicos en proyectos de construcción. Implica el estudio de suelos, rocas y aguas subterráneas para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras.

- **Mínimos Cuadrados:**

Un método estadístico utilizado para minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los predichos. En el contexto de los gráficos de ajuste, se emplea para encontrar la línea (o curva) que mejor se adapta a un conjunto de datos.

- **Proyectos de Construcción e Infraestructura:**

Hace referencia a proyectos que involucran la planificación, diseño y construcción de estructuras y servicios básicos, como carreteras, puentes, edificios, sistemas de agua y alcantarillado, entre otros.

- **Toma de Decisiones Informada:**

Un proceso que implica el uso de datos, análisis y evaluaciones para tomar decisiones racionales y bien fundamentadas. En el contexto de la tesis, se

busca proporcionar información detallada para respaldar decisiones en proyectos de ingeniería.

2.4. Formulación de la hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La variación en las características granulométricas y las propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco, se puede analizar y comparar eficazmente mediante la aplicación de gráficos de ajuste por mínimos cuadrados, lo que permitirá obtener resultados precisos y significativos para la ingeniería geotécnica.

2.4.2. Hipótesis Específica

- Se hipotetiza que existen variaciones en la distribución de tamaños de partículas en los suelos de Chaupimarca, y que estas variaciones pueden ser identificadas y cuantificadas mediante el análisis de gráficos de ajuste por mínimos cuadrados.
- Se postula que las propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca presentarán diferencias significativas, y que estas diferencias pueden ser analizadas y comparadas de manera efectiva utilizando gráficos de ajuste por mínimos cuadrados.
- Se plantea que la aplicación de gráficos de ajuste por mínimos cuadrados será una metodología eficaz para modelar y analizar la relación entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos, proporcionando resultados que pueden ser interpretados de manera precisa y útil para la ingeniería geotécnica.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable Independiente

La variable X en este estudio es la "Distribución de Tamaños de Partículas" o la "Granulometría". Se refiere a la variabilidad en los tamaños de partículas presentes en los suelos de Chaupimarca. Esta variable se estudiará para comprender cómo cambian las propiedades del suelo en función de la distribución de tamaños de partículas.

2.5.2. Variable Dependiente

- La "Propiedad Elasto-Plástica de los Suelos". Esta variable abarca la capacidad del suelo para resistir cargas y deformaciones. Las propiedades elasto-plásticas, como la elasticidad y la plasticidad del suelo, dependerán de la distribución de tamaños de partículas. La variación en la granulometría influirá en cómo el suelo responde a cargas y deformaciones, y esta relación será analizada y cuantificada en el estudio.
- La "Estabilidad Estructural". Esta variable se refiere a la capacidad del suelo para proporcionar una base sólida y estable para las estructuras construidas sobre él. La estabilidad estructural dependerá de cómo interactúan las propiedades elasto-plásticas del suelo con la carga aplicada. Evaluar esta variable permitirá comprender mejor la idoneidad del suelo para proyectos de construcción e infraestructura en Chaupimarca.

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Variable	Definición	Indicador
Suma del material de concreto y de acero	<p>(MÉNDEZ, 2020) “La fusión de ciertos elementos o estructuras es muy común en la obra. En este procedimiento, es importante calcular correctamente la cantidad de material utilizado para mantener los estándares de calidad y garantizar que no haya pérdidas continuas”.</p> <p>(LASCARRO, 2020) “Antes del diseño de mezcla, es fundamental entender la dosificación de los materiales y también es fundamental asegurarse cumplir con las instrucciones dadas en la Norma Técnica Colombiana NTC 3318, que determina las especificaciones para la producción de concreto”.</p>	Software de cálculo estructural
Una zapata aislada en relación a una losa de cimentación.	<p>(GEO5, 2020) “Las zapatas aisladas se usan frecuentemente en cimentaciones poco profundas para soportar y distribuir cargas concentradas causadas por columnas, pilares, etc. Los cimientos independientes pueden estar hechos de materiales reforzados o no reforzados”.</p> <p>(GEO5, 2020) “Los cimientos de losa se usan cuando la carga en el edificio es demasiado grande para ser soportada por cimientos de almohadilla o tira o cuando su uso es ineficaz.</p>	Software de cálculo estructural

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación realizado se clasifica como correlacional, debido a que se buscó establecer el grado de relación existente entre las variables de estudio. En este caso, se analizó la relación entre el comportamiento elasto-plástico y la granulometría proveniente de la de las distintas zonas del distrito de Chaupimarca.

Además, el estudio también se considera explicativo, ya que se describieron detalladamente los resultados de las propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos realizados a los suelos al proporcionar explicaciones claras y detalladas sobre los resultados obtenidos, se busca entender y comprender mejor la relación entre las variables y las razones detrás de los diferentes comportamientos observados en los materiales de las distintas zonas de Chaupimarca.

3.2. Nivel de Investigación

El estudio es experimental e incluirá ensayos de mecánica de suelos y modelamiento estructural mediante software.

3.3. Método de Investigación

En cuanto a la orientación del estudio, se empleó un enfoque aplicado, ya que se utilizaron teorías ya existentes, como las Normas Técnicas Peruanas y el ASTM, para determinar las propiedades físicas del agregado y del suelo. Asimismo, se utilizó la metodología ASHTO para la clasificación del suelo.

En el contexto de un método cuantitativo para la investigación sobre granulometría y propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco, se aplicaron varias herramientas y técnicas específicas para la recopilación y el análisis de datos cuantitativos.

3.4. Diseño de Investigación

Se adoptó un diseño descriptivo correlacional para examinar la relación entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas. Este diseño permitió estudiar las variables.

Esto se llevó a cabo con el propósito de comparar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en la región de Chaupimarca.

En cuanto a la direccionalidad, se adoptó un enfoque prospectivo, ya que se midieron y analizaron en el presente las posibles causas del uso de los suelos en el distrito de Chaupimarca, considerando sus efectos futuros. Este análisis pretende facilitar la implementación de prácticas y mejoras que puedan influir en las construcciones.

Respecto a la evolución del fenómeno estudiado, se siguió un enfoque transversal. Esto se evidencia en la recopilación y medición de datos realizada en

una sola ocasión para cada variable, seguida inmediatamente por la descripción y análisis de los datos obtenidos en cada ensayo.

3.5. Población y Muestra

La población se compone de 15 muestras de suelo, distribuidas entre asentamientos humanos, la zona central y pueblos jóvenes. Para asegurar una confiabilidad del 100%, se tomarán las 15 muestras, dividiéndolas de la siguiente manera.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Fuentes primarias: Se identifican como el medio de recopilación de datos los formularios estandarizados de los ensayos de laboratorio, los cuales se ajustan a las especificaciones de las normativas nacionales (NTP), ASSHTO y ASTM.

Fuentes secundarias: Incluyen libros, revistas, manuales, tesis y material electrónico. Se utilizan como referencias adicionales para complementar la información obtenida de las fuentes primarias.

Las normas técnicas se emplean como guía para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, estableciendo los criterios y procedimientos específicos necesarios para llevar a cabo dichas evaluaciones.

3.6.1. Instrumentos de Medición:

Se desarrollaron instrumentos específicos para medir la distribución de tamaños de partículas y las propiedades elasto-plásticas de los suelos. Esto incluye la utilización de técnicas de análisis granulométrico y pruebas geotécnicas para evaluar la resistencia y deformación del suelo.

3.6.2. Muestreo Sistemático:

Se aplicó un proceso de muestreo sistemático para seleccionar muestras representativas de diferentes áreas en Chaupimarca. Esto garantizó que los resultados fueran aplicables a la población general de suelos en la región.

3.6.3. Recopilación de Datos:

Se recopilaron datos cuantitativos mediante técnicas específicas, como la medición de tamaños de partículas utilizando tamices estandarizados y la realización de pruebas de laboratorio para determinar propiedades elasto-plásticas. La información recopilada fue registrada de manera precisa.

3.6.4. Interpretación de Resultados:

Se interpretaron los resultados en términos de valores numéricos, tendencias y patrones identificados durante el análisis cuantitativo.

3.6.5. Presentación de Resultados:

Se presentaron los resultados de manera clara y concisa, utilizando tablas, gráficos y estadísticas descriptivas para comunicar la información de manera efectiva.

Este enfoque cuantitativo proporcionó una base sólida para la investigación, permitiendo una evaluación objetiva y cuantificable de la relación entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco.

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos fueron procesados utilizando Excel, donde se calculó el coeficiente de variación, la desviación estándar, el coeficiente de Pearson y el coeficiente de determinación para validar los resultados. Se elaboraron cuadros

estadísticos, gráficos, histogramas, entre otros, con el fin de facilitar una interpretación más precisa de los resultados derivados de los ensayos.

3.8. Tratamiento Estadístico

3.8.1. Análisis Estadístico:

Se utilizó el análisis estadístico para examinar la variabilidad en los datos y establecer relaciones cuantificables entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas. Los gráficos de ajuste por mínimos cuadrados fueron aplicados para modelar estas relaciones.

3.8.2. Validación Estadística:

Se implementaron pruebas estadísticas de validez y confiabilidad para garantizar la solidez de los resultados. Esto podría incluir pruebas de significancia estadística para evaluar la fuerza y la dirección de las relaciones identificadas.

3.9. Orientación ética, filosófica y epistémica

Esta tesis, orientada a la obtención del grado profesional, se enfoca de manera exclusiva en los diversos tipos de suelo extraídos de distintas áreas del distrito de Chaupimarca. Se realizaron ensayos con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos en el Laboratorio de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ubicado en el Local SL01.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Se realizó un análisis comparativo de 15 ensayos de clasificación de suelo en diferentes áreas del distrito de Chaupimarca. Se empleó el método de recta ajustable mediante gráficas de referencia para determinar las funciones óptimas del tipo de suelo en la zona de estudio, dada la importancia de las características físico-mecánicas del suelo en la ejecución de obras.

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1. Estudio de Suelos

El estudio de suelos se realizó en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, es cual consta de:

- Análisis Granulométrico
- Límites de Aterberg
- Contenido de Humedad.

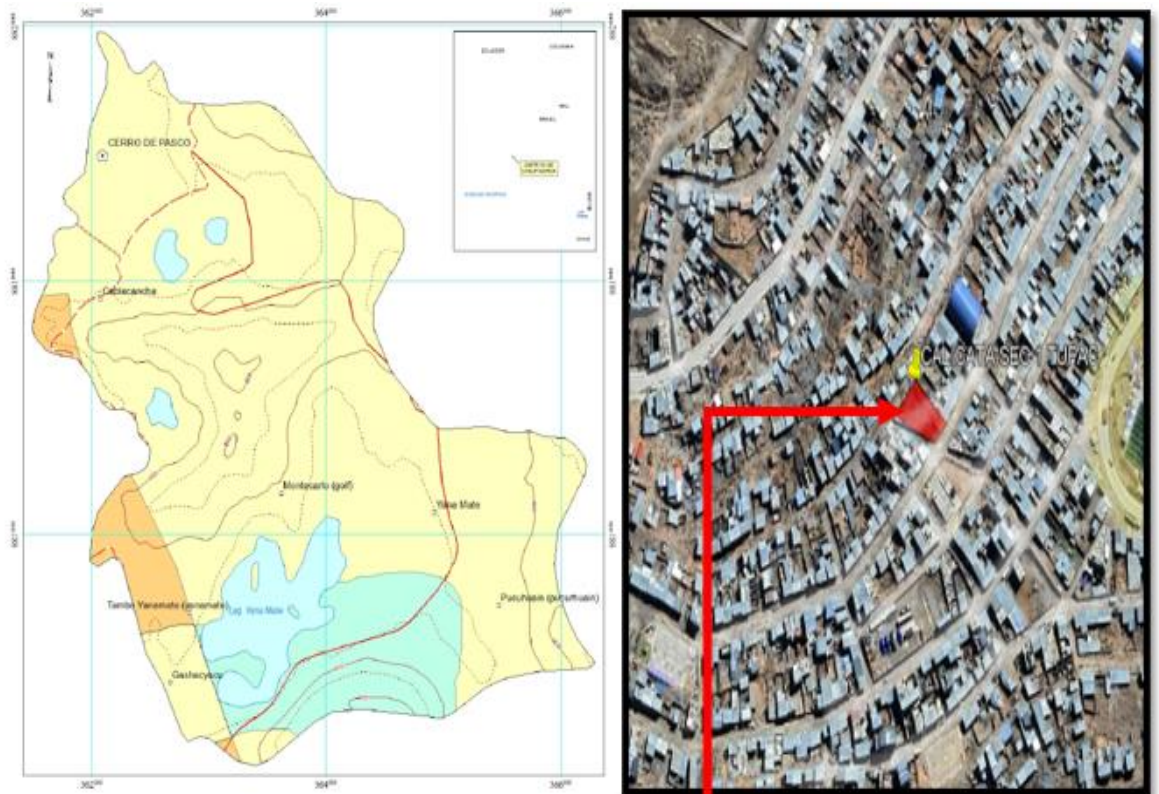
4.2.2. Modelamiento mediante software

Con el objetivo de obtener un cálculo preciso, se procederá a realizar el siguiente procedimiento:

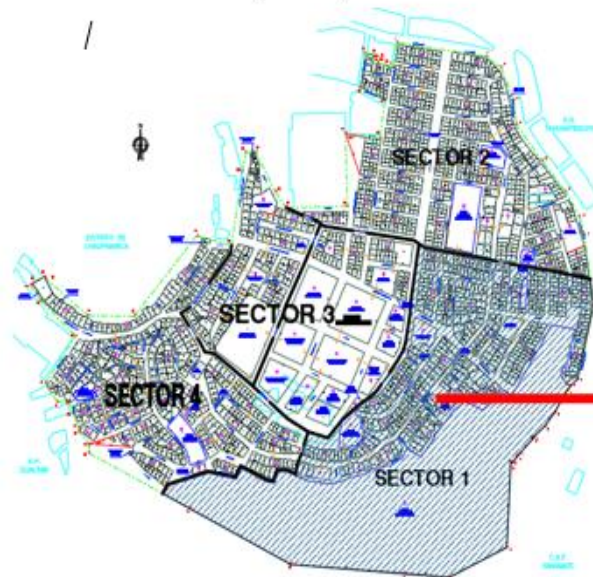
- Excel mediante mínimos cuadrados

4.2.3. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Ubicación de las zonas de estudio



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



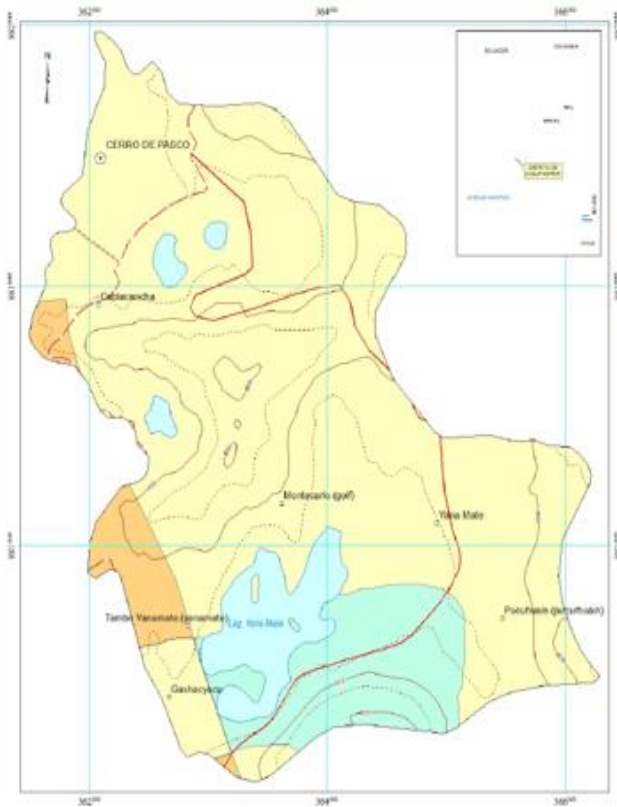
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 3. AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1 – CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)

CUADRO DE RIESGOS

Muy Bajo	Verde
Bajo	Verde claro
Moderado	Amarillo
Alto	Naranja
Muy Alto	Rojo

RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS

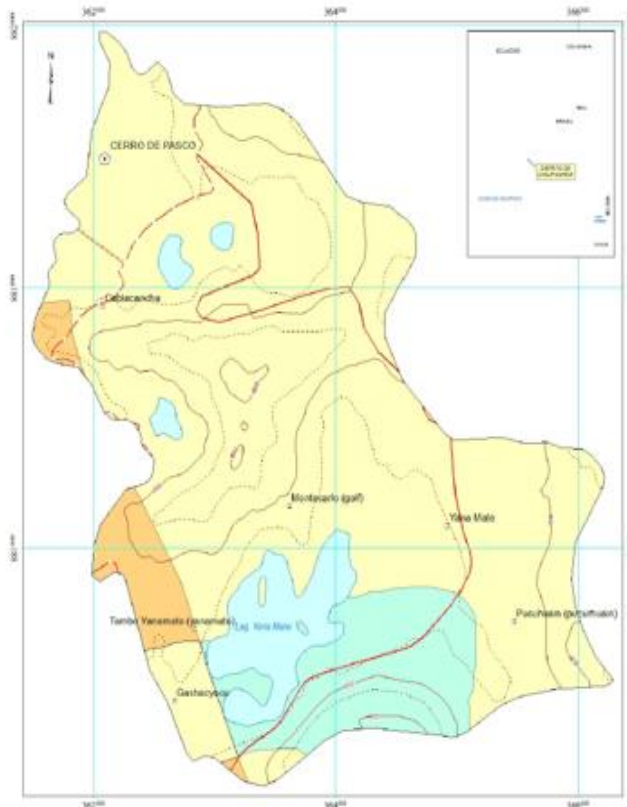
Bajo	Verde claro
------	-------------

POSIBLE

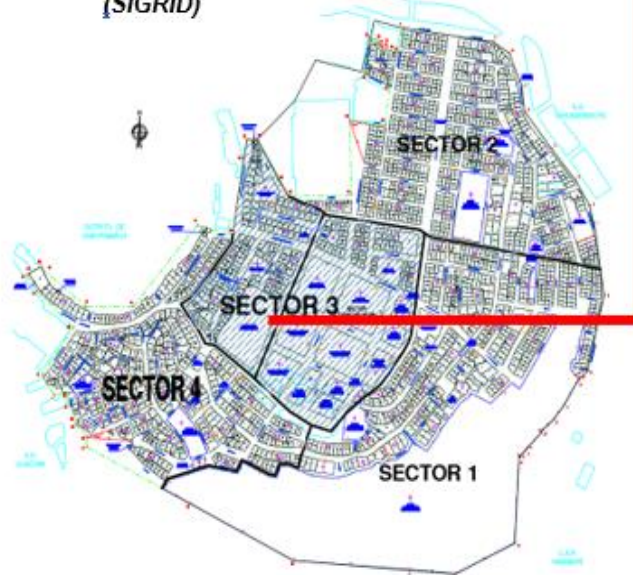
- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables



Gráfico 4 AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2 - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



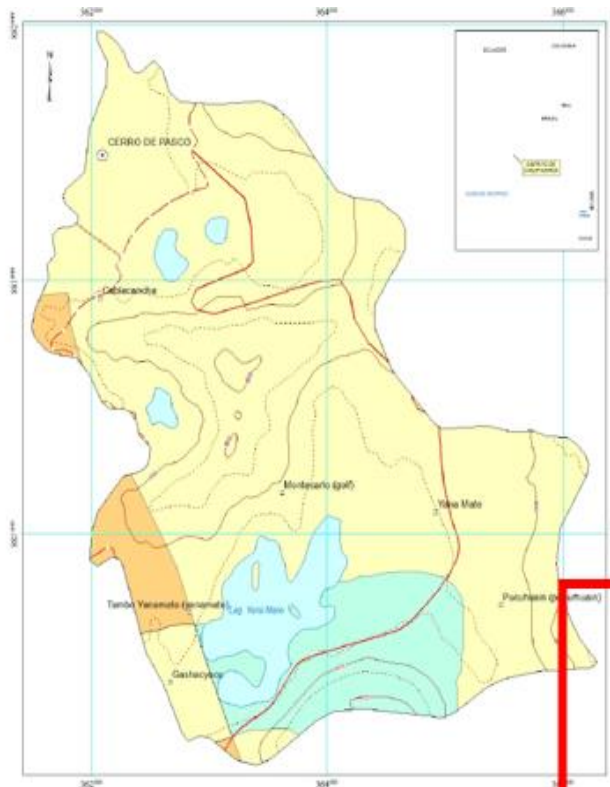
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



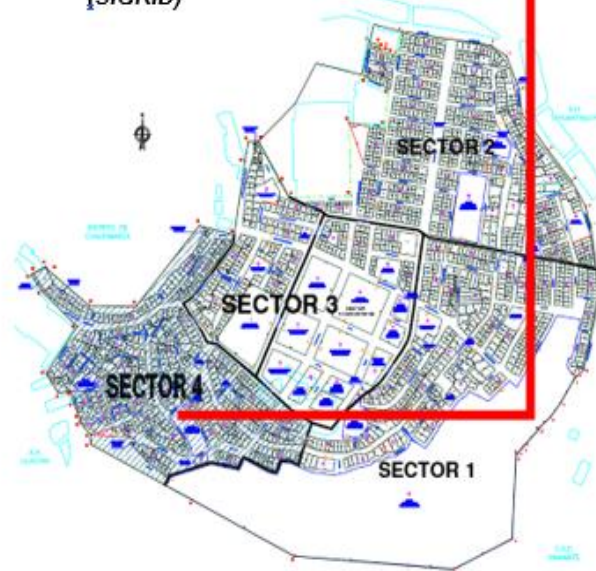
POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 5. AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3 - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



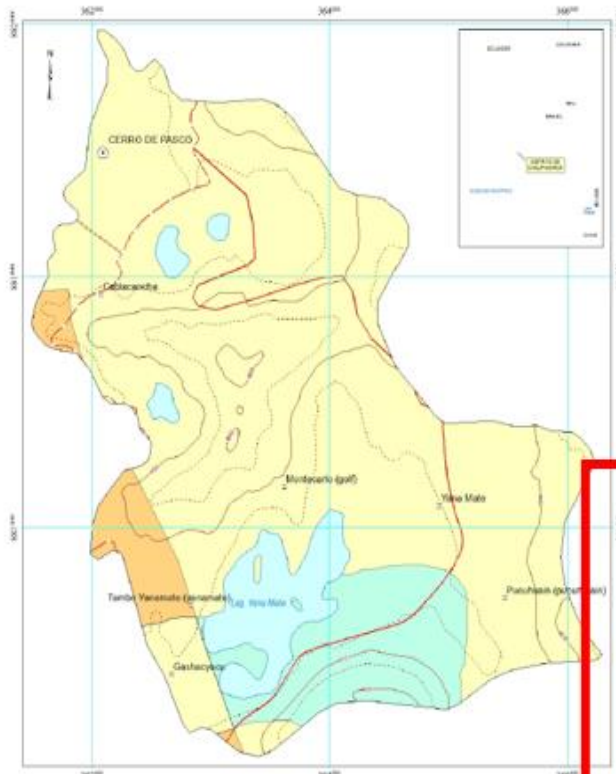
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 6 AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4 - CHAUPIMARCA



**MAPA DE RIESGO DEL
DISTRITO DE CHAUPIMARCA
SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA
LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES
(SIGRID)**



CUADRO DE RIESGOS



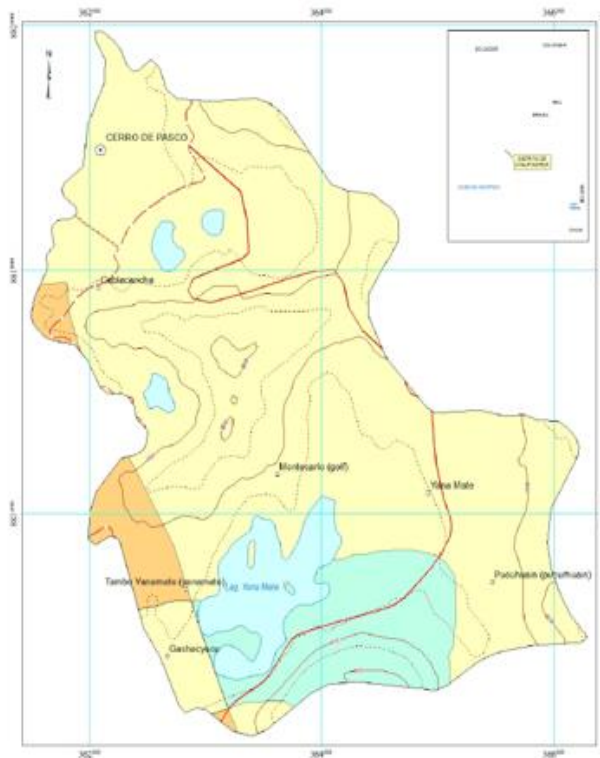
**RIESGO VALORADO DE LA ZONA
SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS**



POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 7 AA.HH. NORUEGA ALTA - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



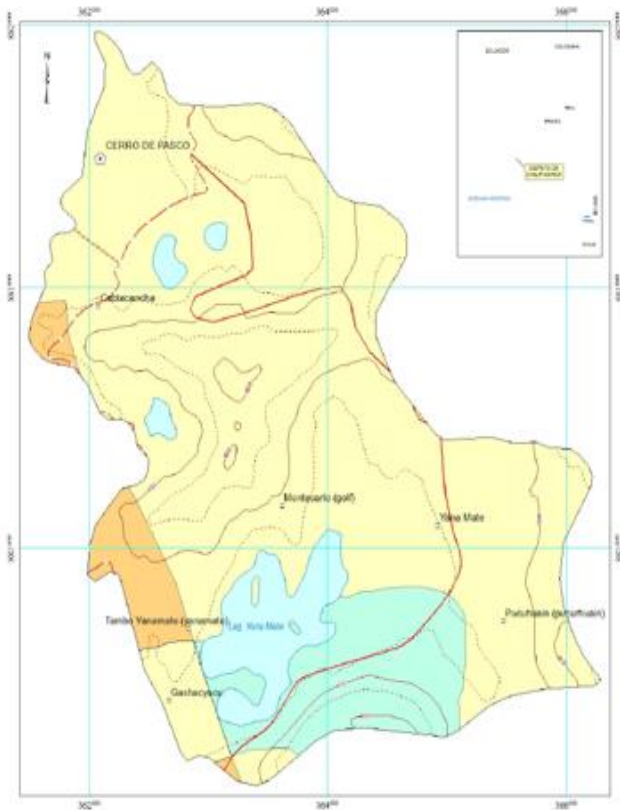
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 8 AA.HH. NORUEGA BAJA - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS

	Muy Bajo
	Bajo
	Moderado
	Alto
	Muy Alto

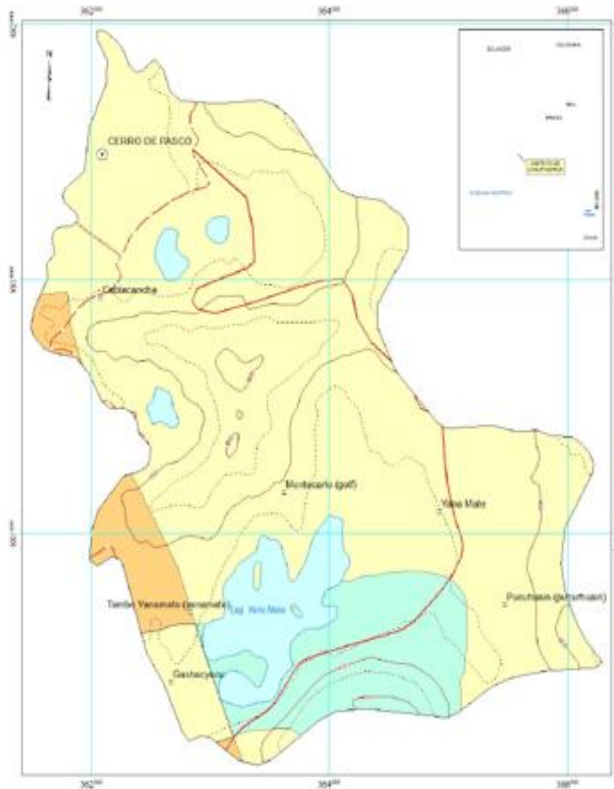
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS

	Bajo
--	------

POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 9 AA.HH. HUARICAPCHA - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



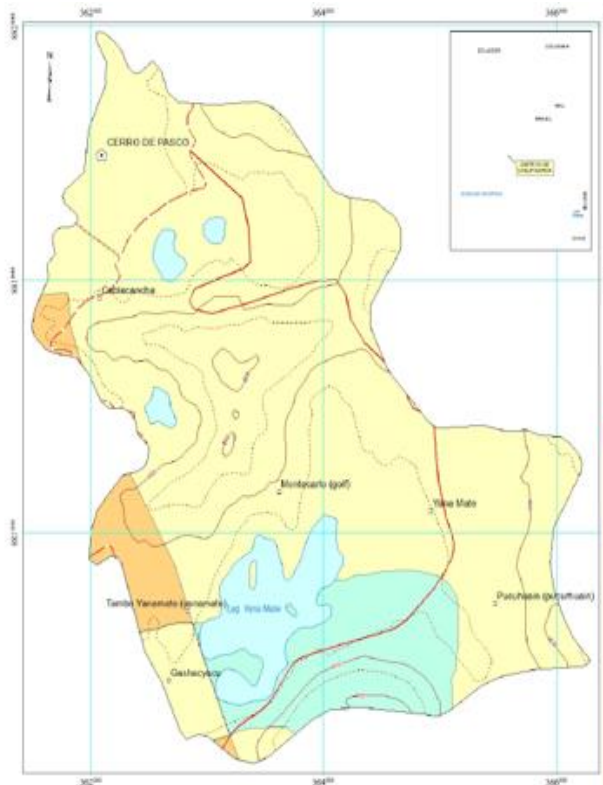
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



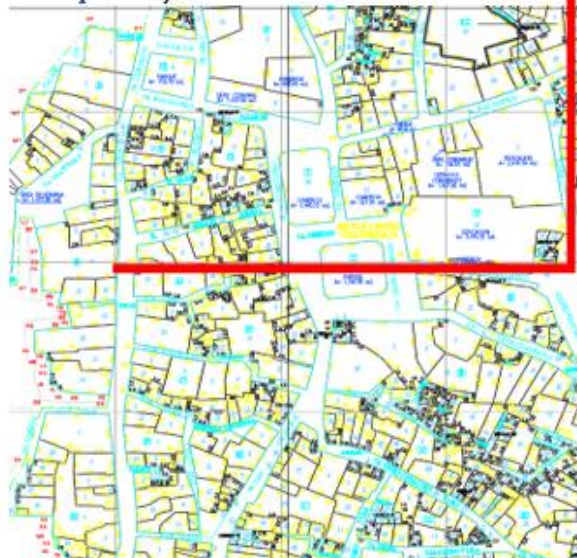
POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 10 AA.HH. LA ESPERANZA - CHAUPIMARCA



**MAPA DE RIESGO DEL
DISTRITO DE CHAUPIMARCA
SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA
LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES
(SIGRID)**



CUADRO DE RIESGOS



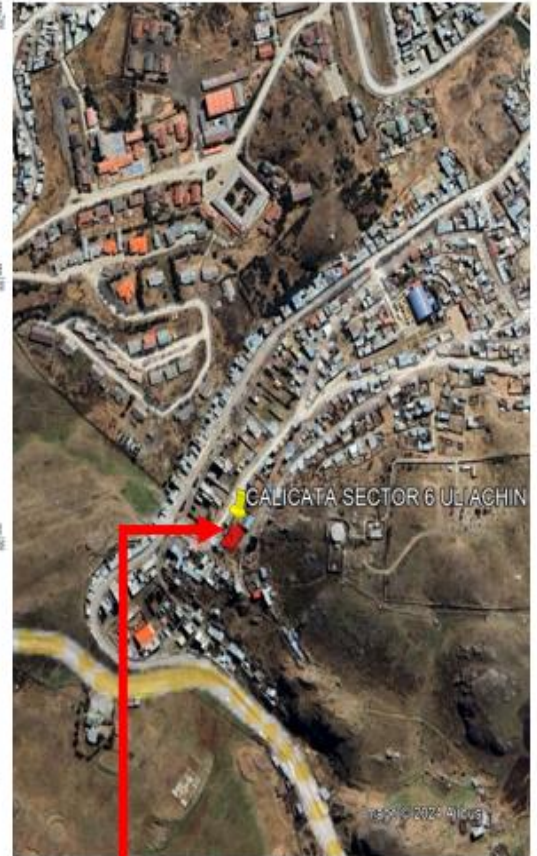
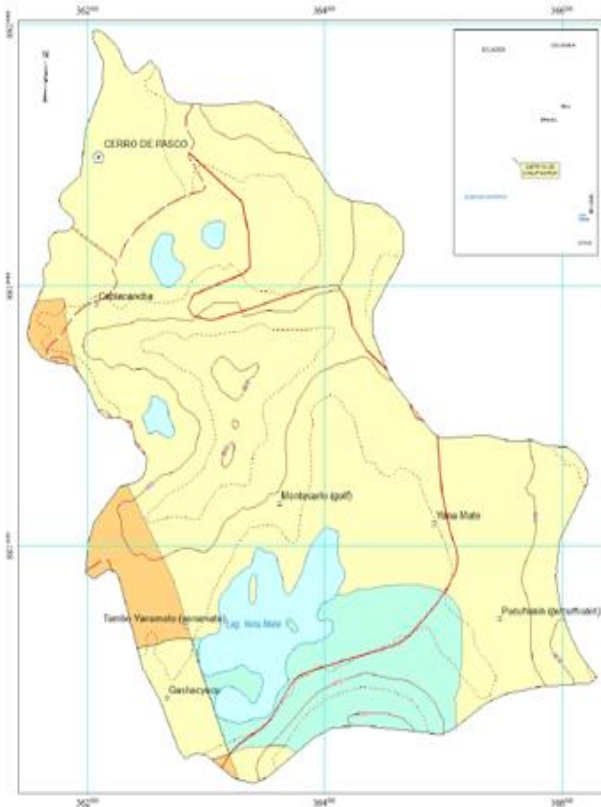
**RIESGO VALORADO DE LA ZONA
SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS**



POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 11 CERCADO CHAUPIMARCA - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



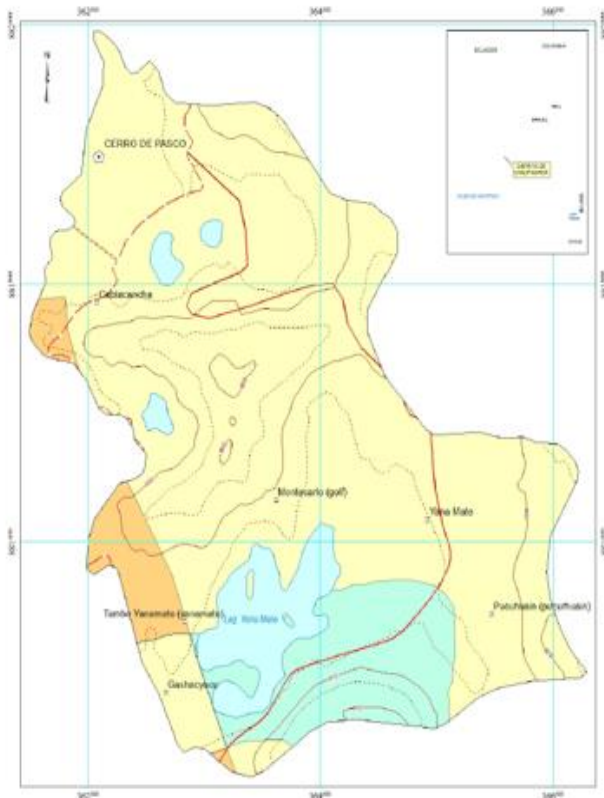
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



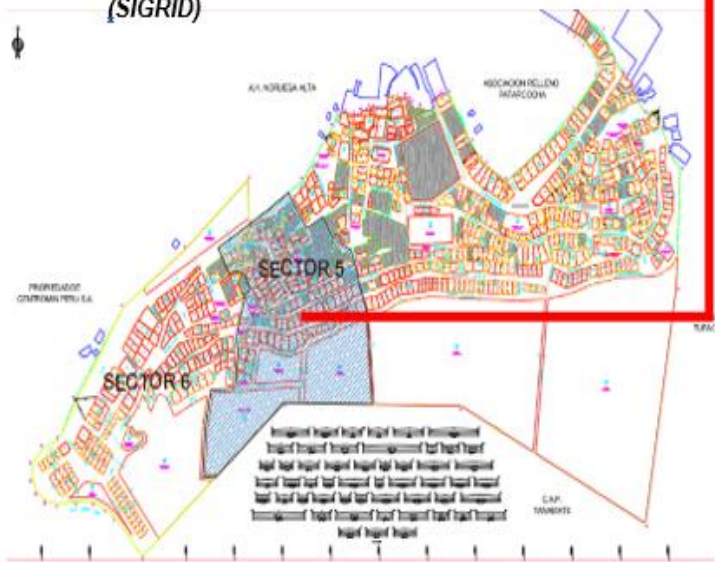
POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 12 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 6 - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS

Muy Bajo
Bajo
Moderado
Alto
Muy Alto

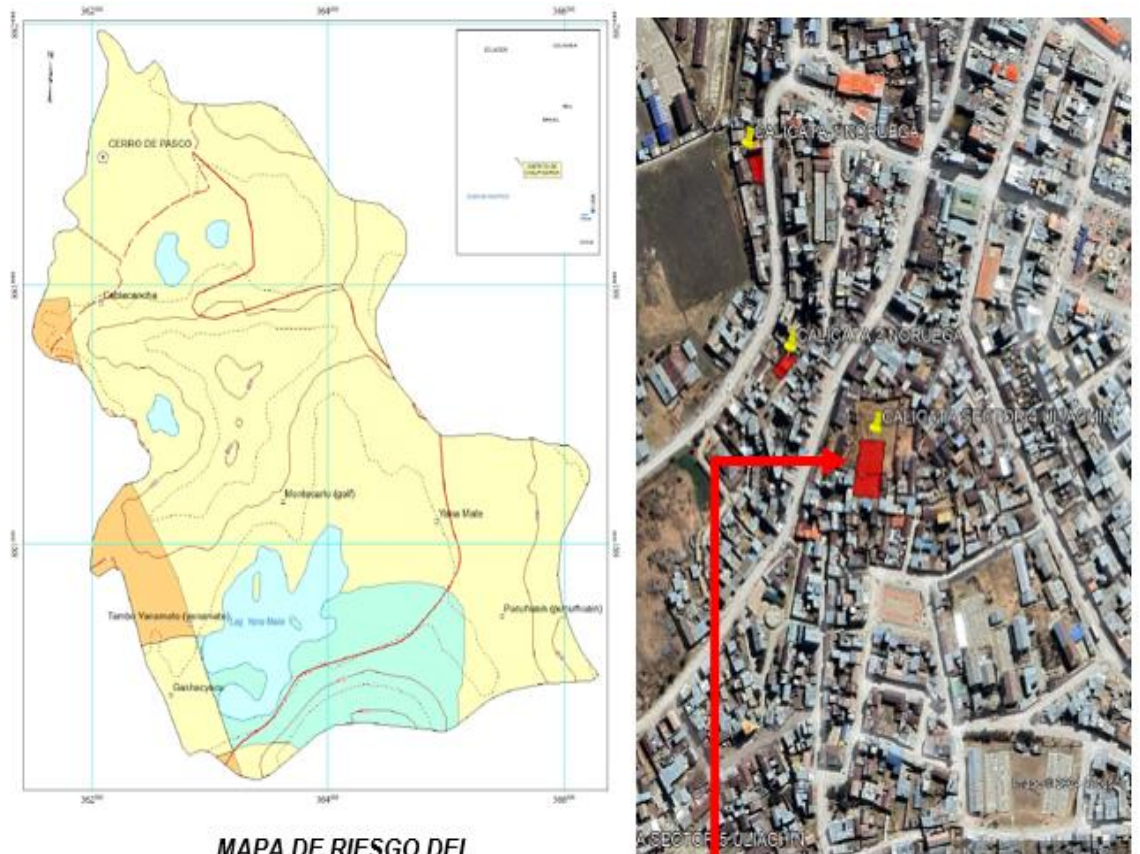
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS

Bajo

POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 13 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 5 - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



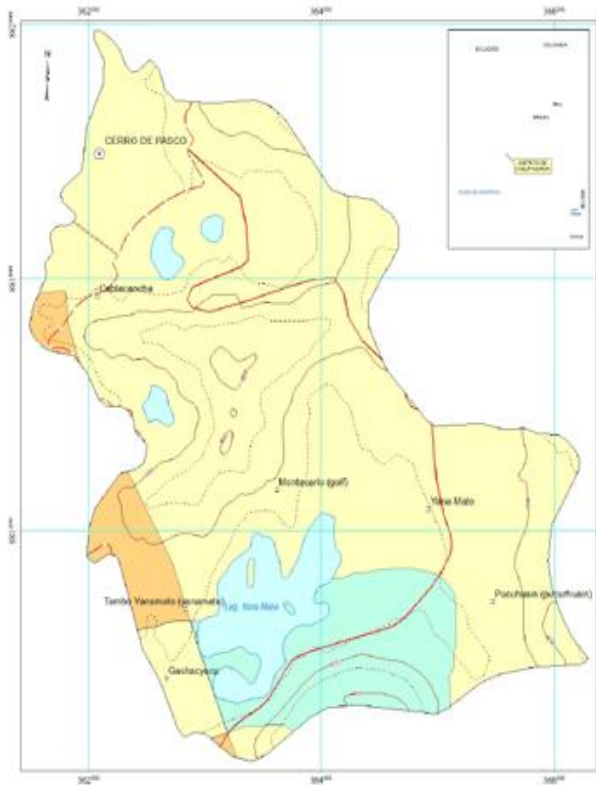
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



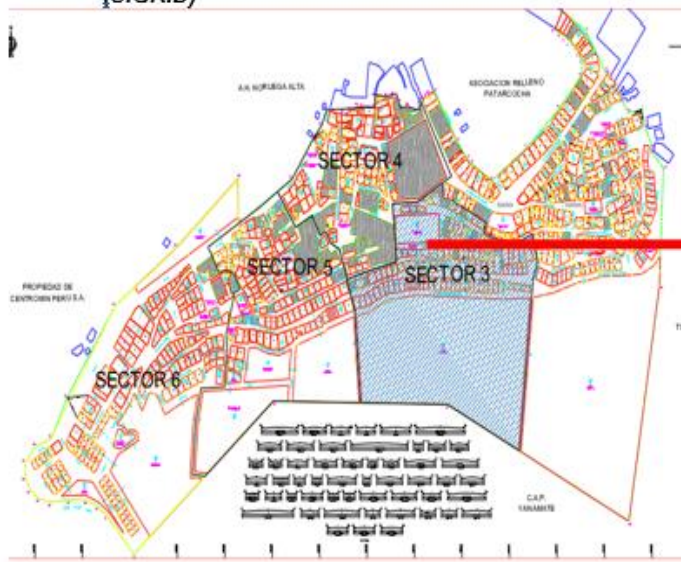
POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 14 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 4 - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS

Muy Bajo
Bajo
Moderado
Alto
Muy Alto

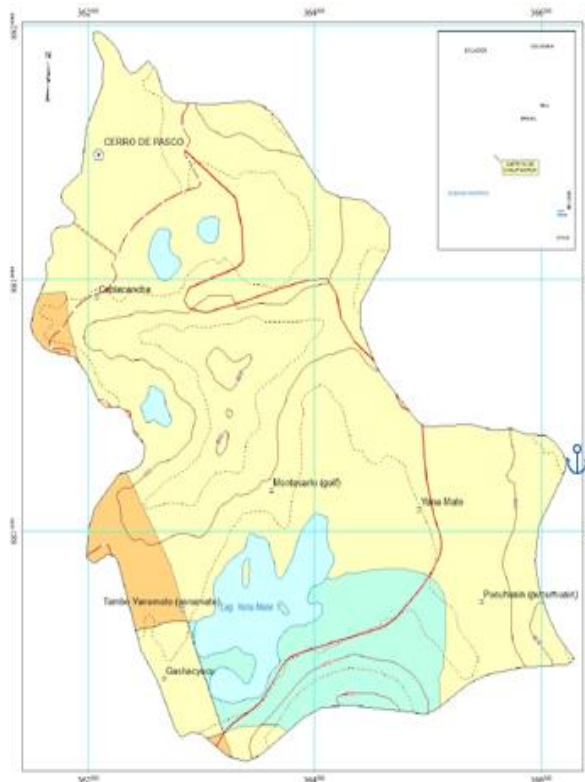
RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS

Bajo

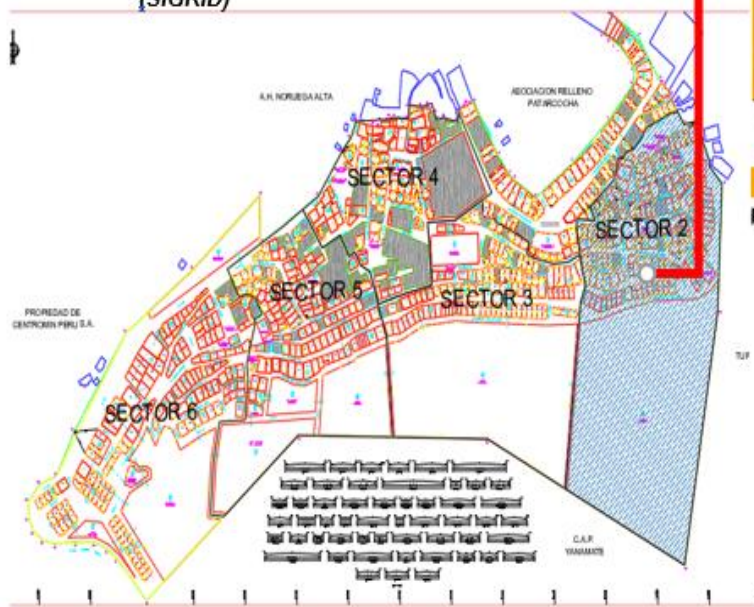
POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 15 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 3 - CHAUPIMARCA



MAPA DE RIESGO DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SIGRID)



CUADRO DE RIESGOS



RIESGO VALORADO DE LA ZONA SEGÚN EL CUADRO DE RIESGOS



POSIBLE

- Laderas que tienen algunas fisuras
- Materiales parcialmente erosionados
- No saturados
- Con discontinuidades favorables

Gráfico 16 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 2 - CHAUPIMARCA

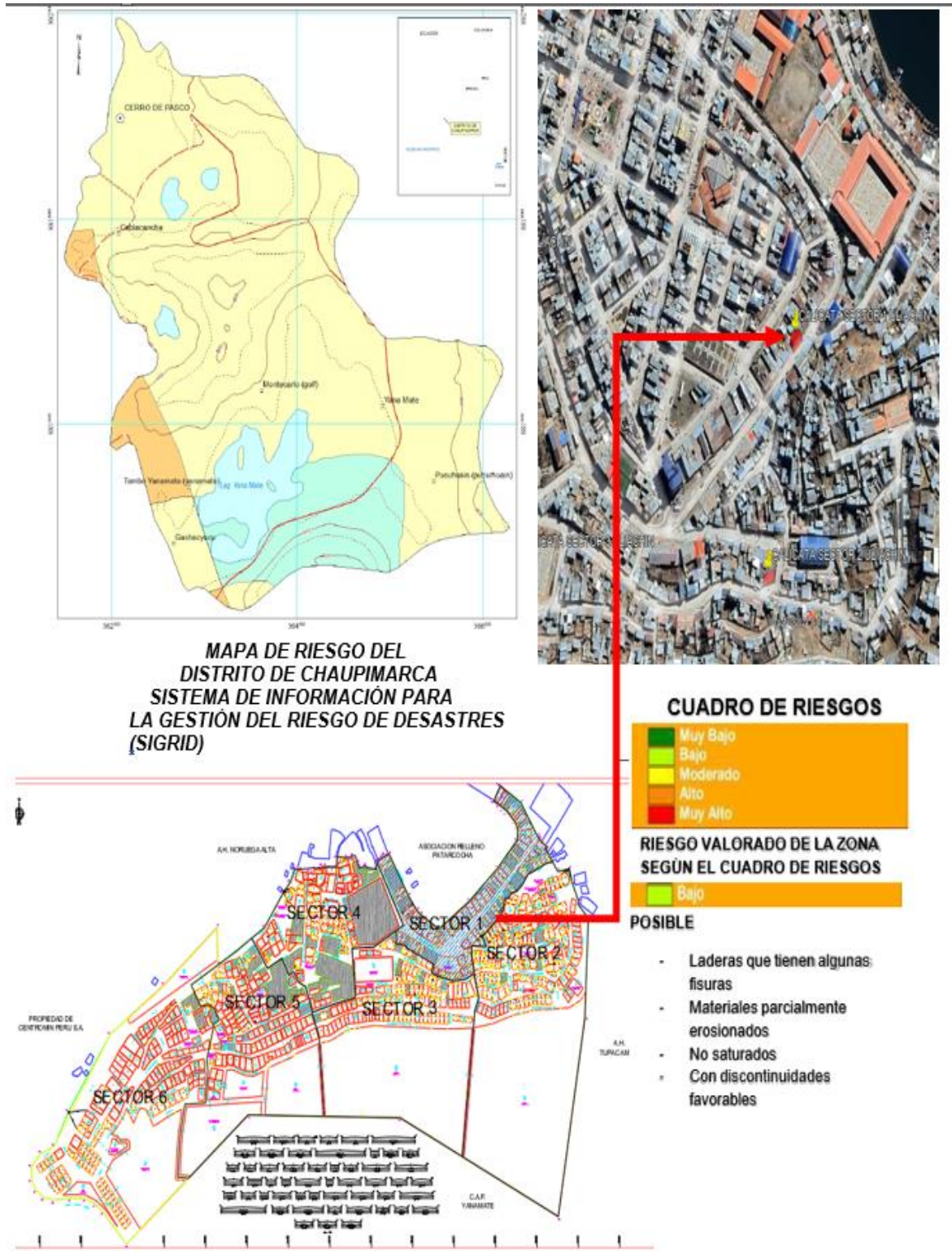


Gráfico 17 AA.HH. ULIACHIN SECTOR 1 – CHAUPIMARCA

4.2.4. Resultados de los Estudios Granulométricos de suelos

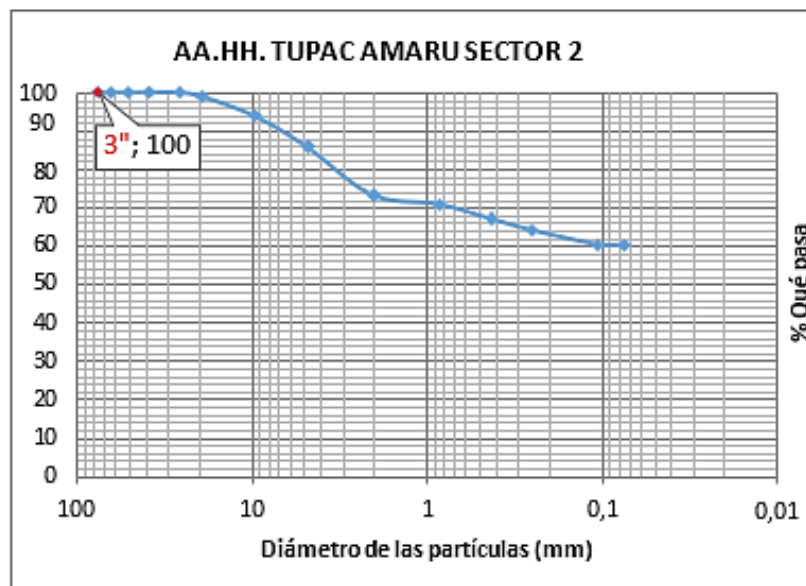
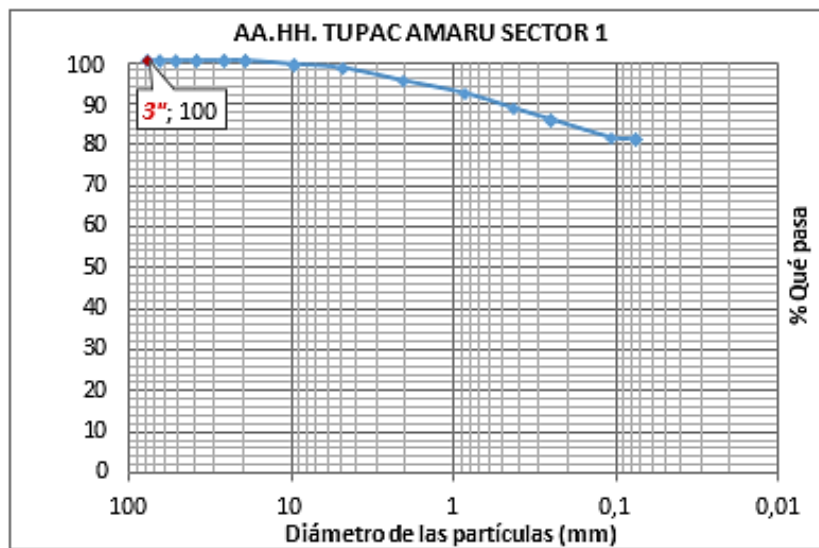
- **Análisis Comparativo Por Gráficos De Curvas Granulométricas**

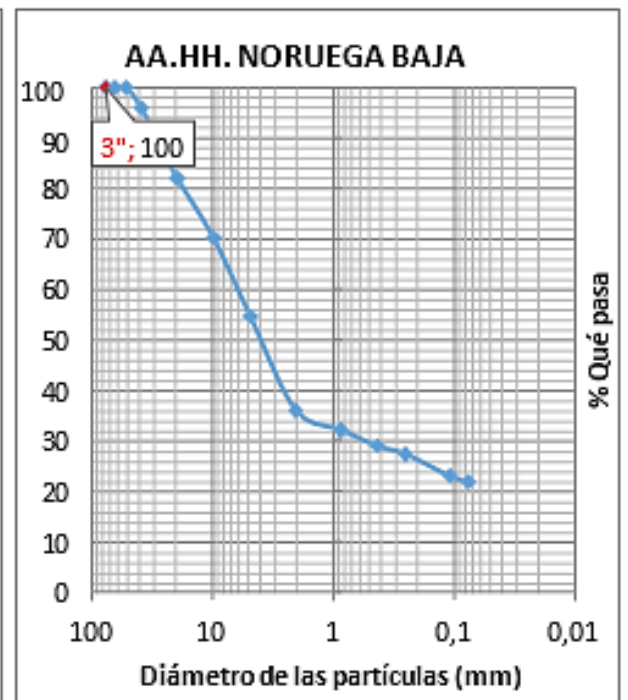
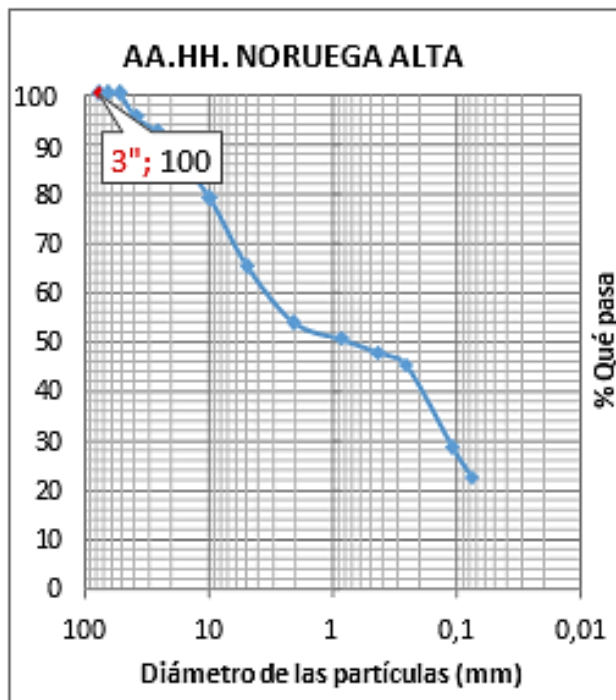
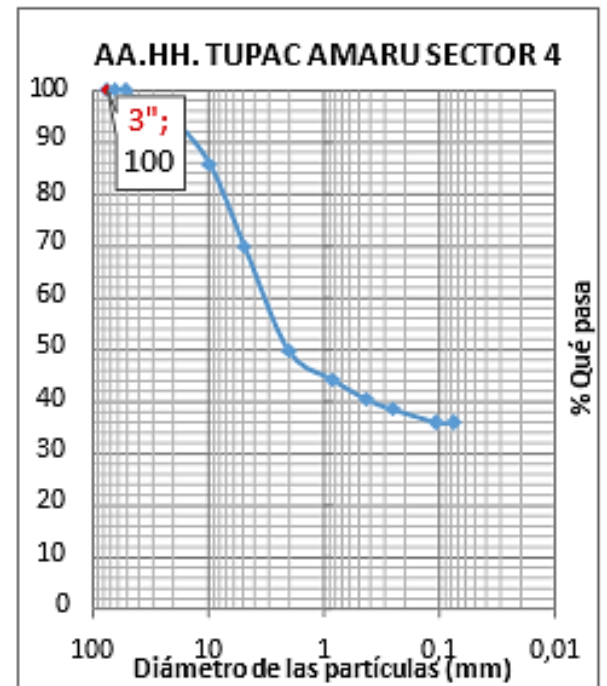
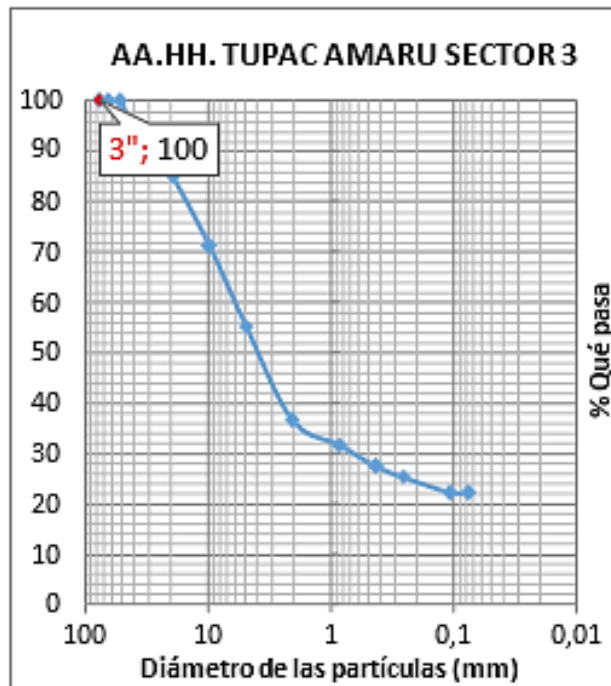
De referencia

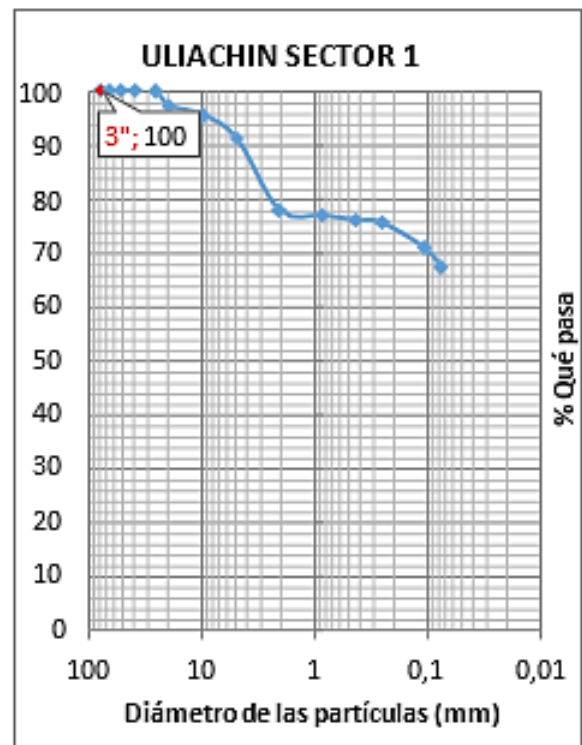
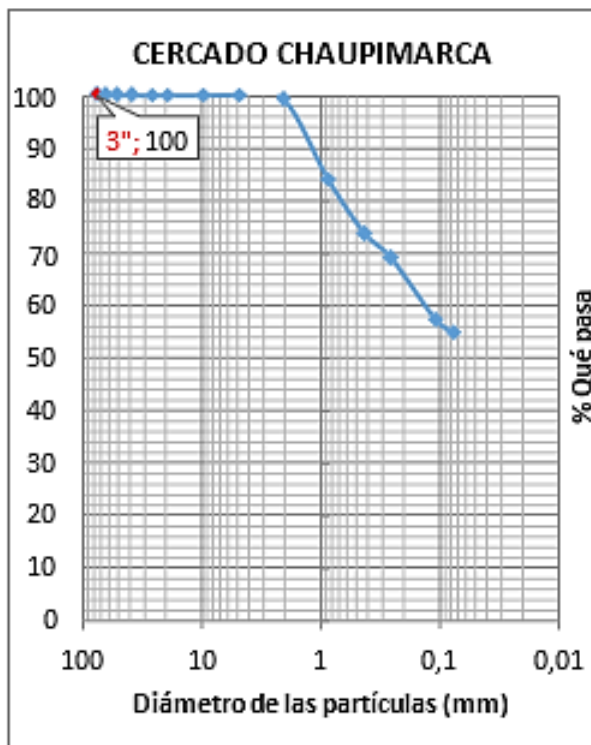
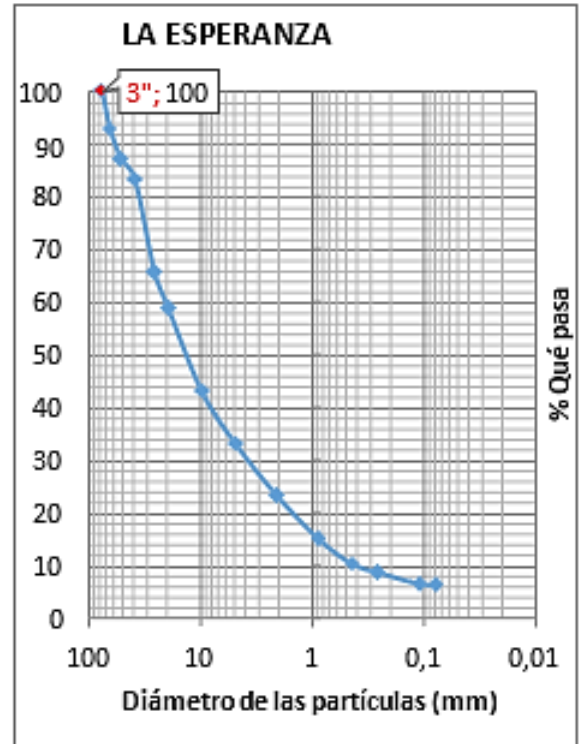
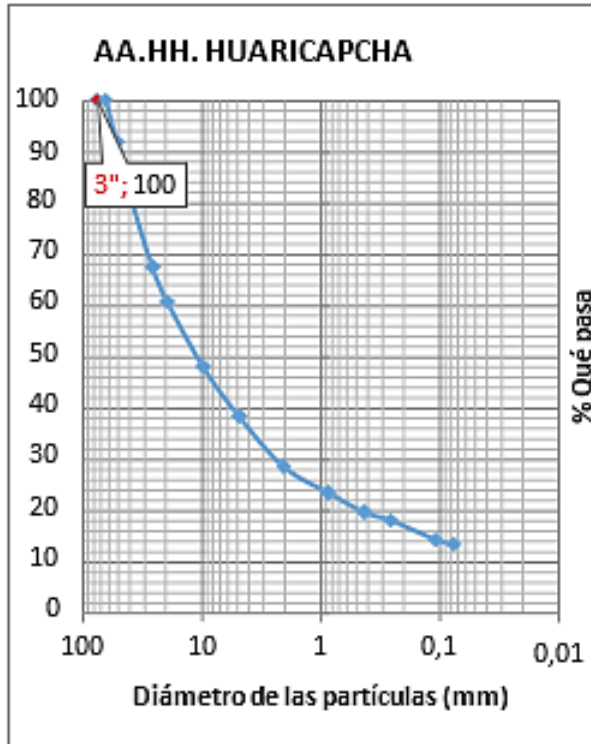
Comparación De Curvas Granulométricas Por Tamices Del Distrito

De Chaupimarca

Serie de Gráficos 1. TAMIZ N° 3"







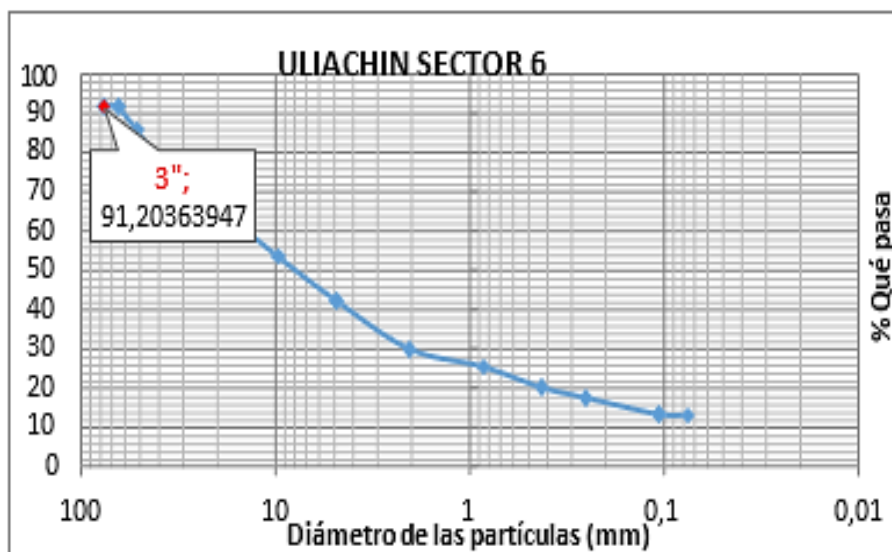
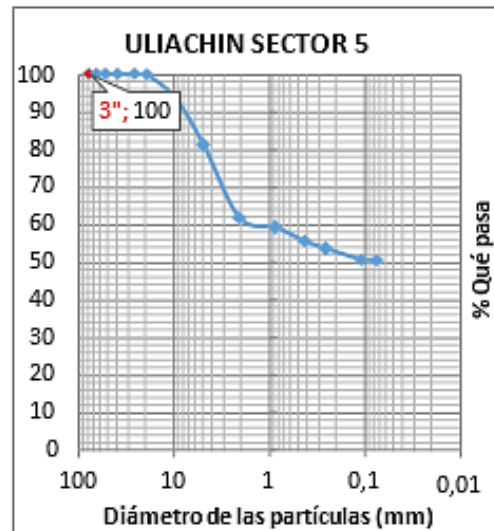
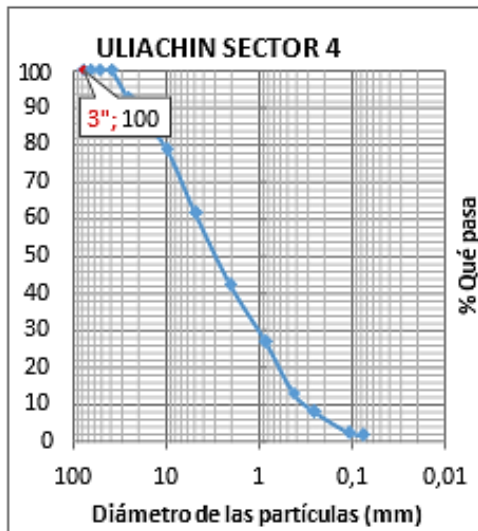
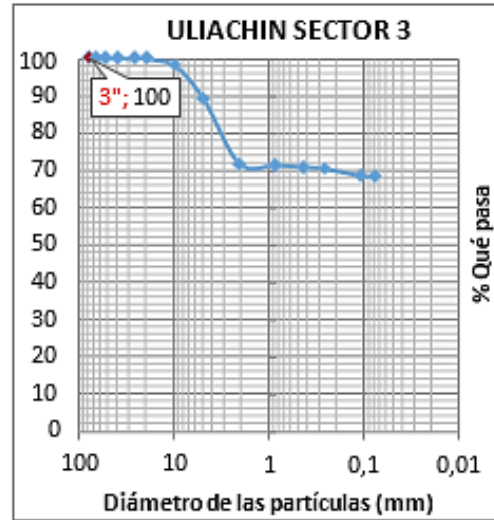
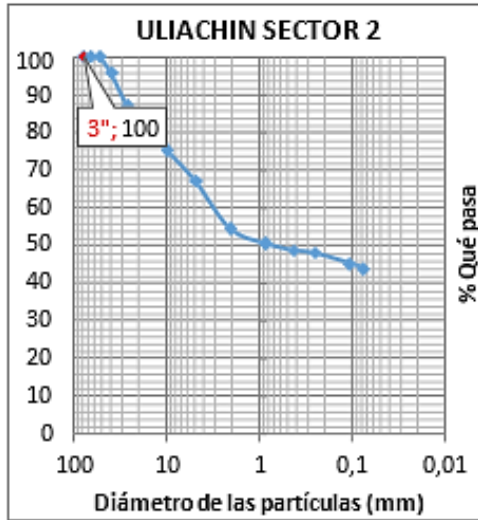


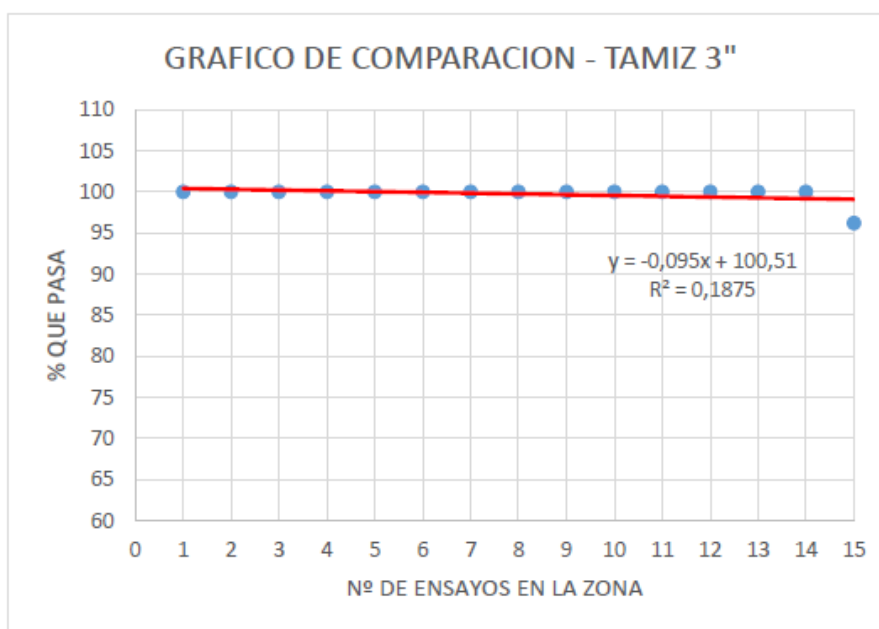
GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 3" POR MÍNIMOS

CUADRADOS

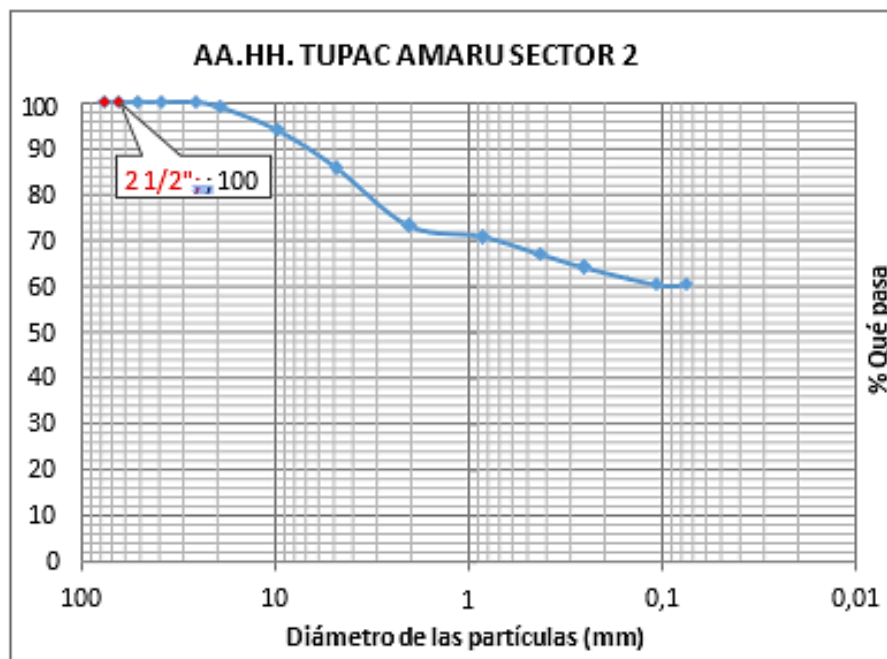
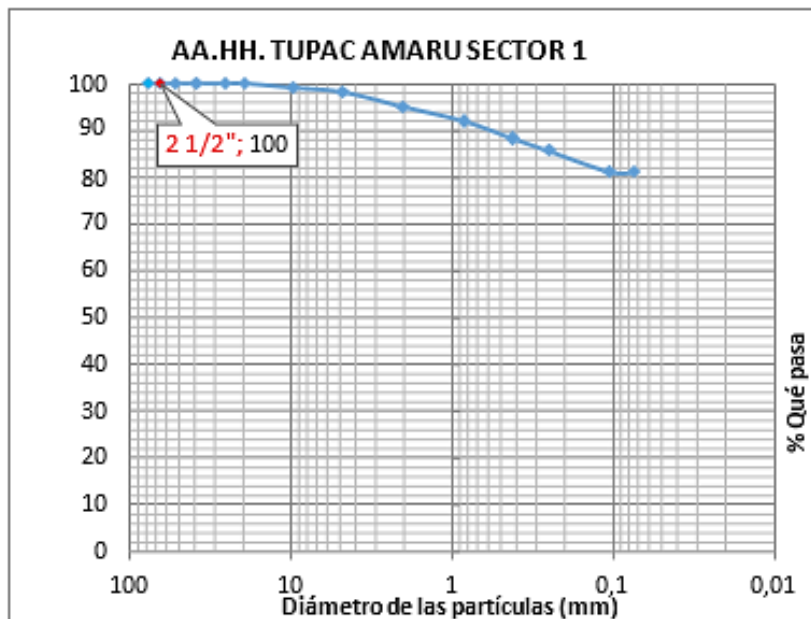
Tabla 8. COMPARATIVO N°1 TAMIZ 3"

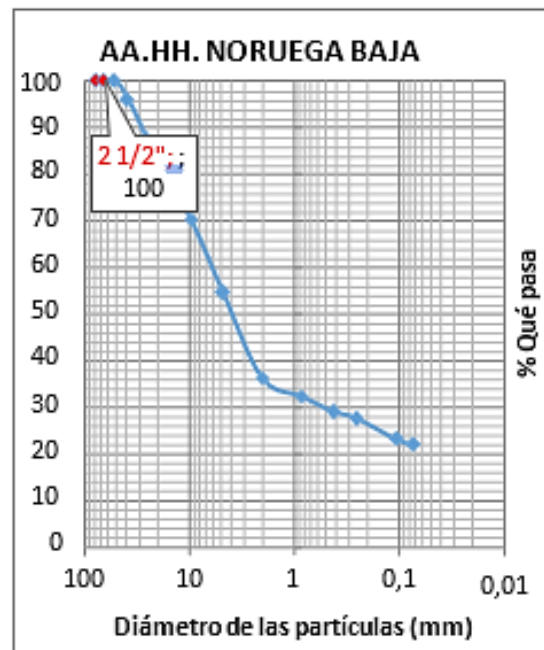
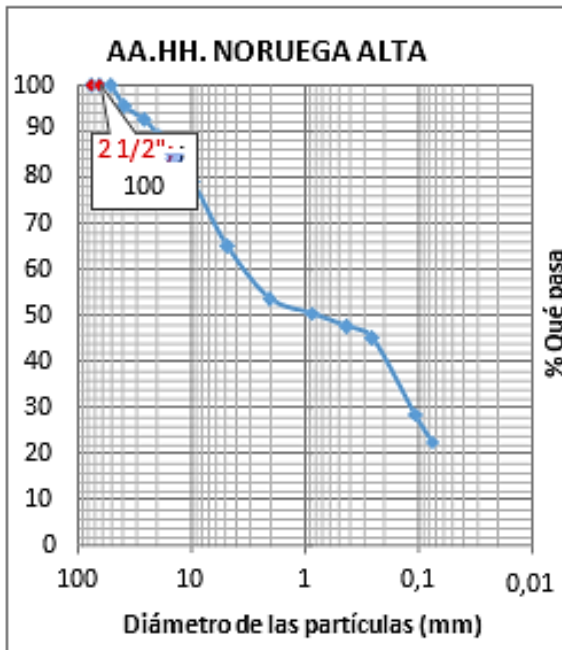
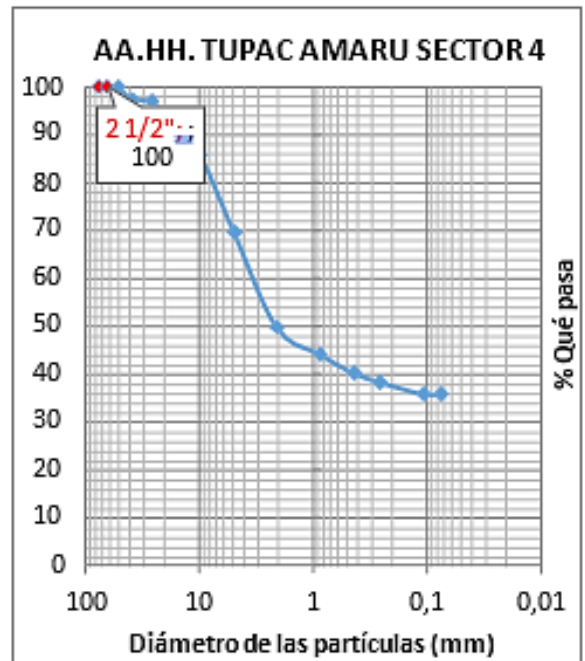
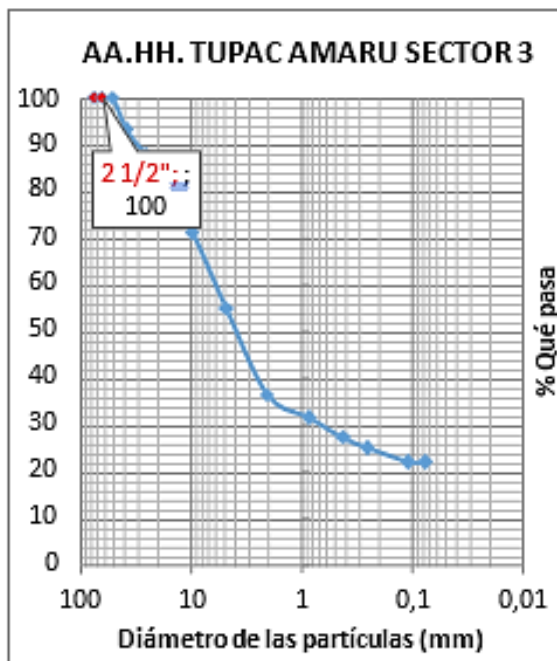
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	100
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	100
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	100
AA.HH. HUARICAPCHA	7	100
LA ESPERANZA	8	100
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	100
ULIACHIN SECTOR 2	11	100
ULIACHIN SECTOR 3	12	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	100
ULIACHIN SECTOR 5	14	100
ULIACHIN SECTOR 6	15	96,2

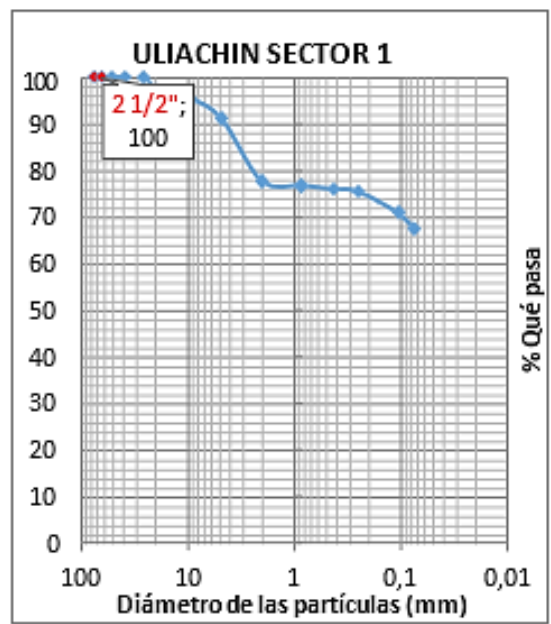
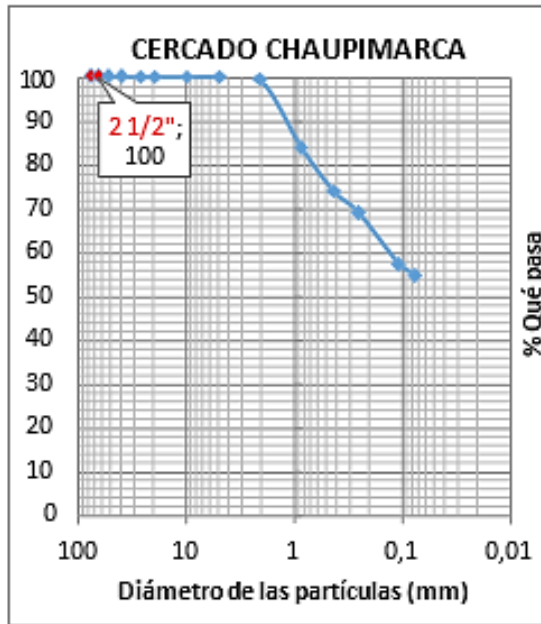
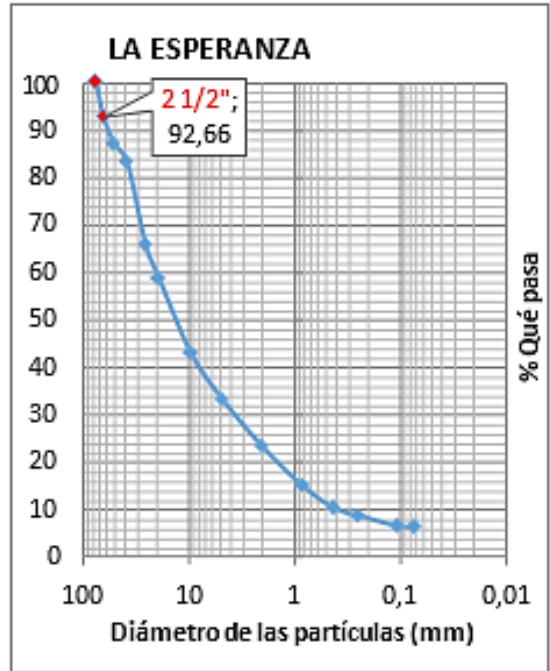
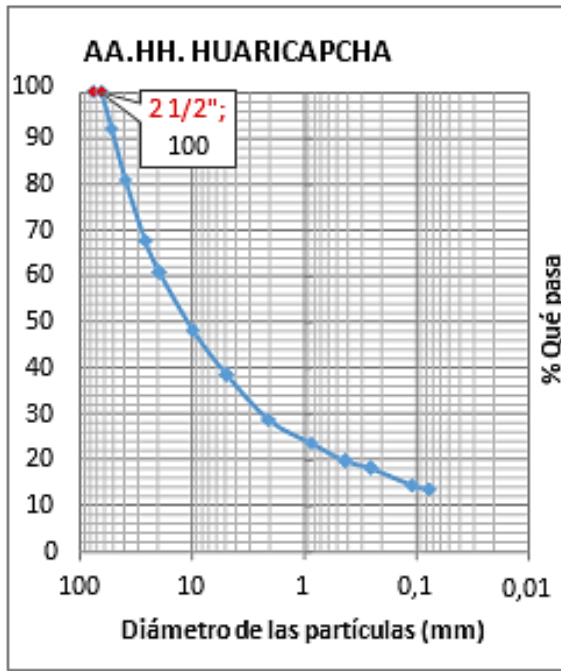
Grafico 18 COMPARACIÓN N° 1 TAMIZ 3"

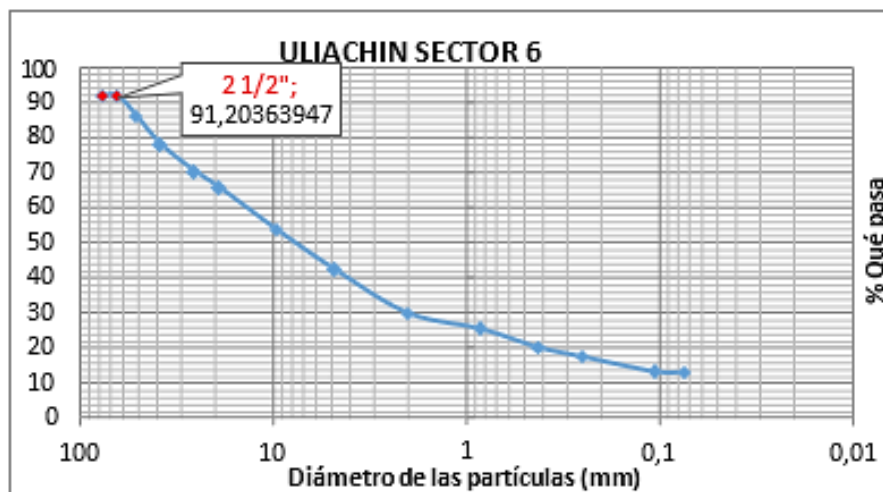
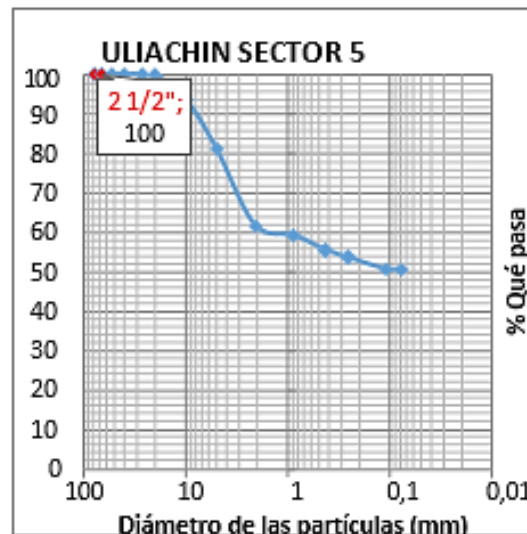
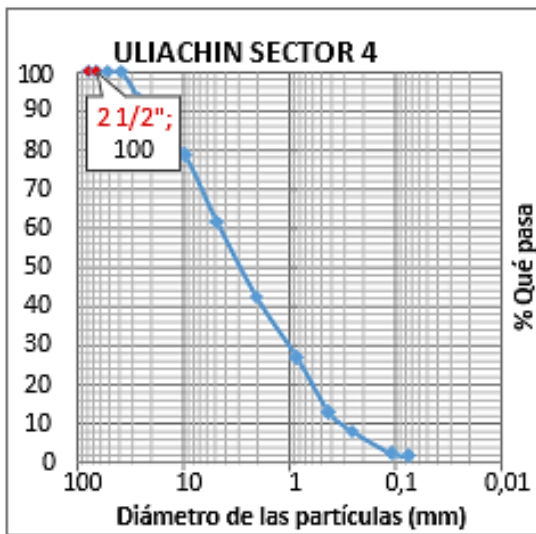
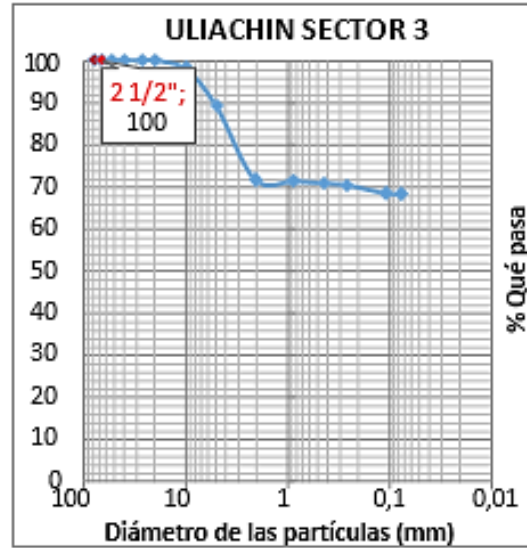
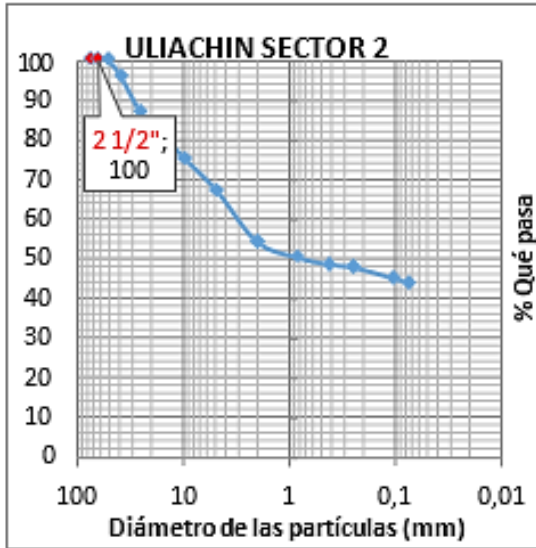


Serie de Gráficos 2. TAMIZ 2 1/2"







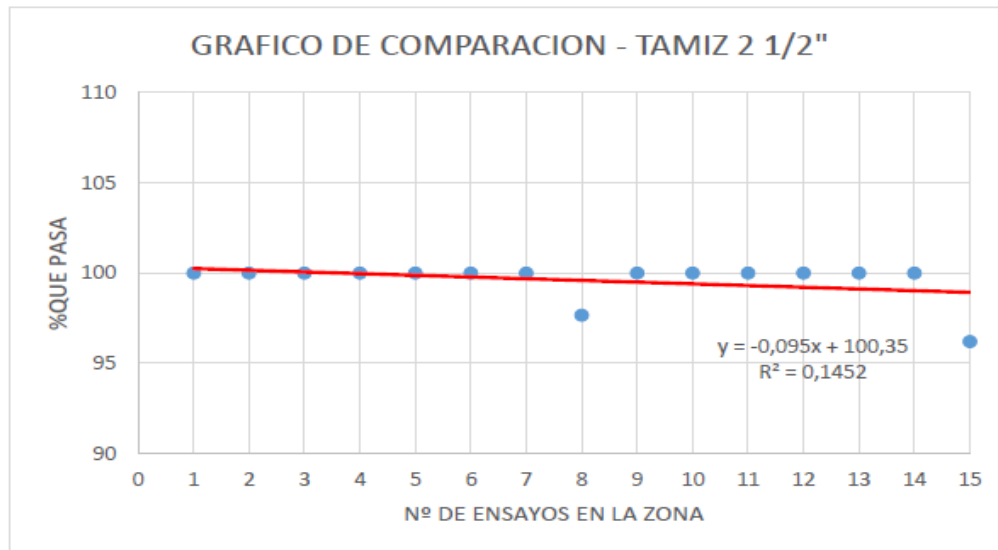


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 2 1/2" POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

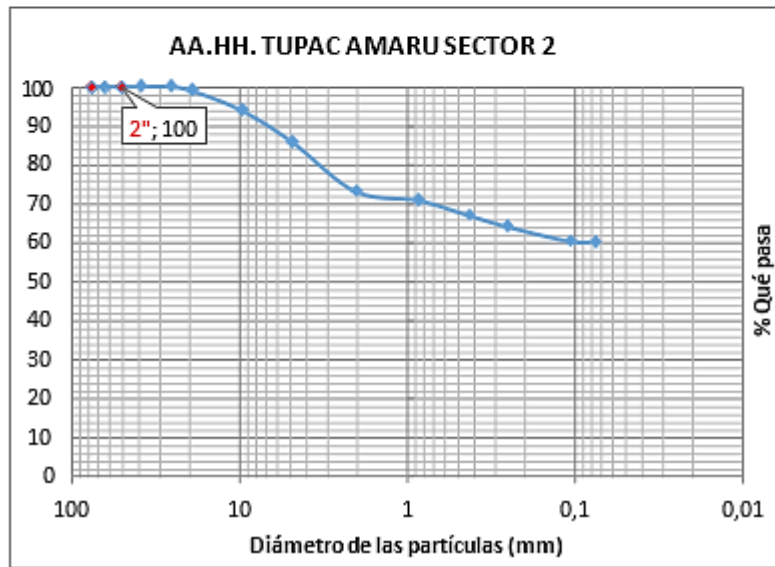
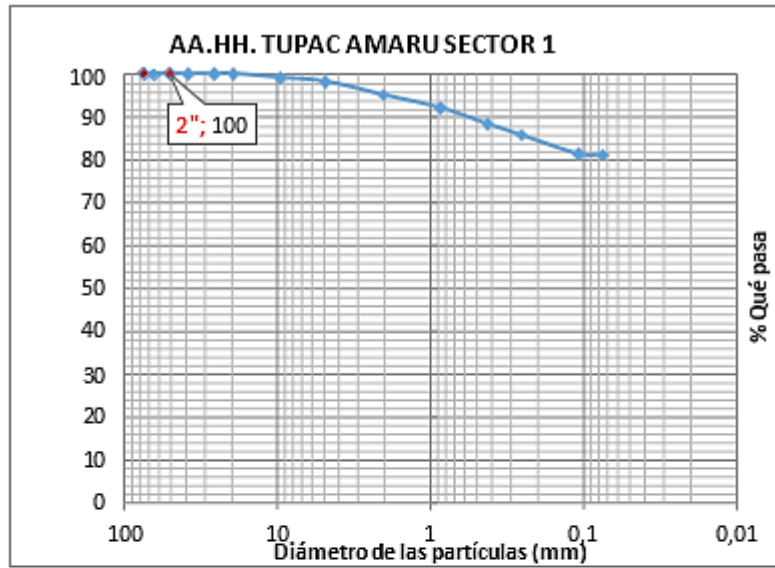
Tabla 9. COMPARATIVO TAMIZ 2 1/2"

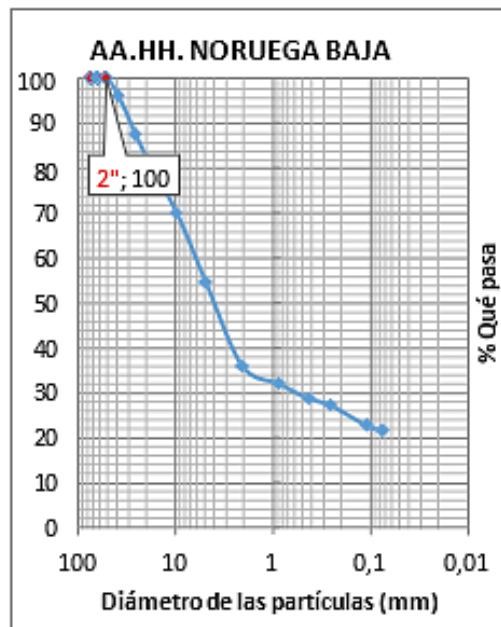
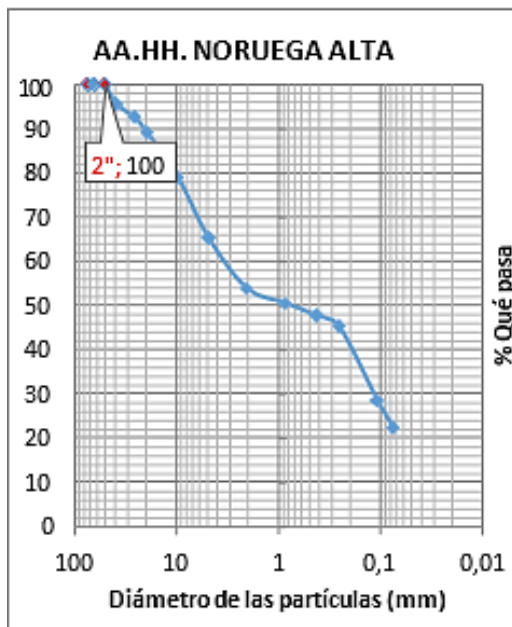
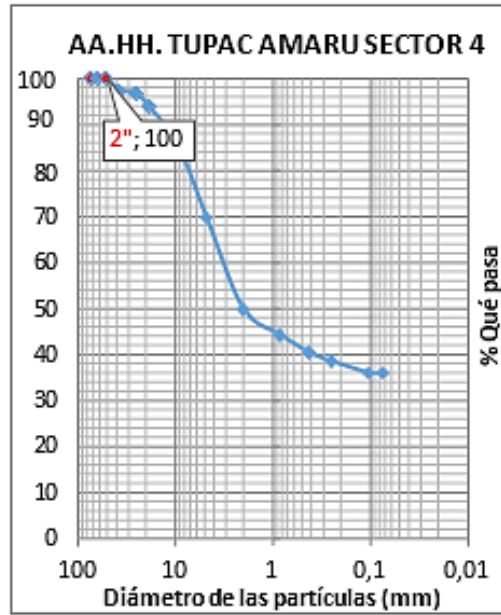
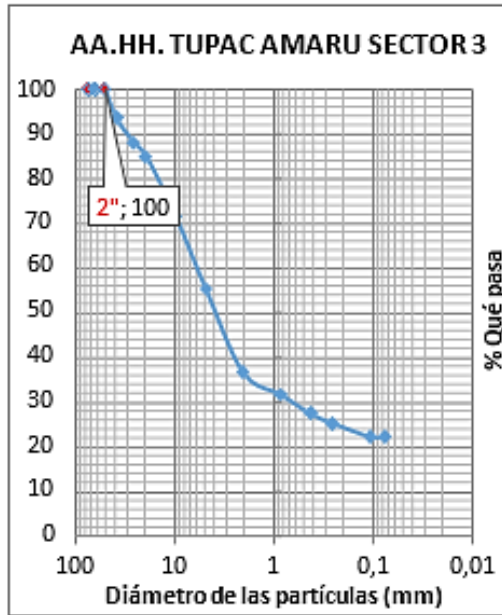
ZONA	Nº DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	100
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	100
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	100
AA.HH. HUARICAPCHA	7	100
LA ESPERANZA	8	97,66
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	100
ULIACHIN SECTOR 2	11	100
ULIACHIN SECTOR 3	12	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	100
ULIACHIN SECTOR 5	14	100
ULIACHIN SECTOR 6	15	96,2

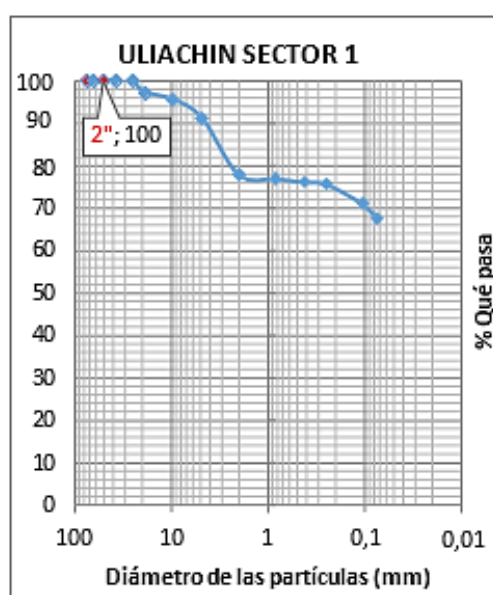
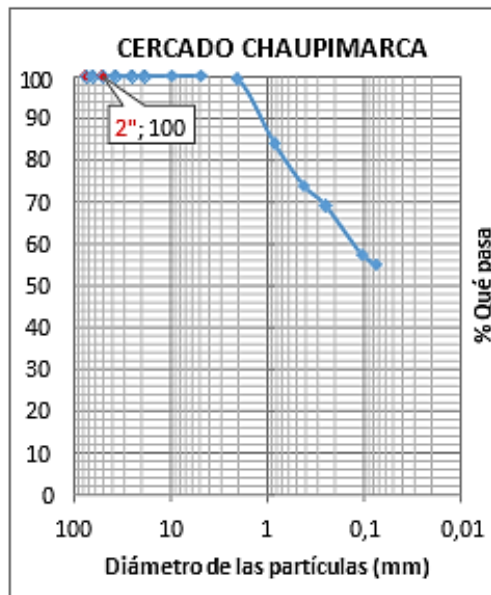
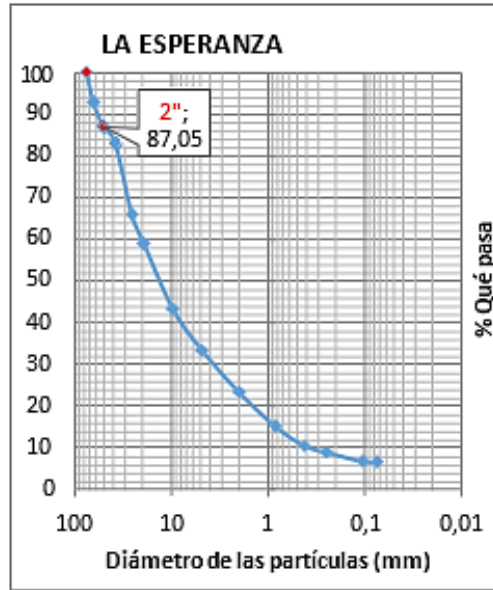
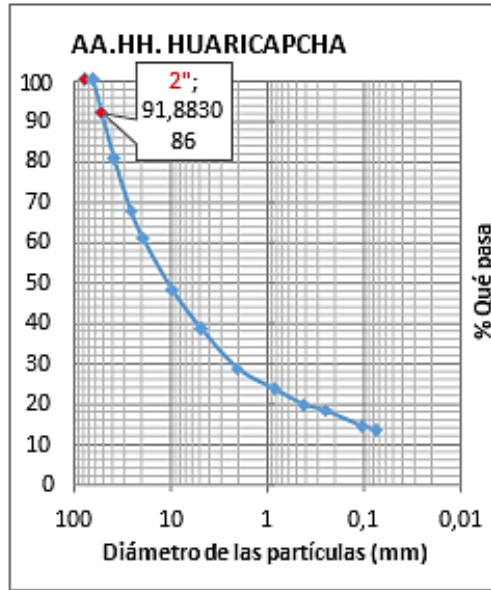
Grafico 19. COMPARATIVO TAMIZ 2 1/2"



Serie de Graficos 3. TAMIZ 2"







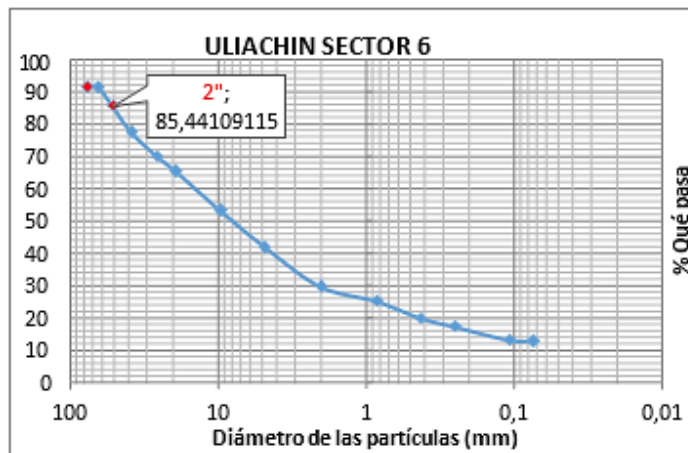
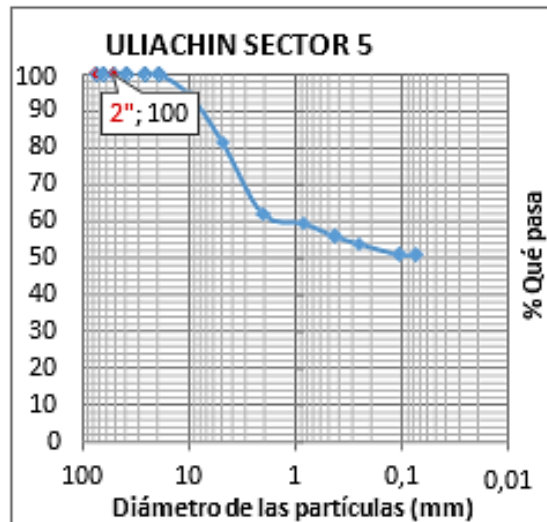
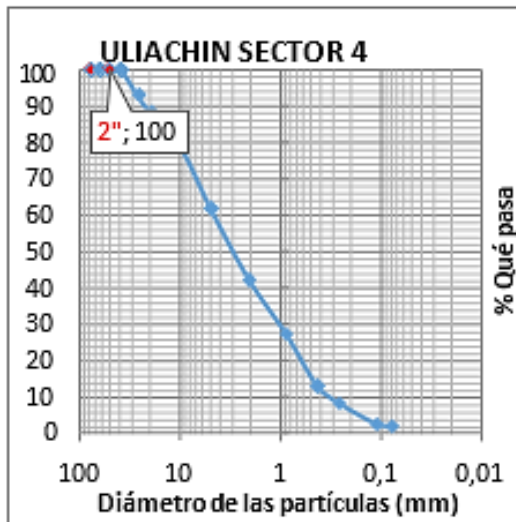
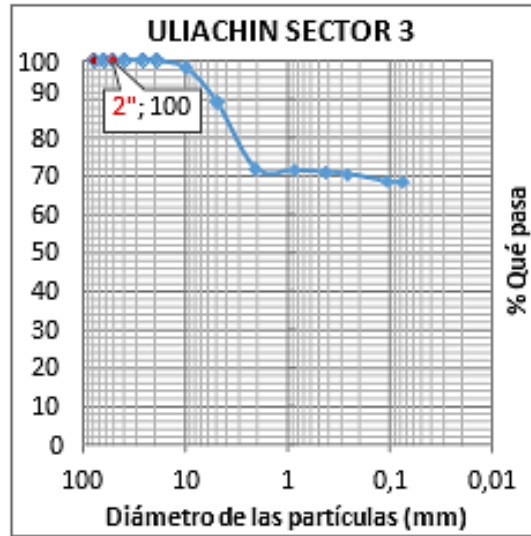
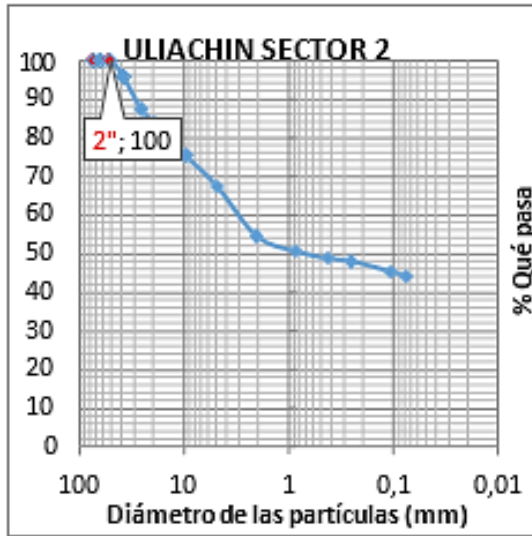
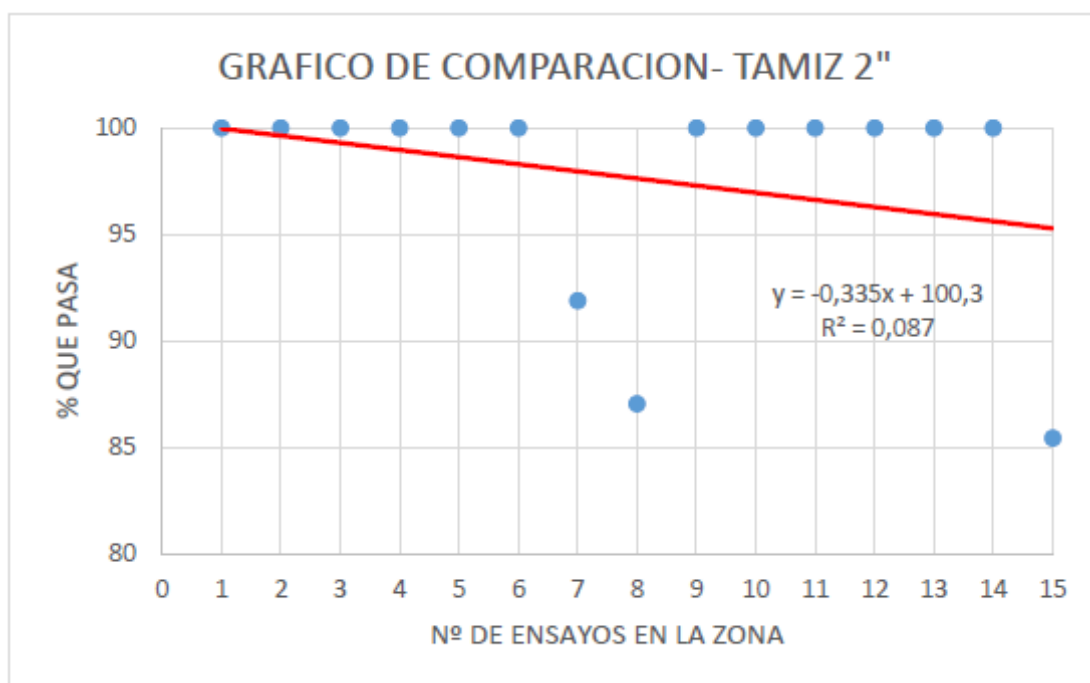


GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 2" POR MÍNIMOS CUADRADOS

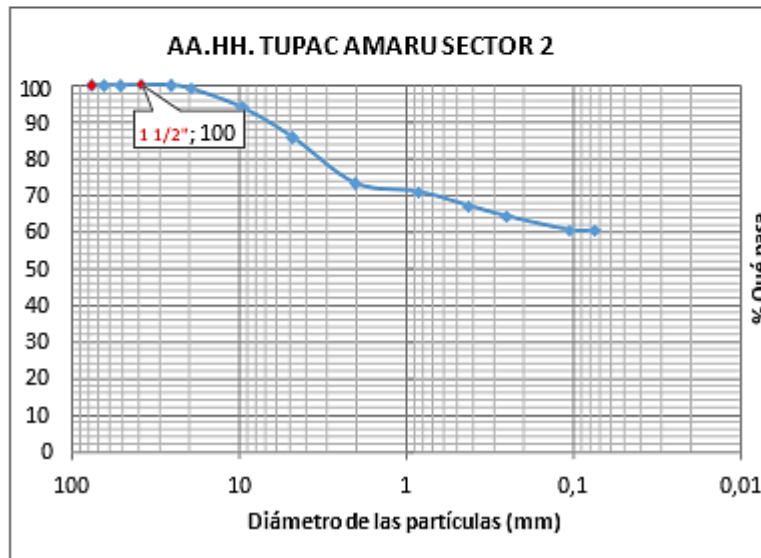
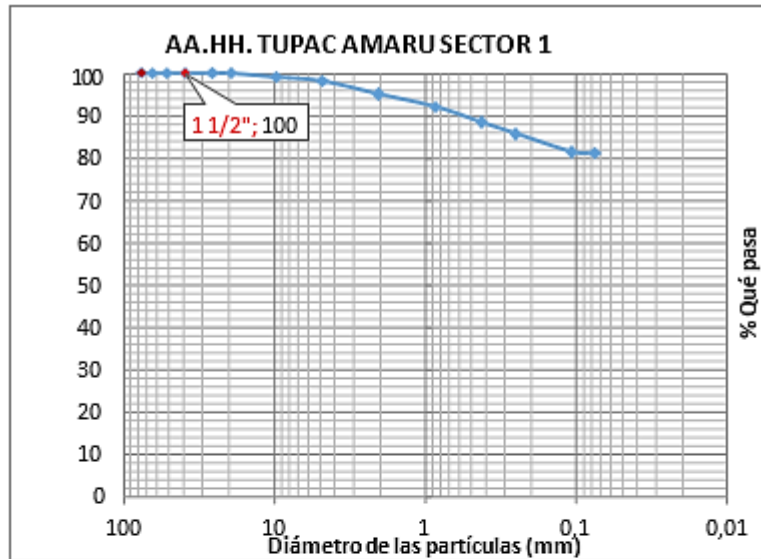
Tabla 10.COMPARATIVO TAMIZ 2"

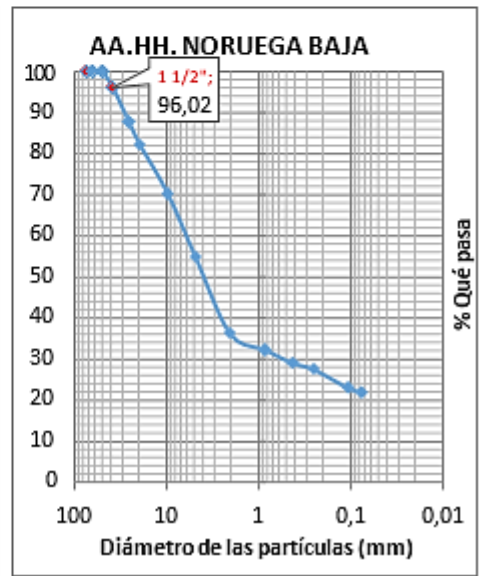
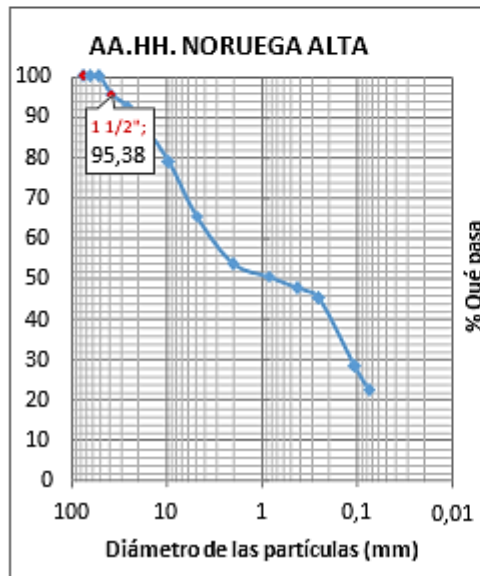
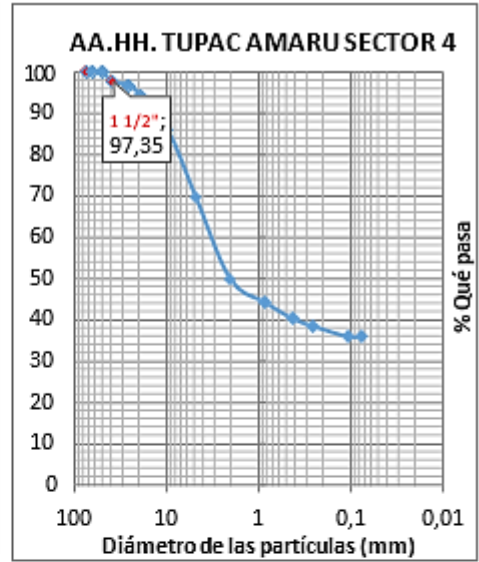
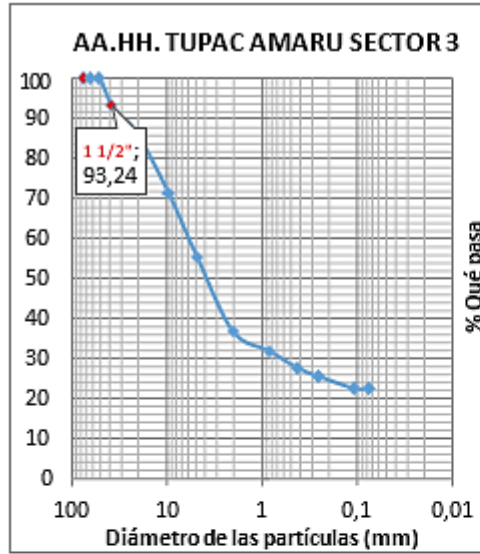
ZONA	Nº ENSAYO DE	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	100
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	100
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	100
AA.HH. HUARICAPCHA	7	91,88
LA ESPERANZA	8	87,05
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	100
ULIACHIN SECTOR 2	11	100
ULIACHIN SECTOR 3	12	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	100
ULIACHIN SECTOR 5	14	100
ULIACHIN SECTOR 6	15	85,44

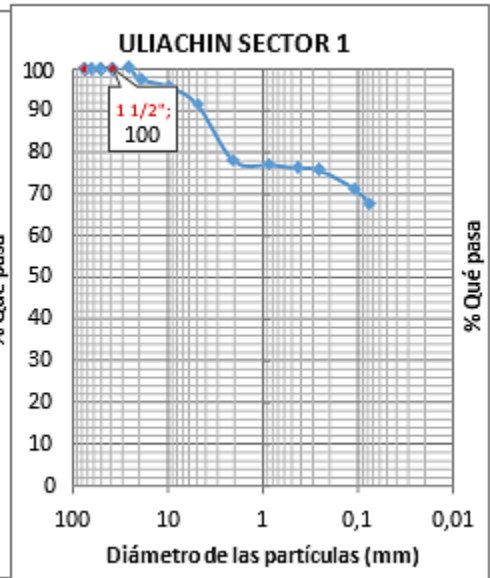
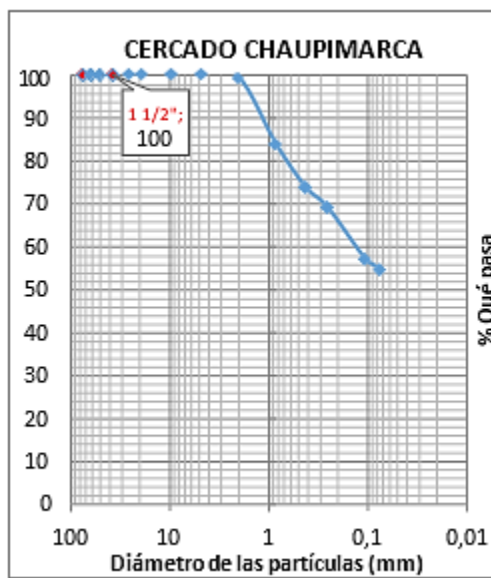
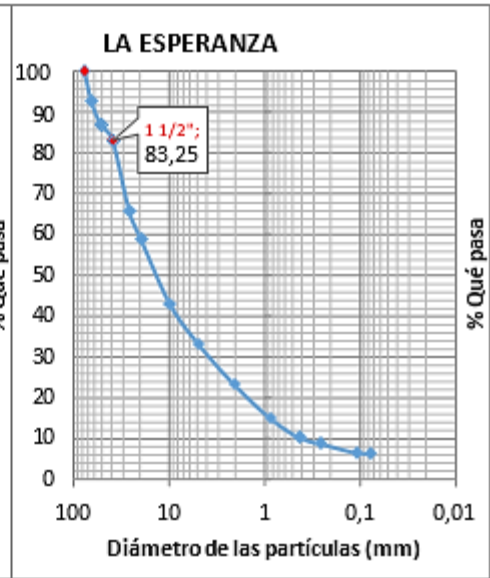
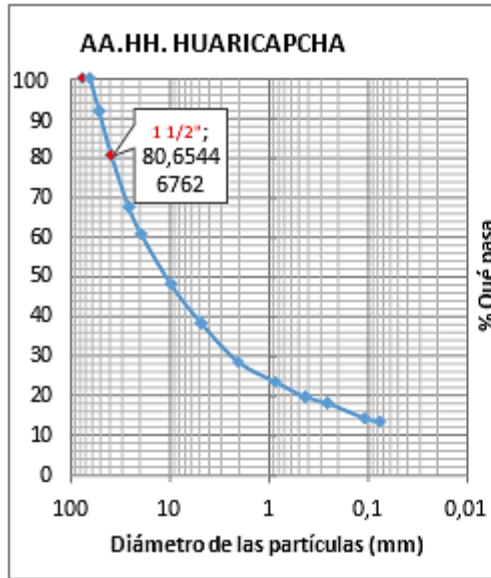
Gráfico 20. COMPARATIVO TAMIZ 2"

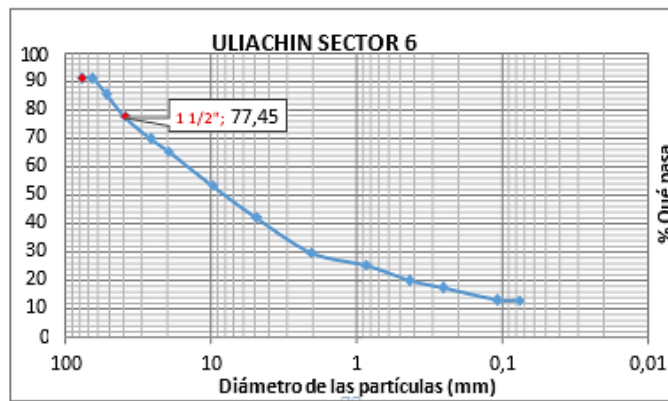
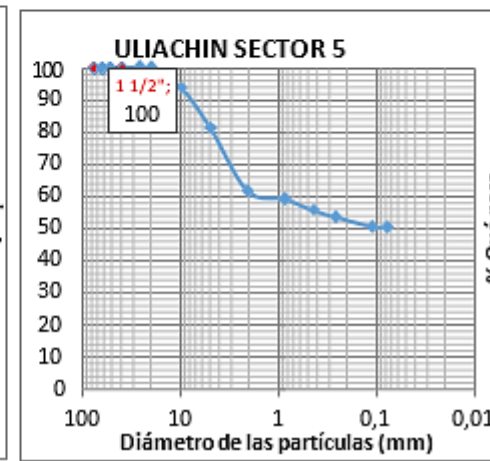
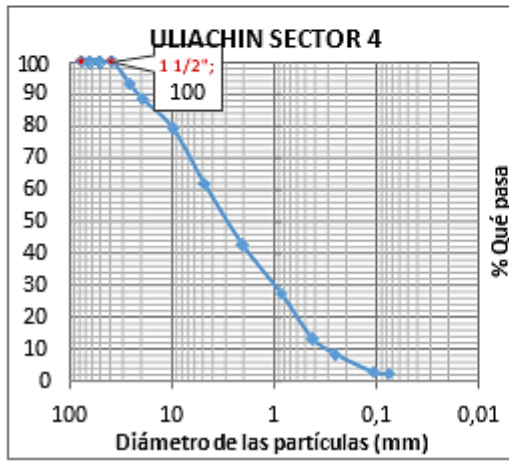
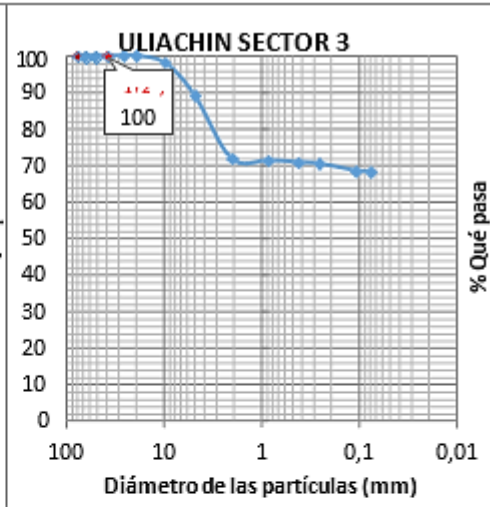
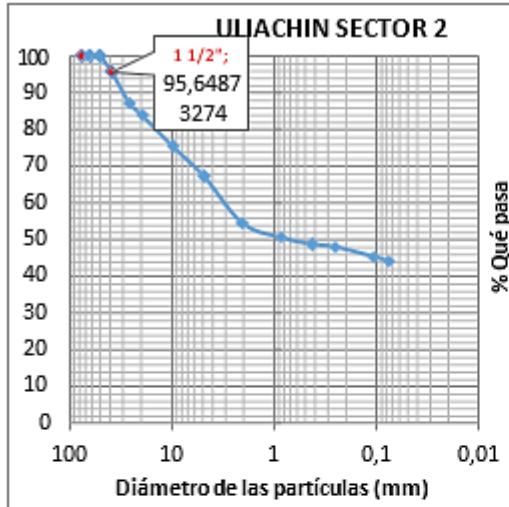


Serie de Gráficos 4. TAMIZ 1 1/2"







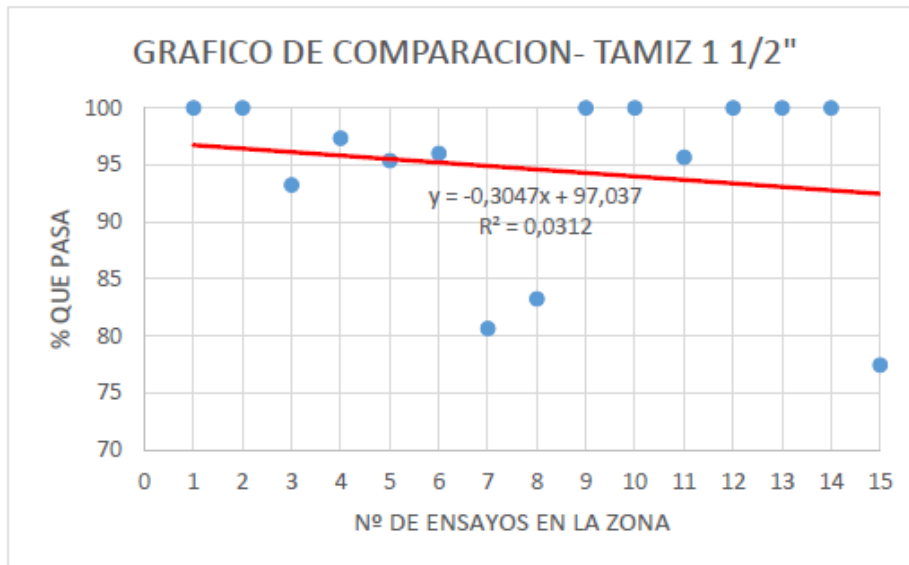


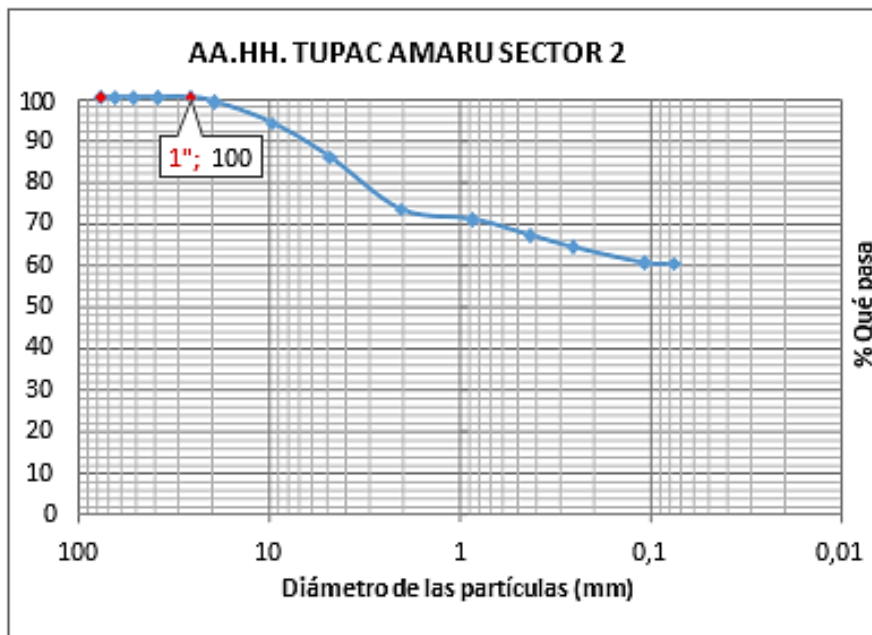
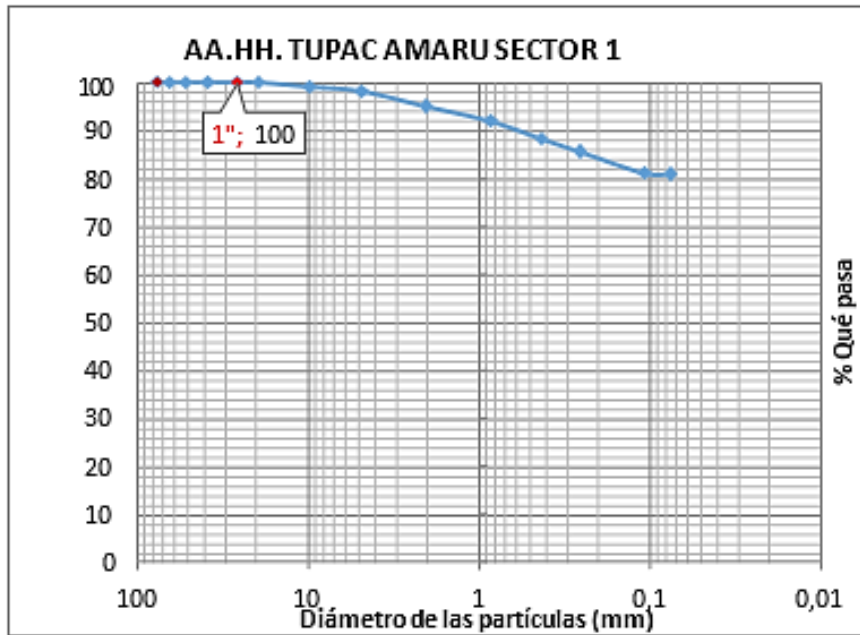
**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 1 1/2" POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

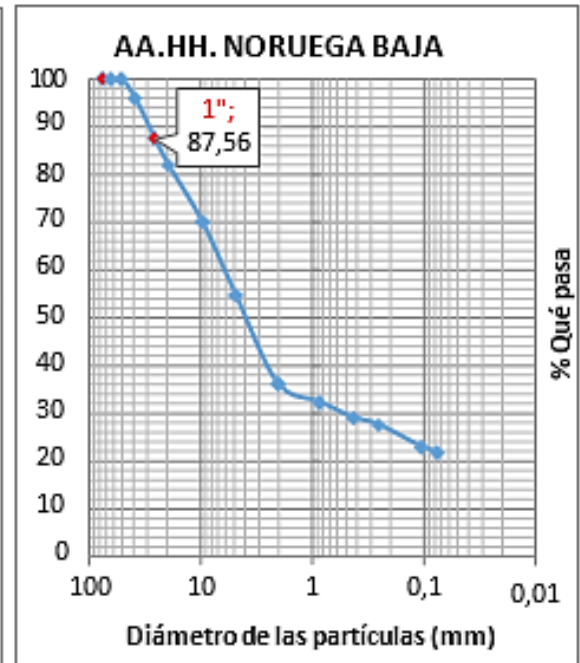
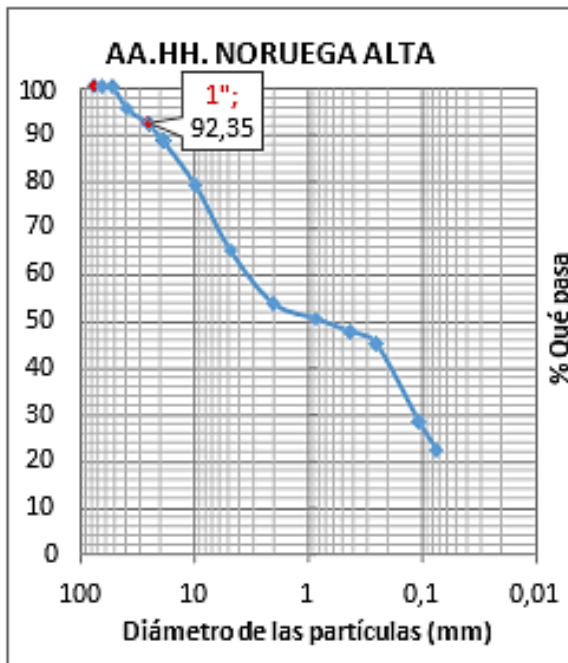
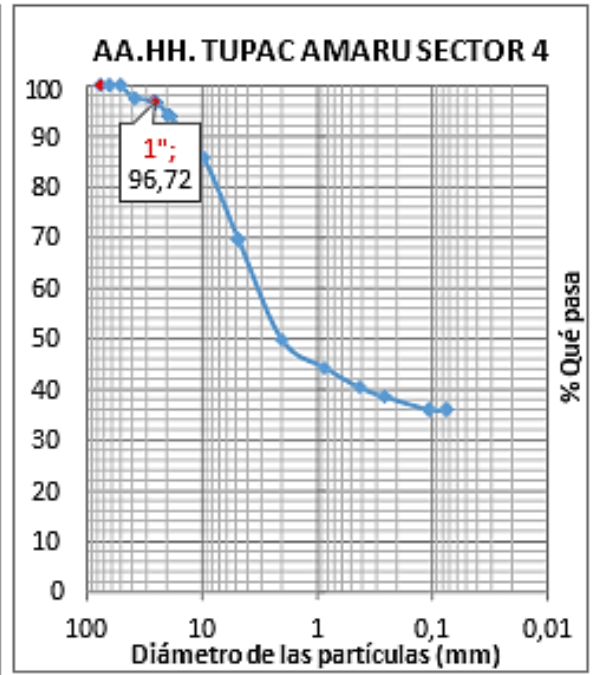
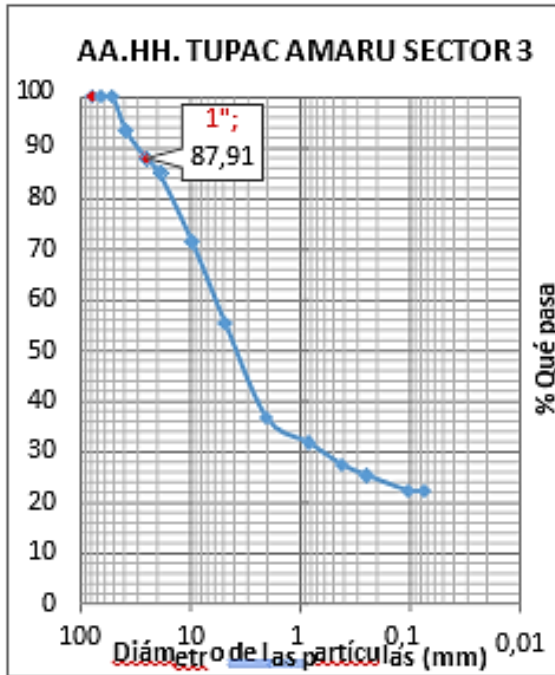
Tabla 11. COMPARATIVO TAMIZ 1 1/2"

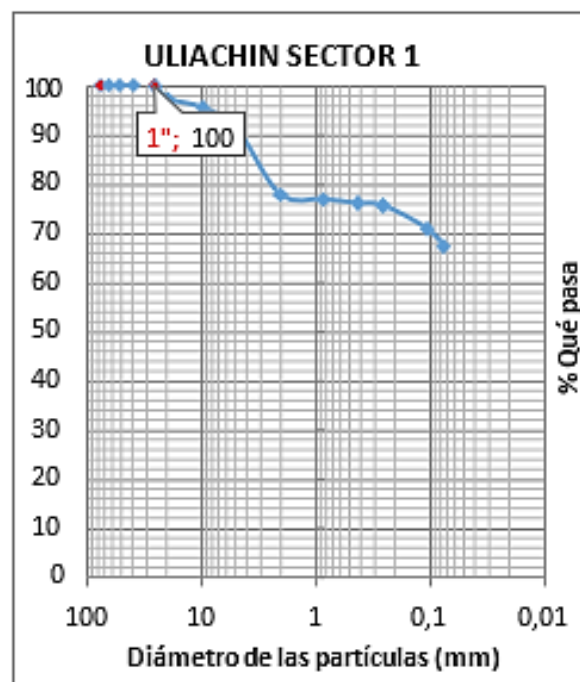
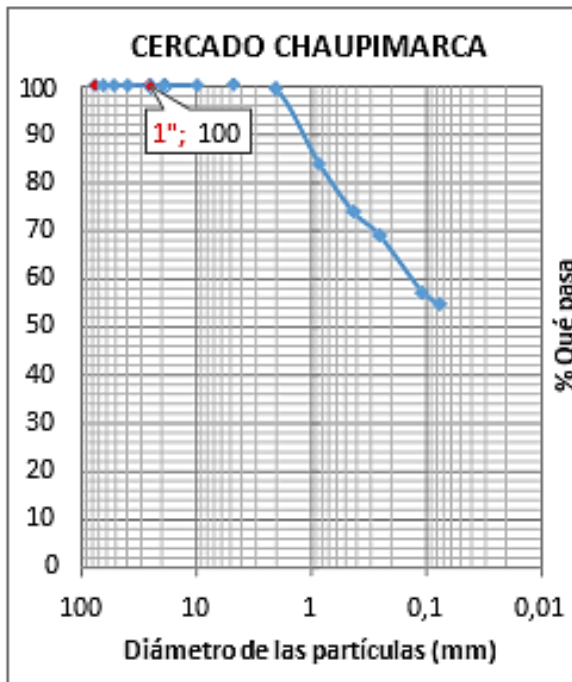
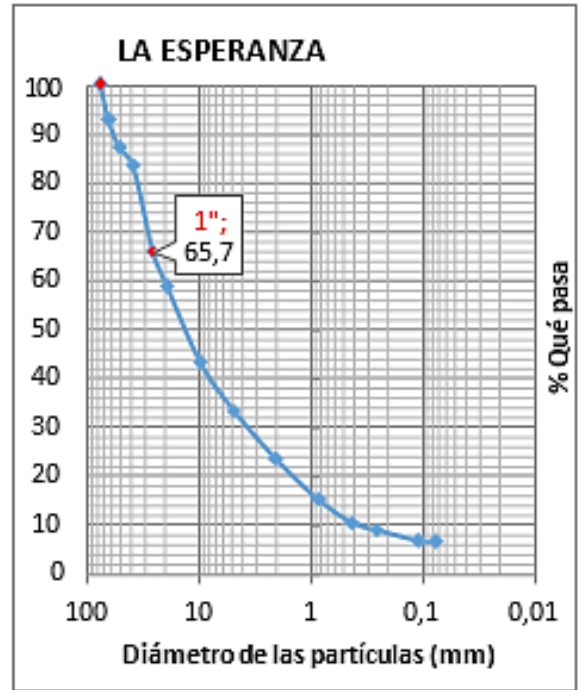
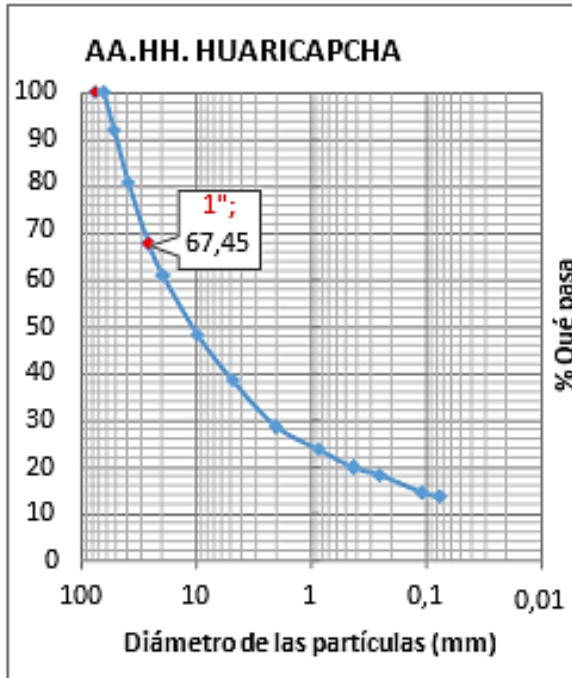
ZONA	Nº DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	93,24
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	97,35
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	95,38
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	96,02
AA.HH. HUARICAPCHA	7	80,65
LA ESPERANZA	8	83,25
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	100
ULIACHIN SECTOR 2	11	95,65
ULIACHIN SECTOR 3	12	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	100
ULIACHIN SECTOR 5	14	100
ULIACHIN SECTOR 6	15	77,45

Gráfico 21. COMPARATIVO TAMIZ 1 1/2"









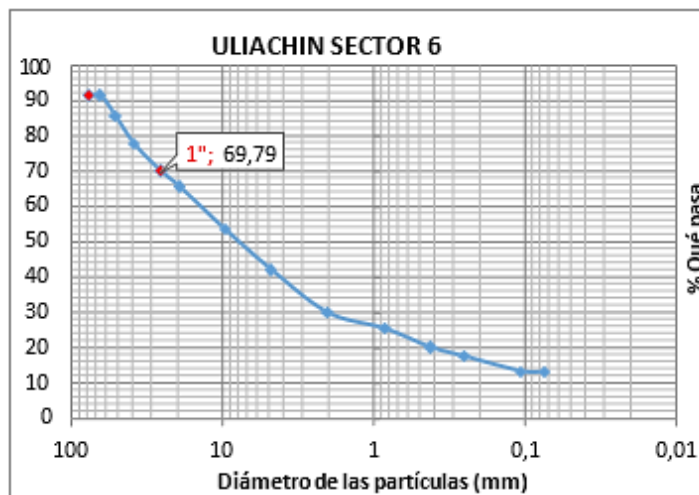
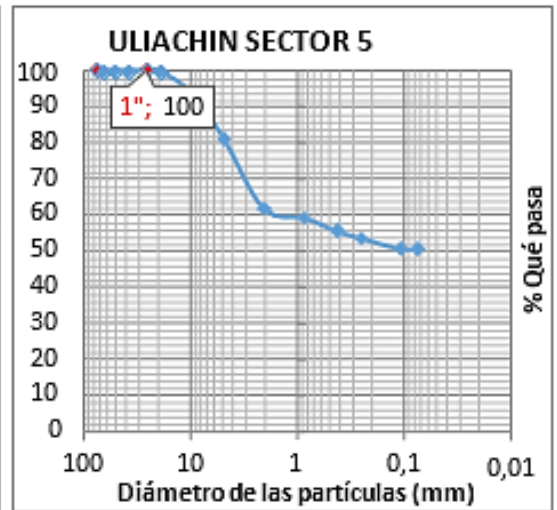
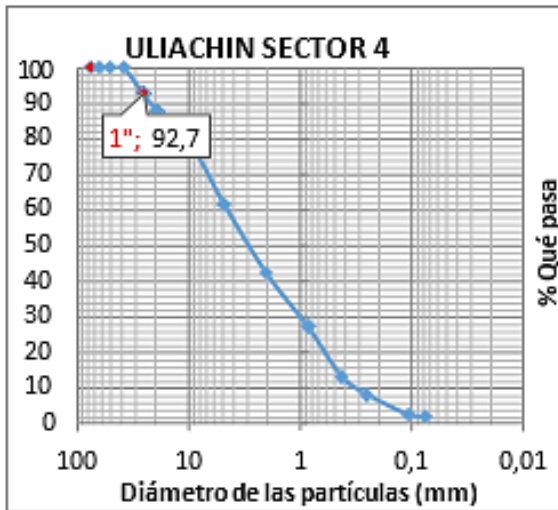
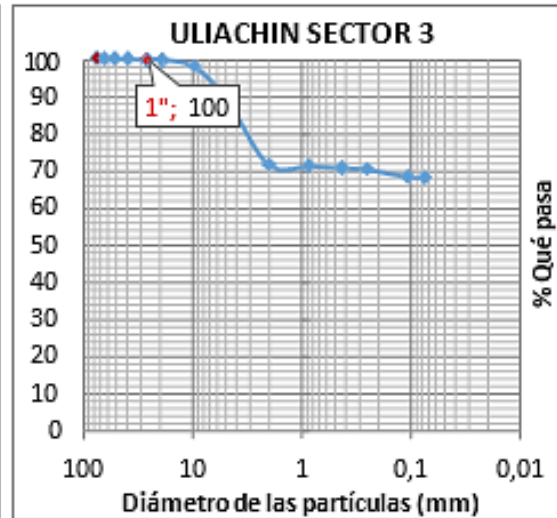
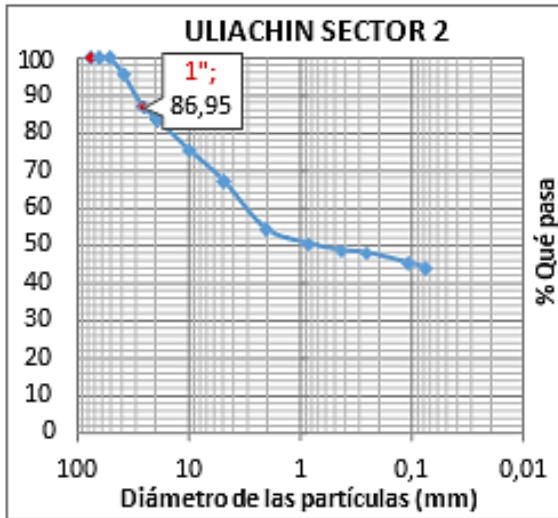
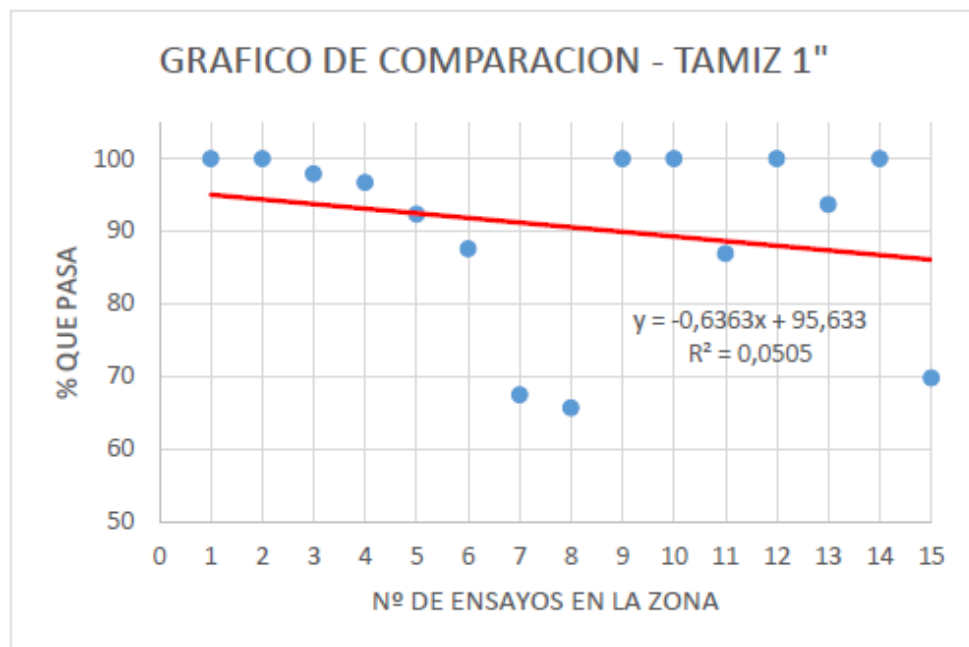


GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 1" POR MÍNIMOS CUADRADOS

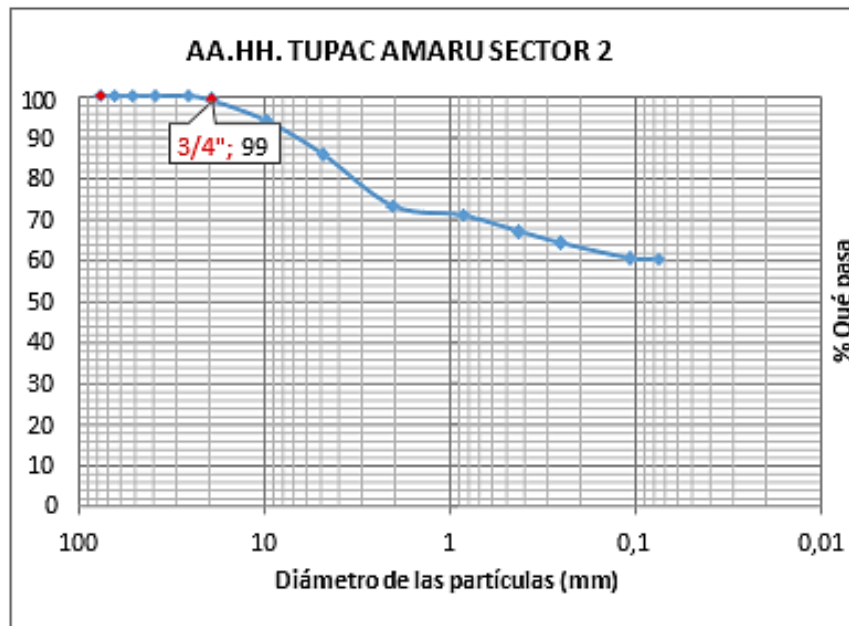
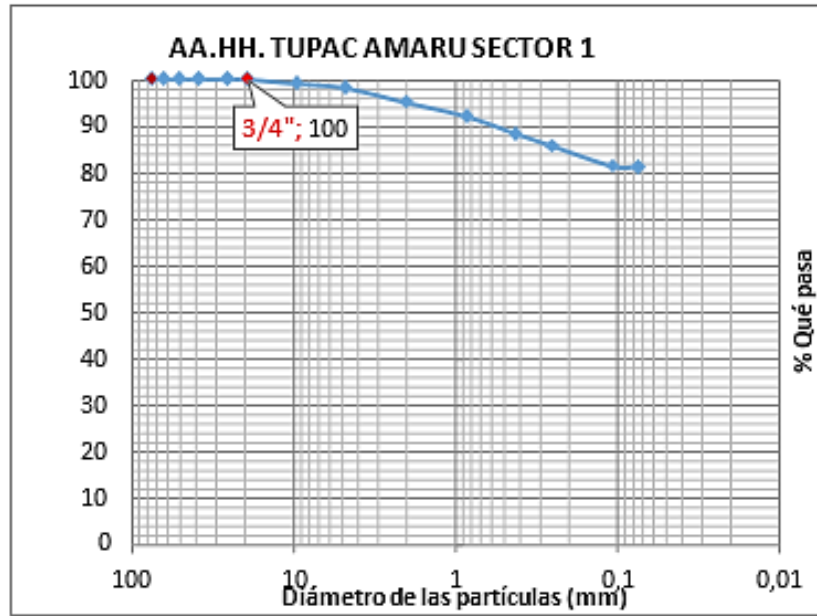
Tabla 12. COMPARATIVO TAMIZ 1"

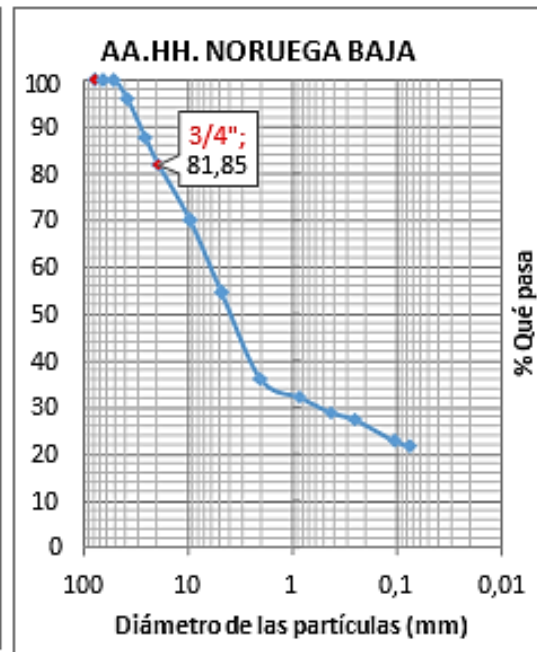
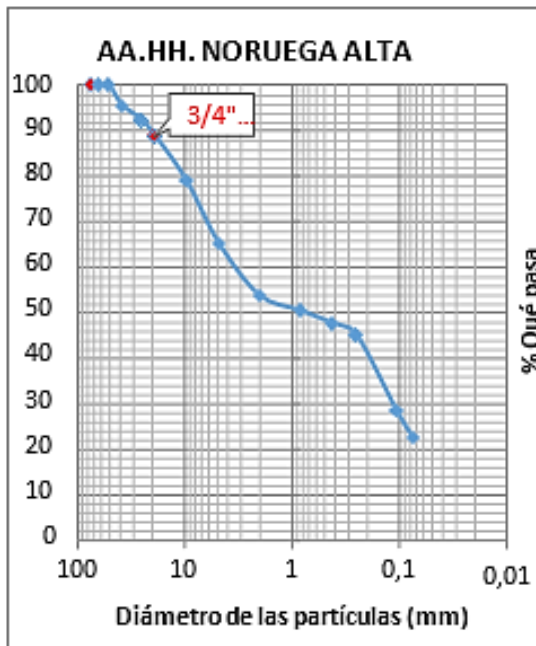
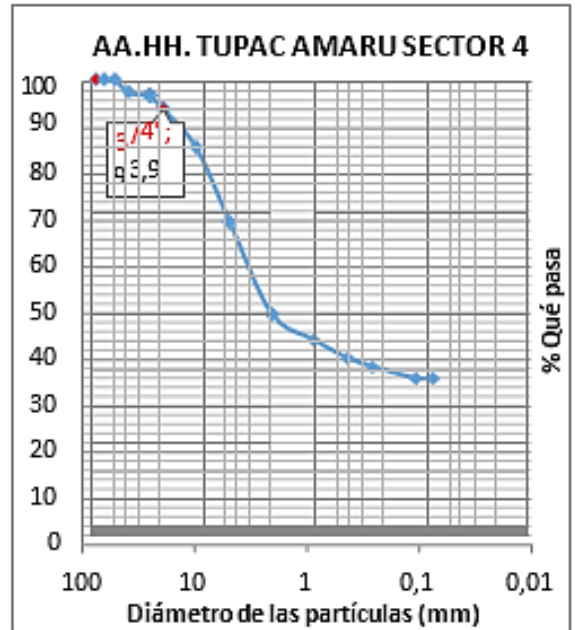
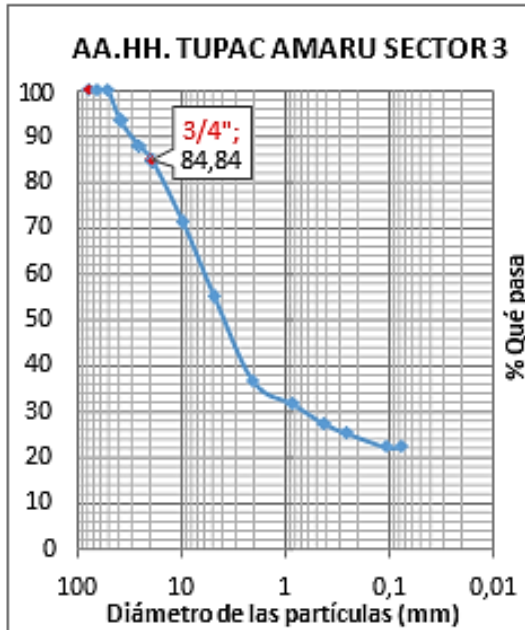
ZONA	Nº DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	97,91
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	96,72
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	92,35
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	87,56
AA.HH. HUARICAPCHA	7	67,45
LA ESPERANZA	8	65,7
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	100
ULIACHIN SECTOR 2	11	86,95
ULIACHIN SECTOR 3	12	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	93,7
ULIACHIN SECTOR 5	14	100
ULIACHIN SECTOR 6	15	69,79

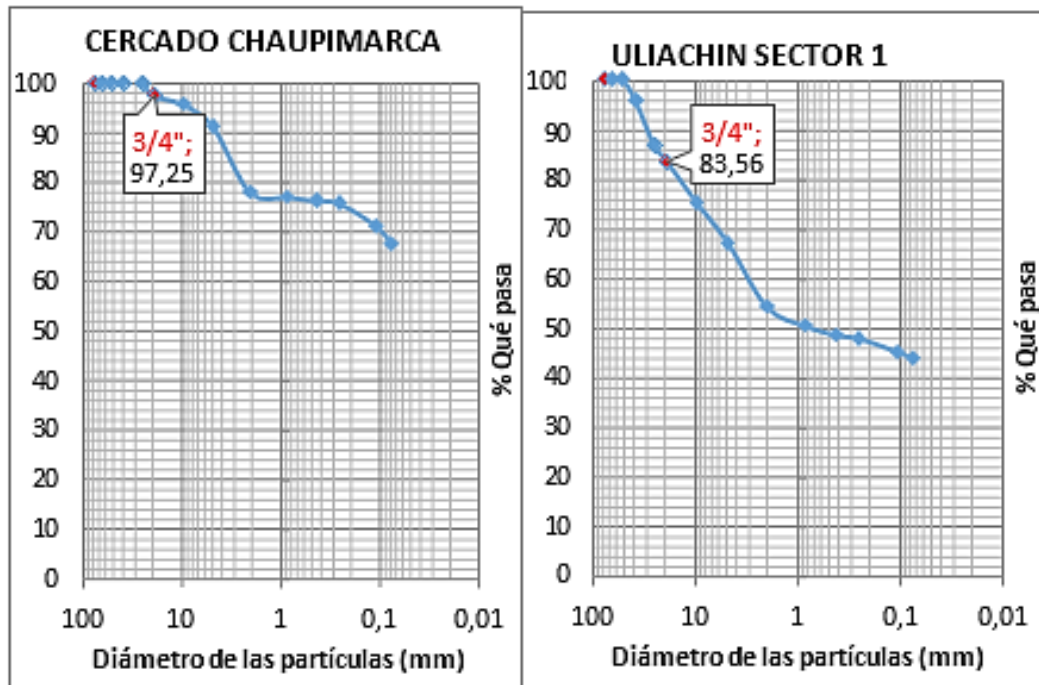
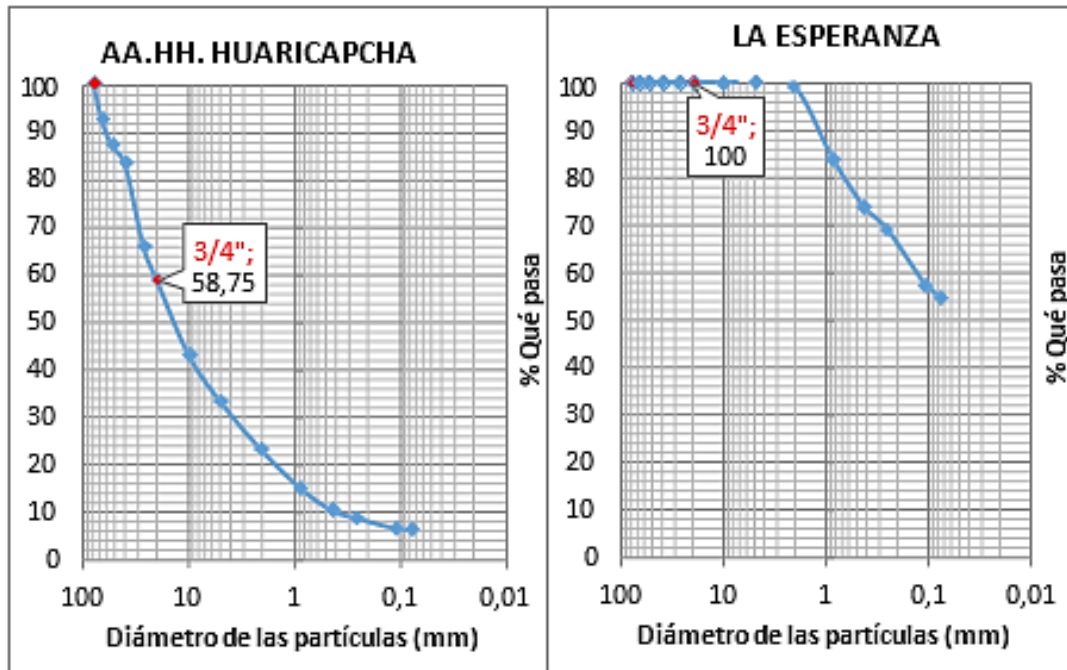
Gráfico 22. COMPARATIVO TAMIZ 1"

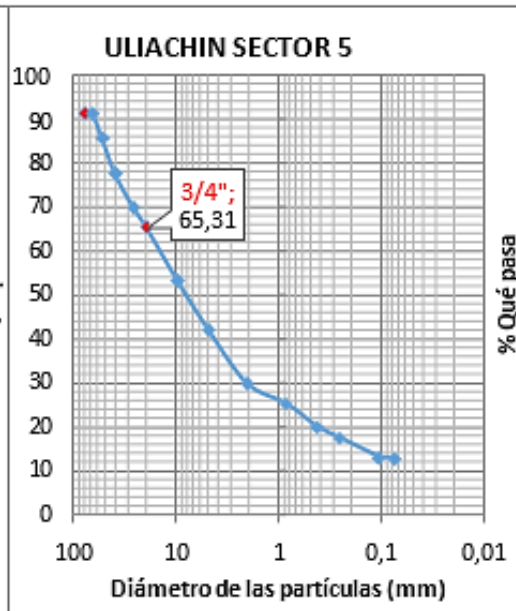
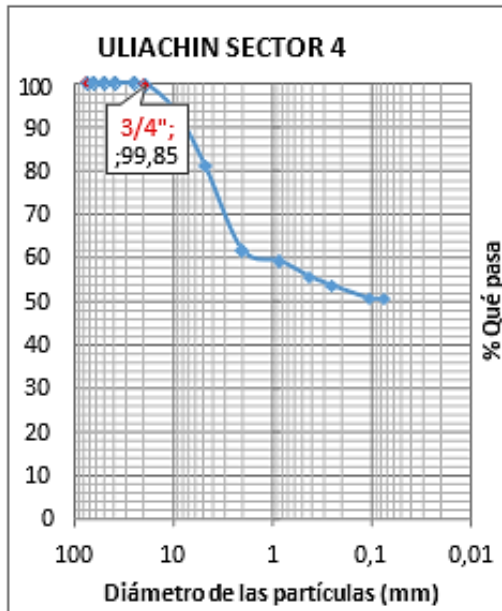
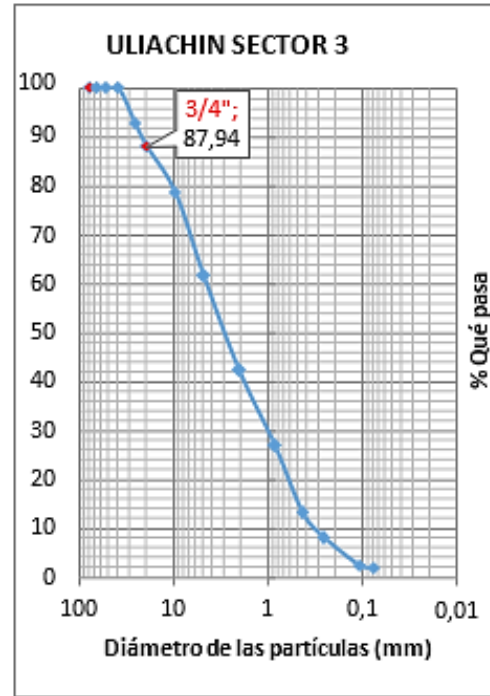
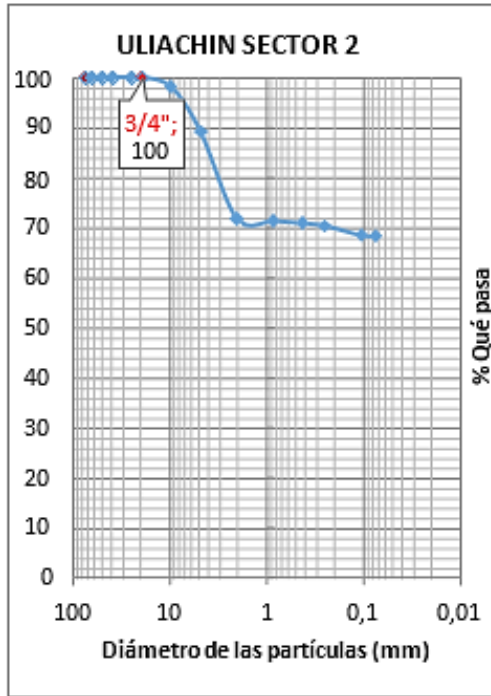


Serie de Gráficos 6 TAMIZ 3/4"







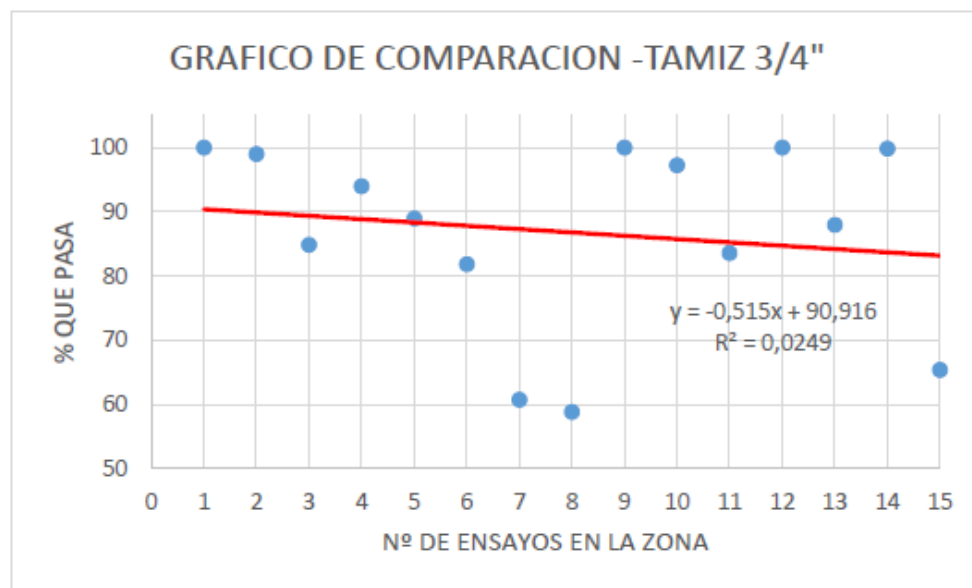


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 3/4" POR MÍNIMOS
CUADRADOS**

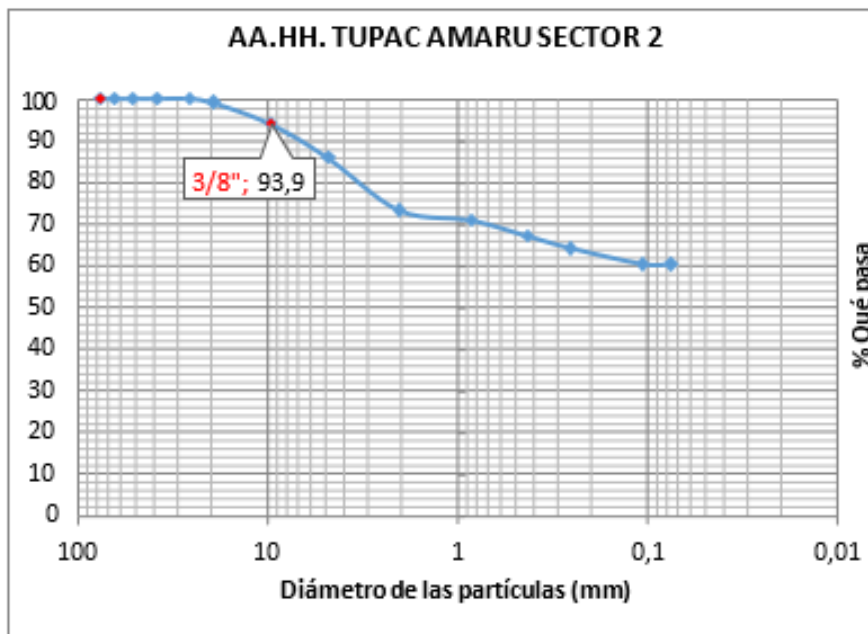
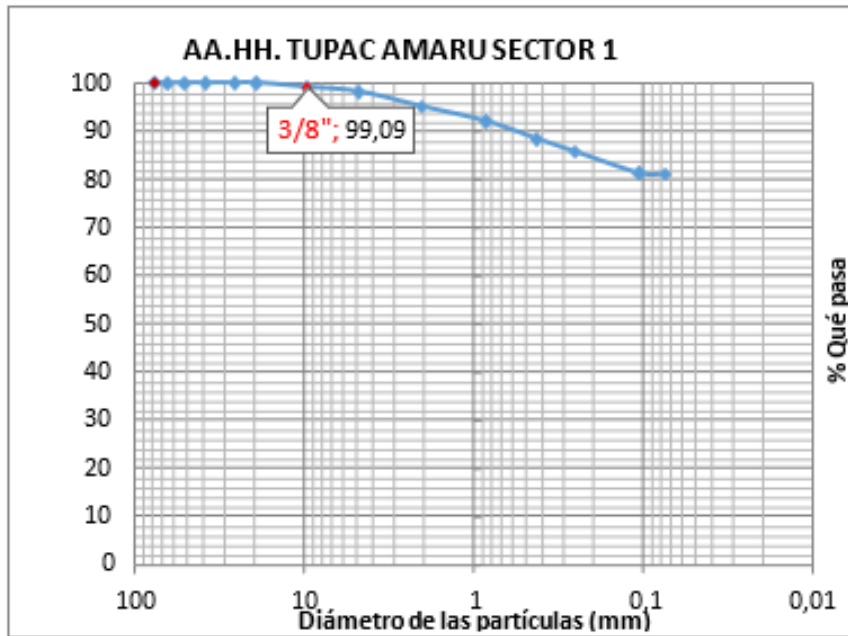
Tabla 13. COMPARATIVO TAMIZ 3/4"

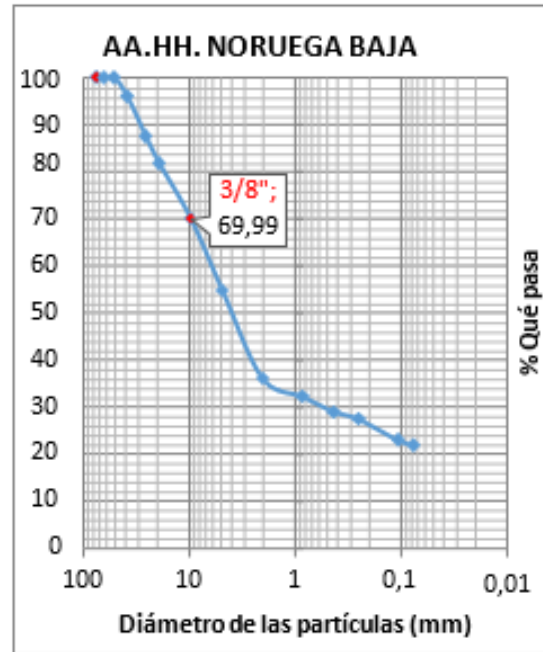
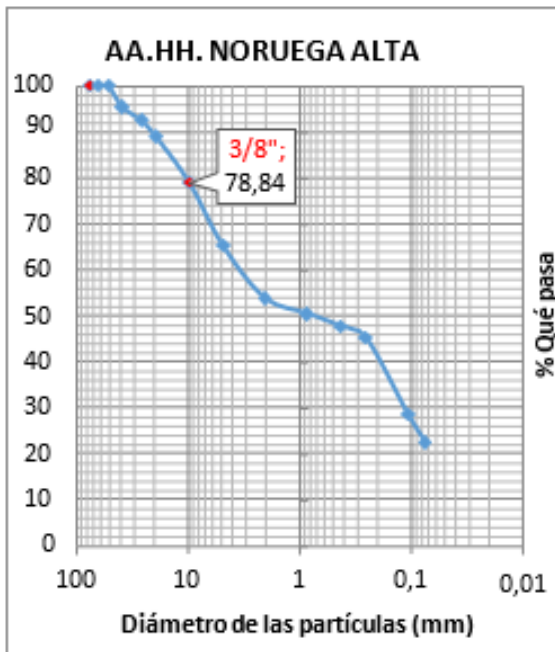
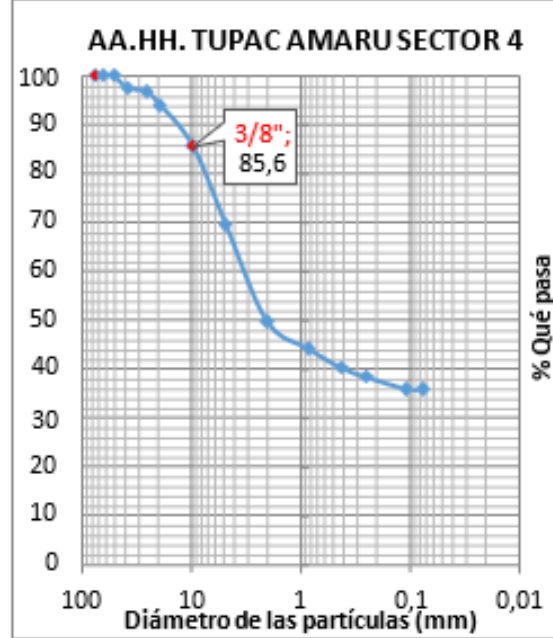
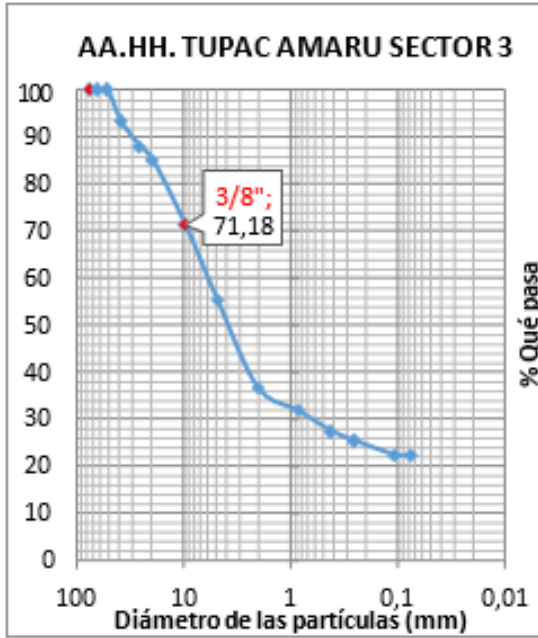
ZONA	Nº DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	99
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	84,84
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	93,99
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	88,94
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	81,85
AA.HH. HUARICAPCHA	7	60,66
LA ESPERANZA	8	58,75
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	97,25
ULIACHIN SECTOR 2	11	83,56
ULIACHIN SECTOR 3	12	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	87,94
ULIACHIN SECTOR 5	14	99,85
ULIACHIN SECTOR 6	15	65,31

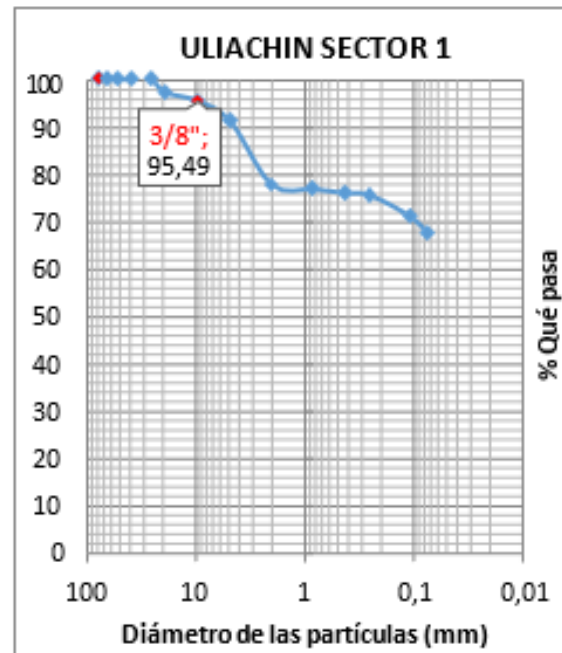
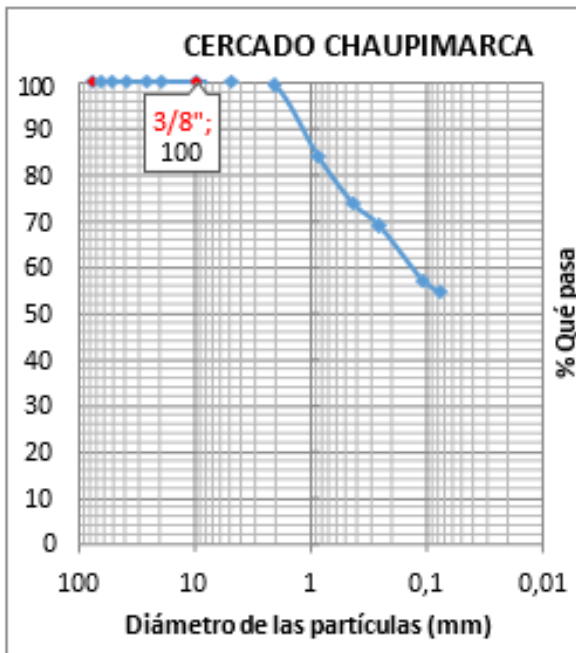
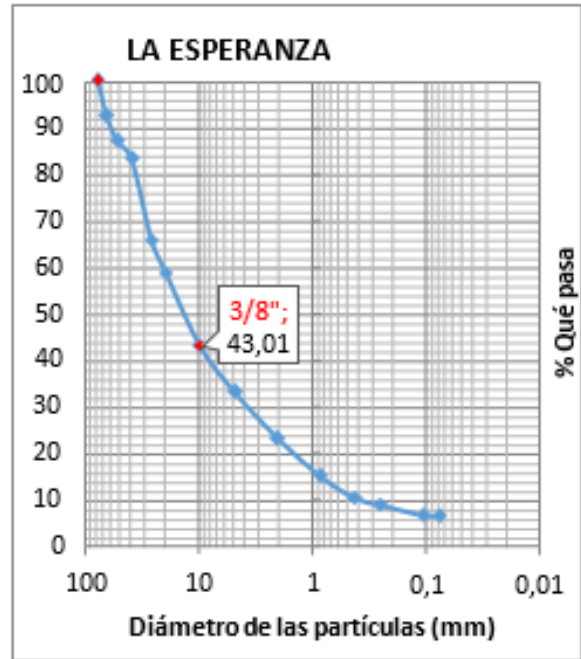
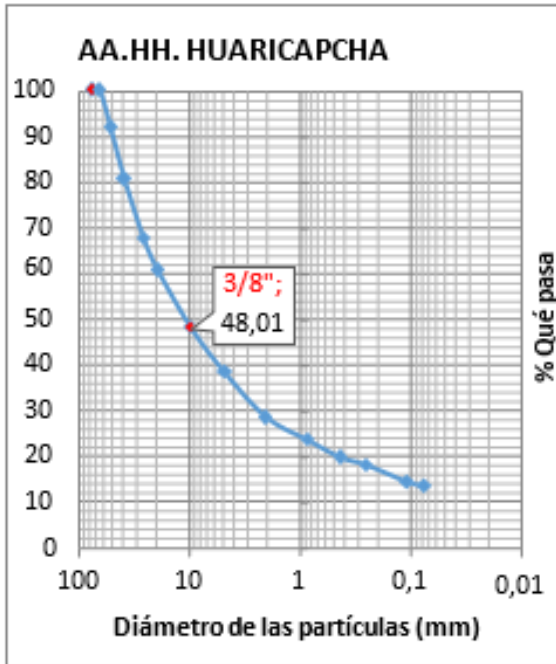
Gráfico 23.COMPARATIVO TAMIZ 3/4"



Serie de Gráficos 7. TAMIZ 3/8"







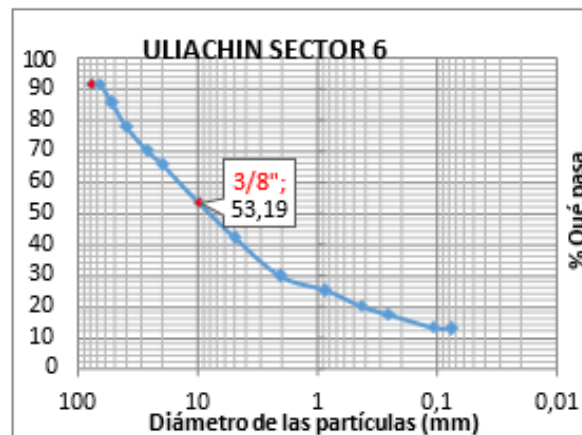
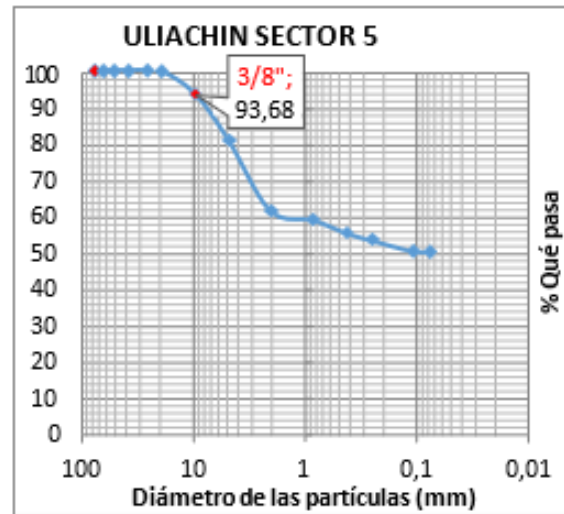
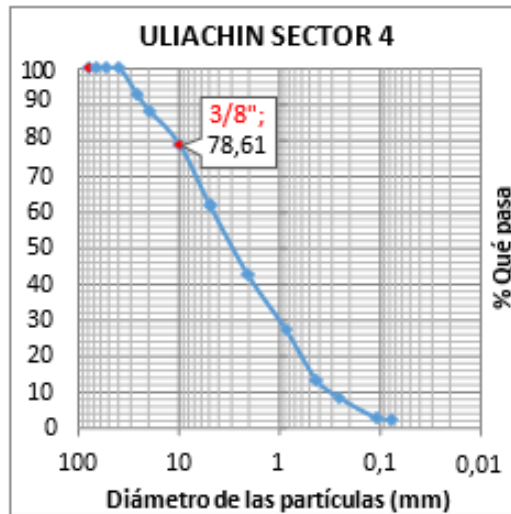
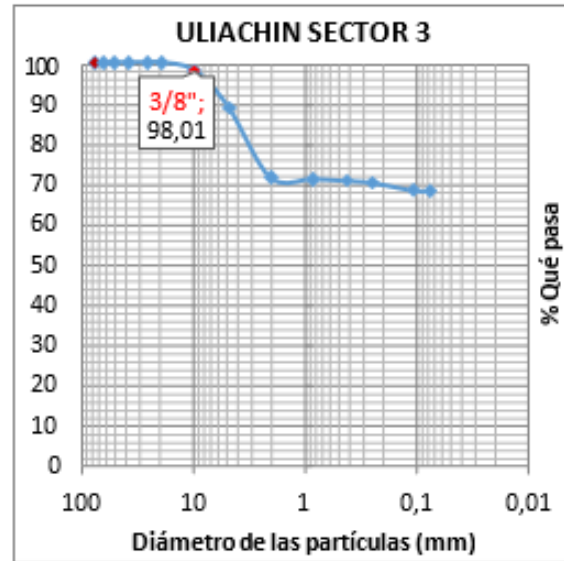
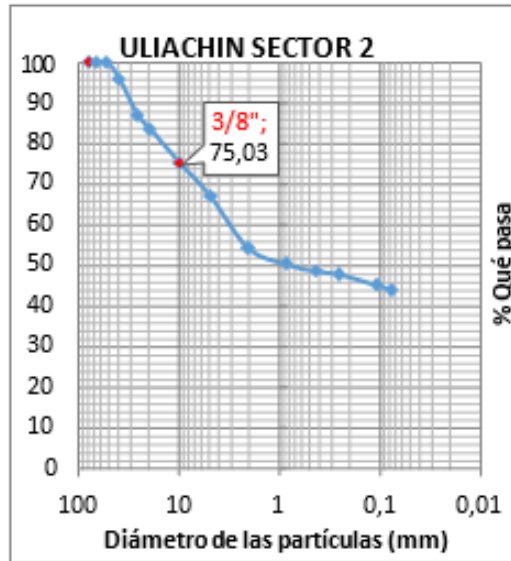


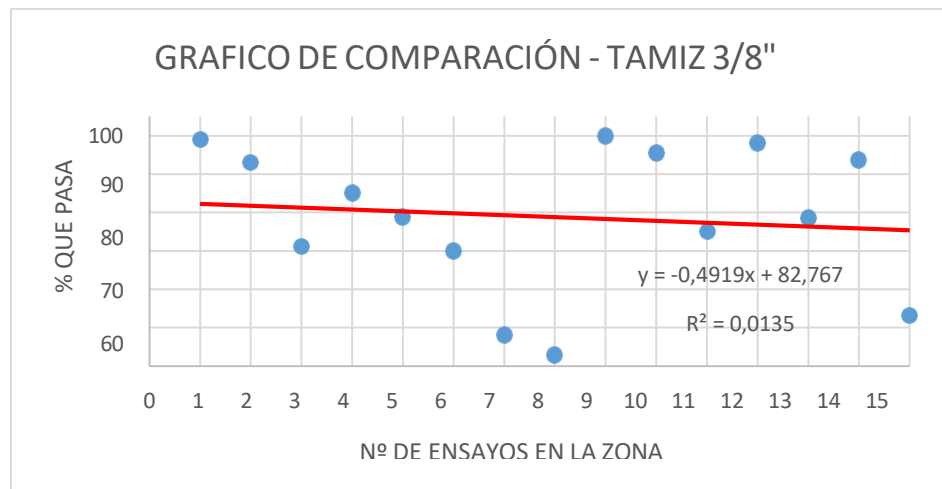
GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ 3/8" POR MÍNIMOS

CUADRADOS

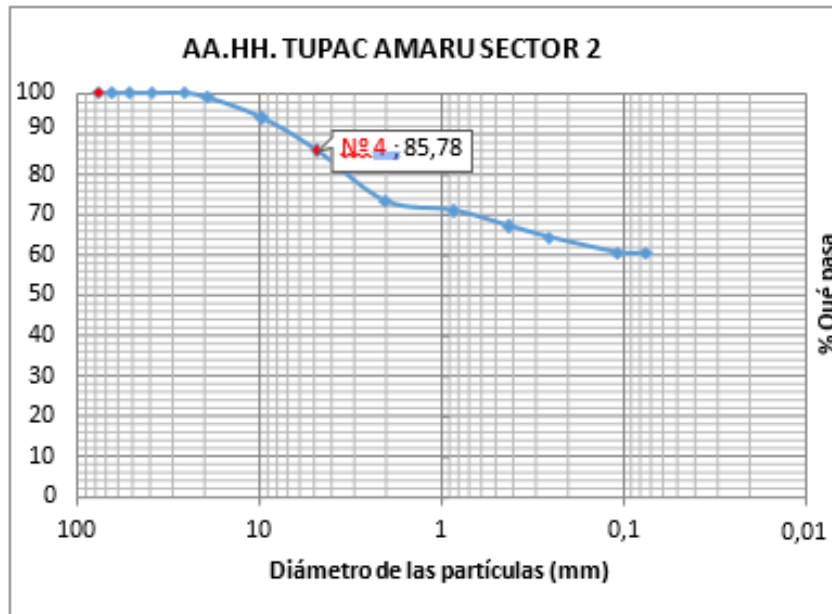
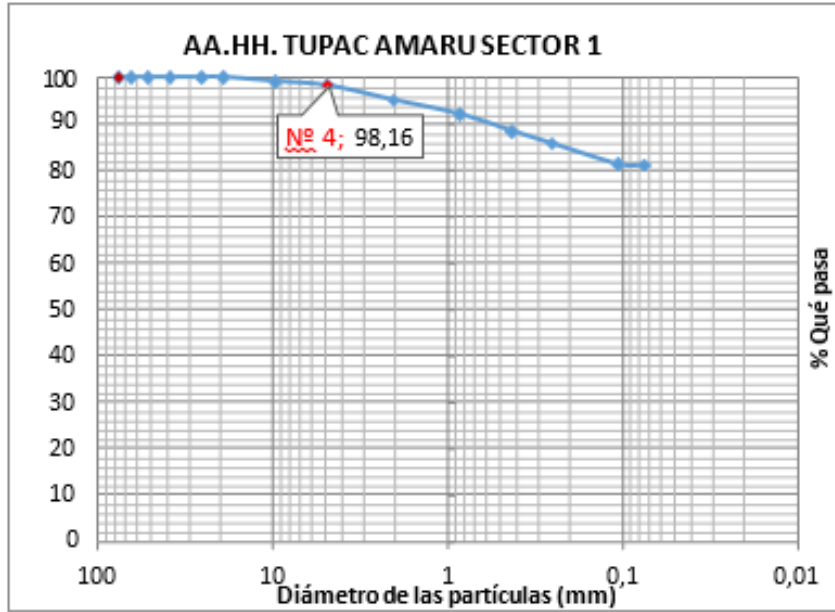
Tabla 14. COMPARATIVO TAMIZ 3/8"

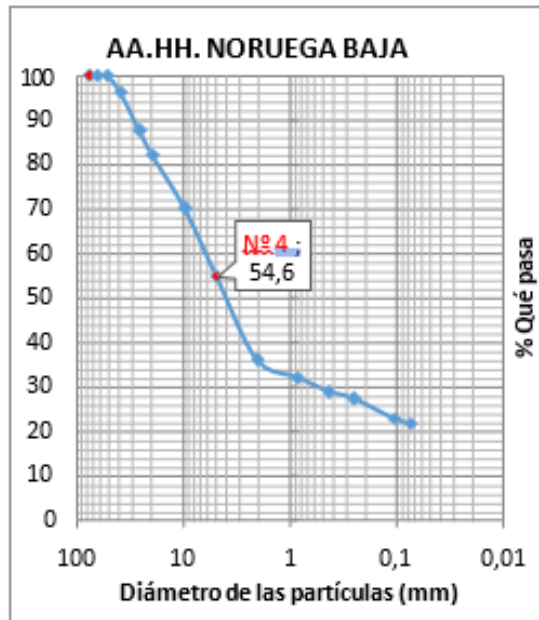
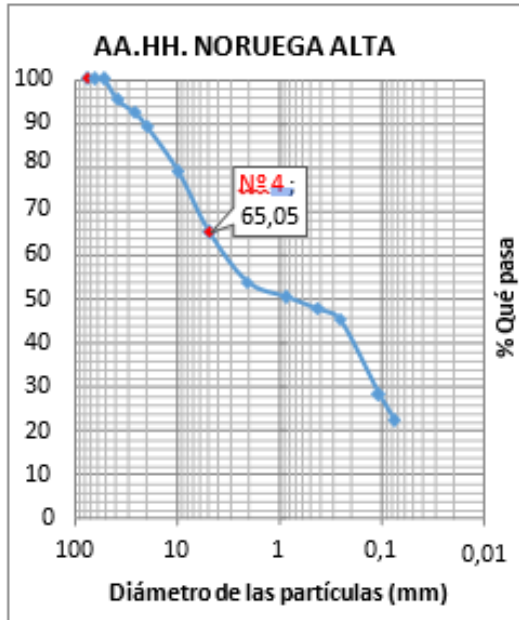
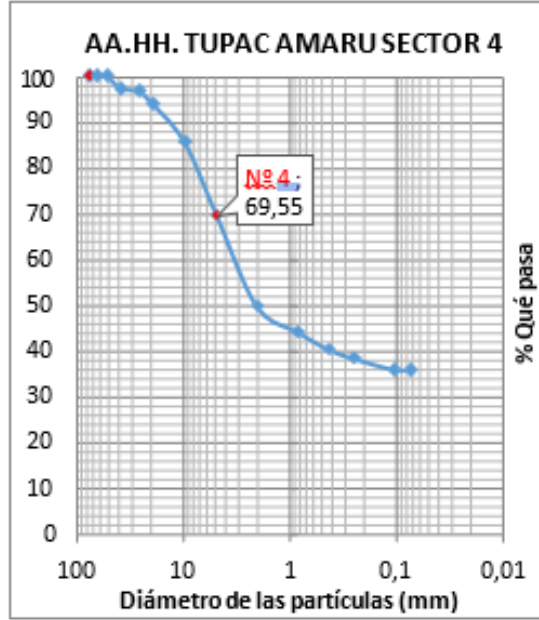
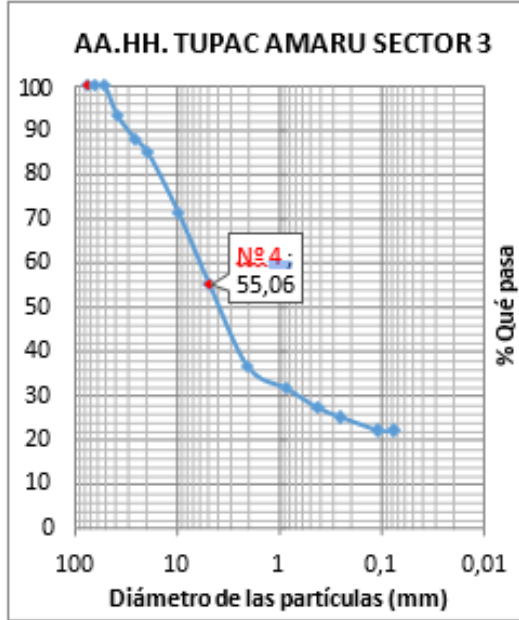
ZONA	Nº DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	99,09
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	93,09
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	71,18
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	85,16
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	78,84
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	69,99
AA.HH. HUARICAPCHA	7	48,1
LA ESPERANZA	8	43,01
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	95,49
ULIACHIN SECTOR 2	11	75,03
ULIACHIN SECTOR 3	12	98,01
ULIACHIN SECTOR 4	13	78,61
ULIACHIN SECTOR 5	14	93,68
ULIACHIN SECTOR 6	15	53,19

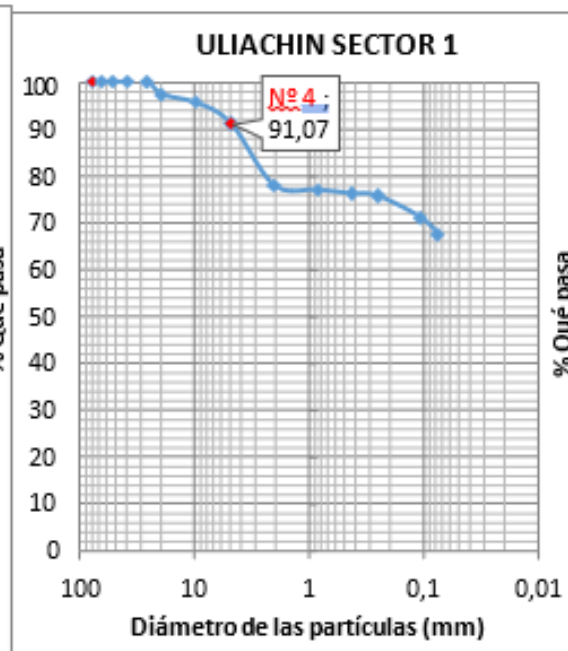
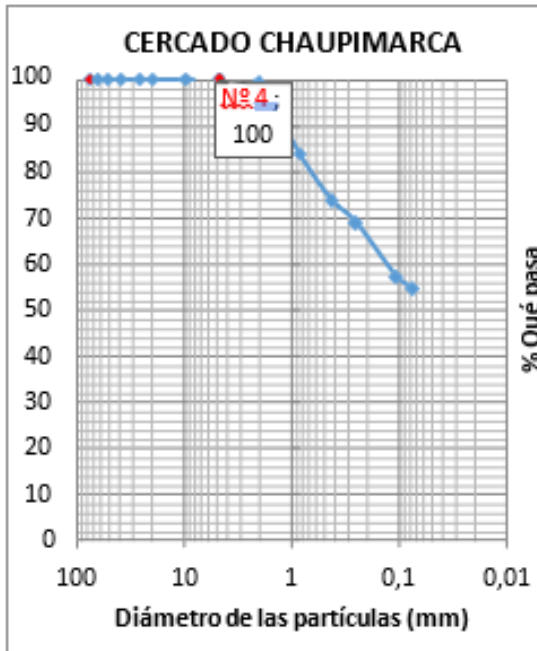
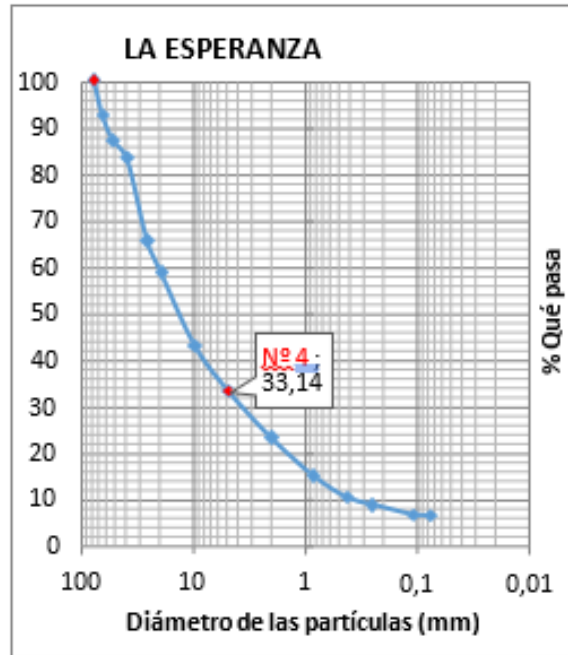
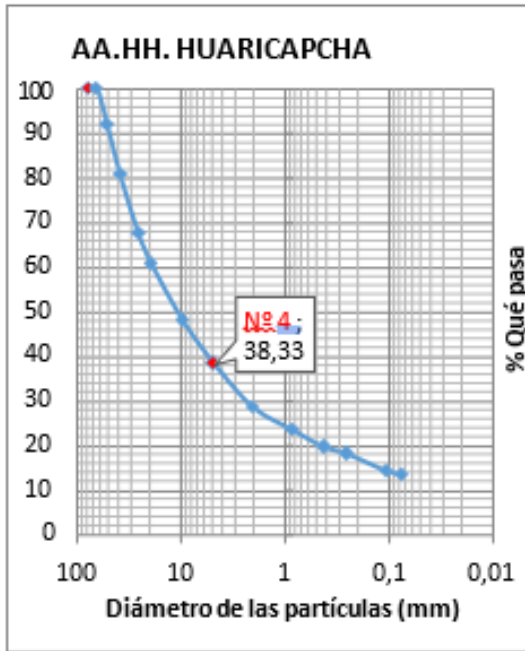
Gráfico 24. COMPARATIVO TAMIZ 3/8"



Serie de Gráficos 8. TAMIZ N°4







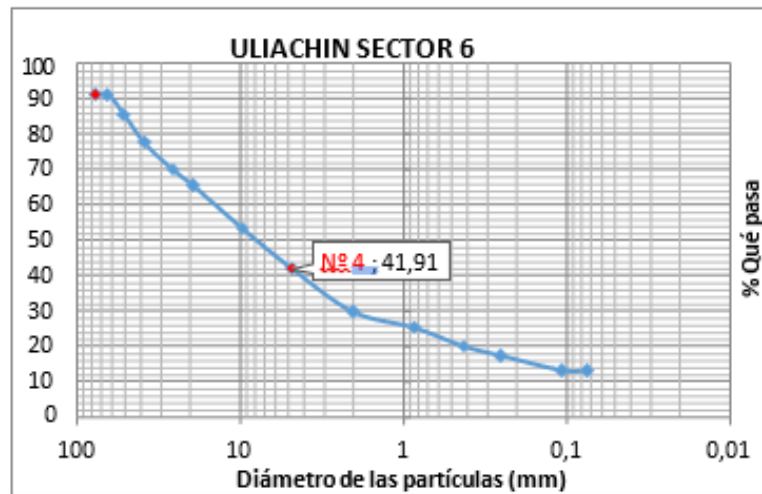
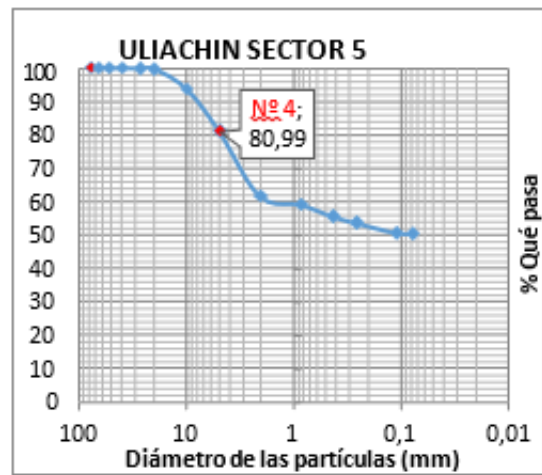
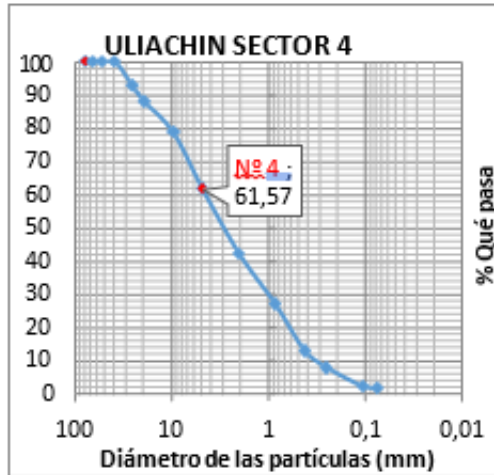
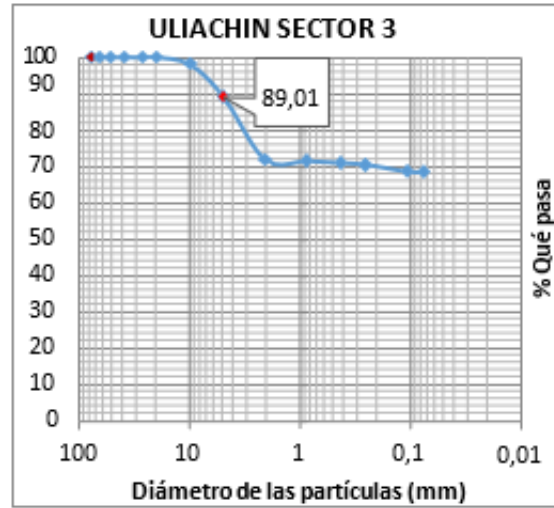
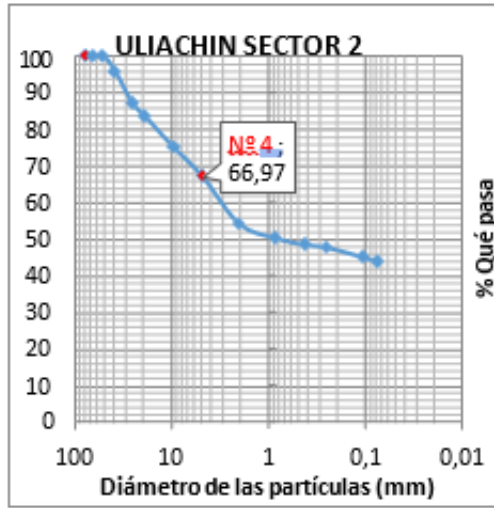


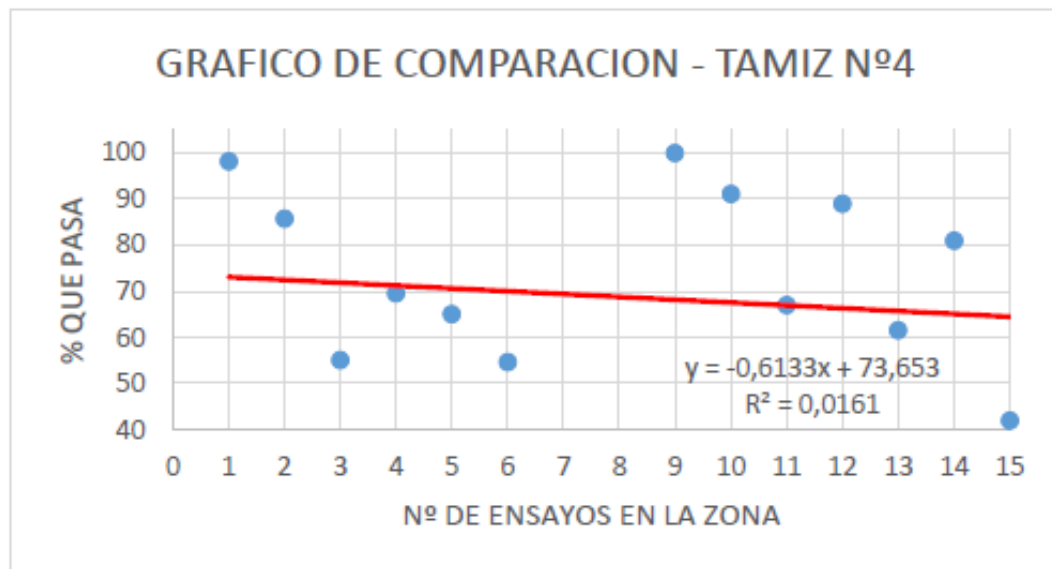
GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 4 POR MÍNIMOS

CUADRADOS

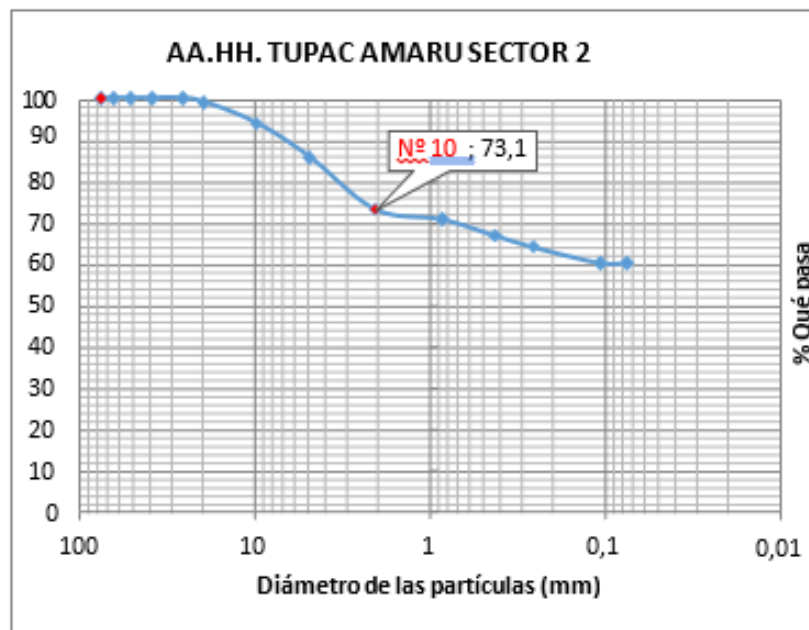
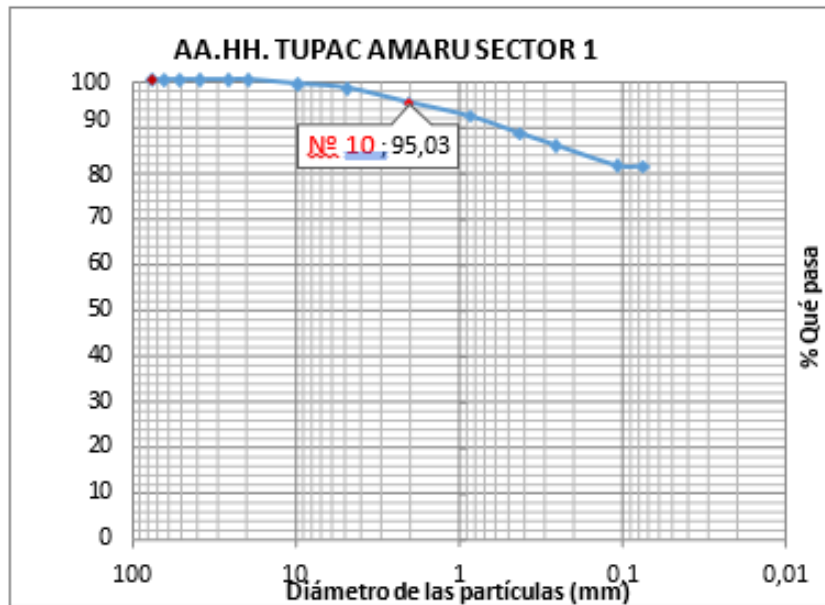
Tabla 15. COMPARATIVO TAMIZ N° 4

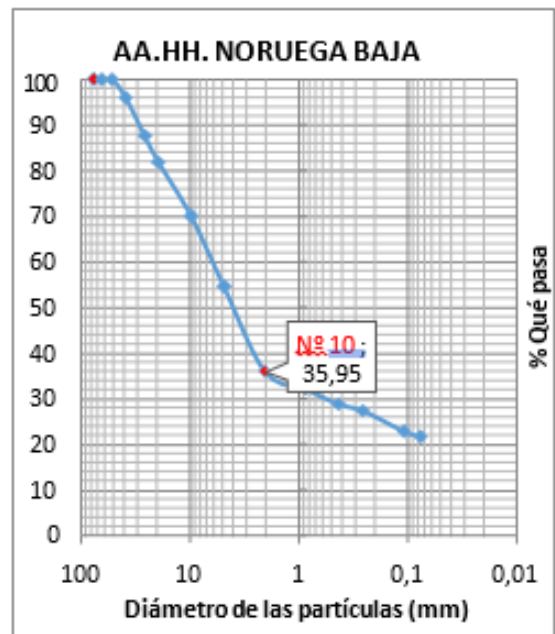
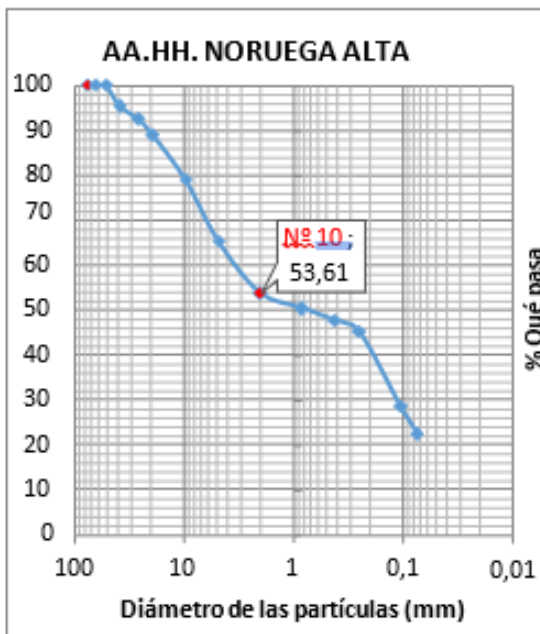
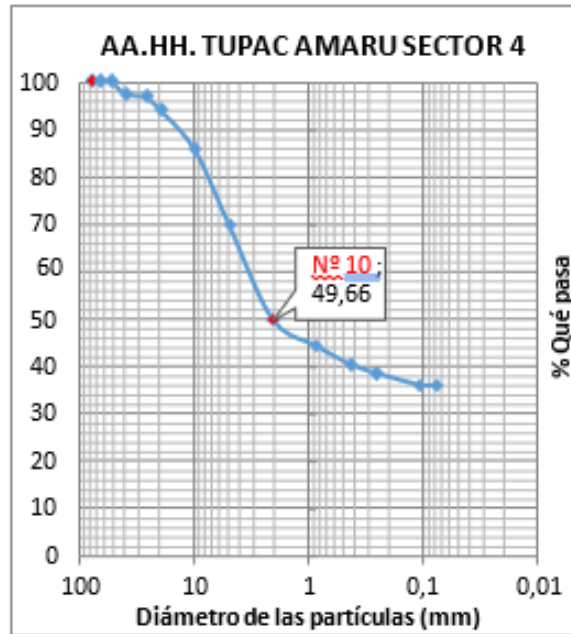
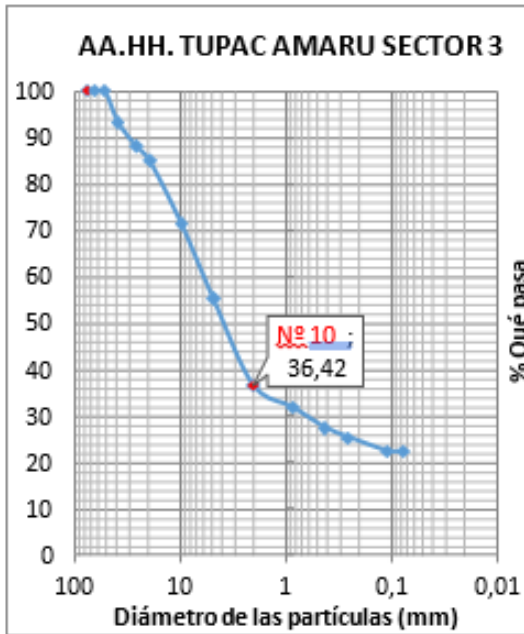
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	98,16
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	85,78
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	55,06
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	69,55
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	65,05
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	54,6
AA.HH. HUARICAPCHA	7	38,33
LA ESPERANZA	8	33,14
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	91,07
ULIACHIN SECTOR 2	11	66,97
ULIACHIN SECTOR 3	12	89,01
ULIACHIN SECTOR 4	13	61,57
ULIACHIN SECTOR 5	14	80,99
ULIACHIN SECTOR 6	15	41,91

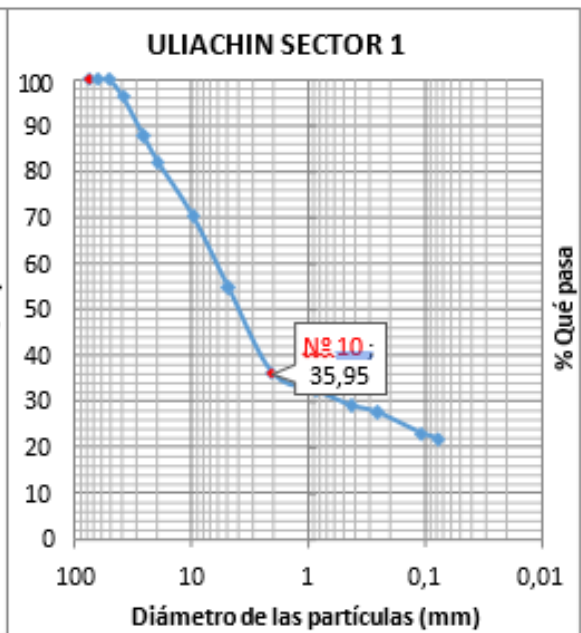
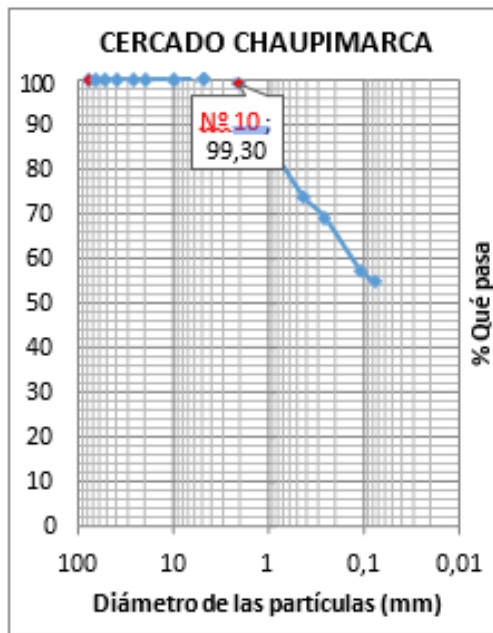
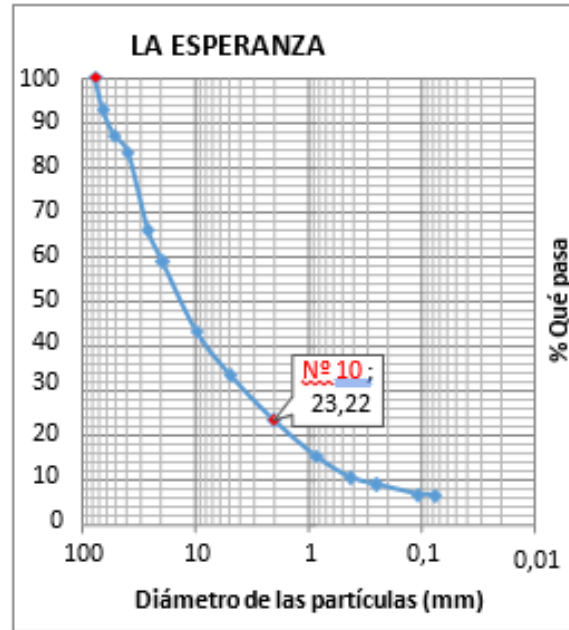
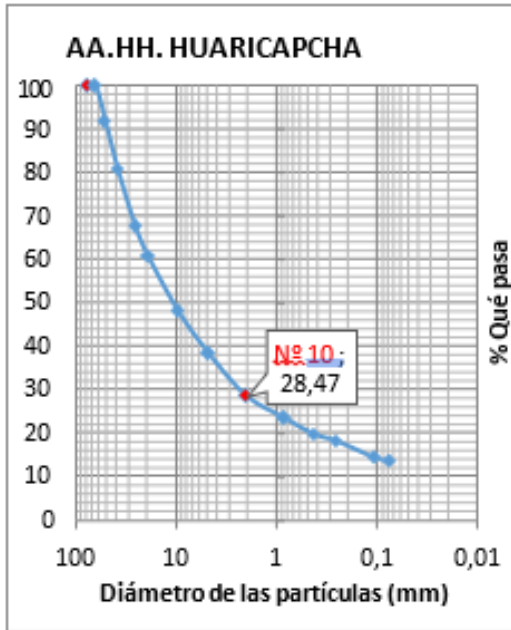
Gráfico 25 COMPARATIVO TAMIZ N° 4

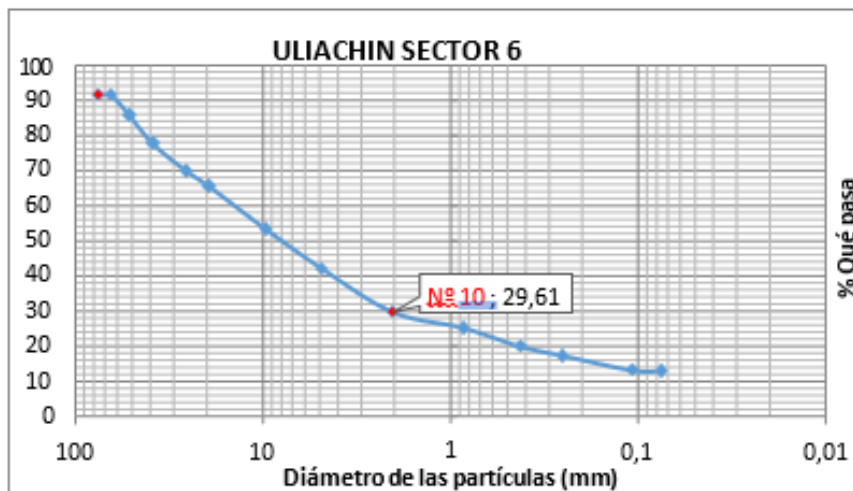
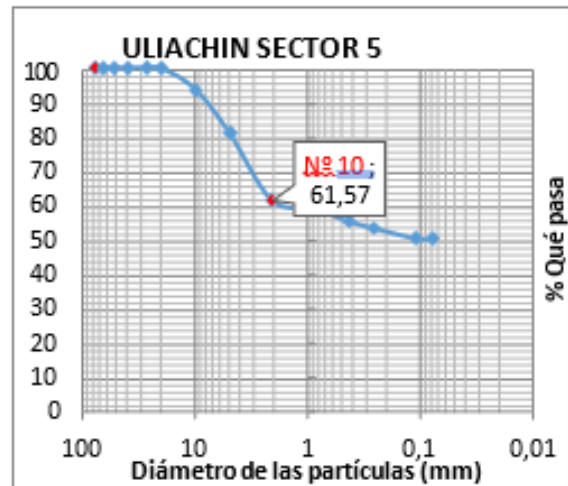
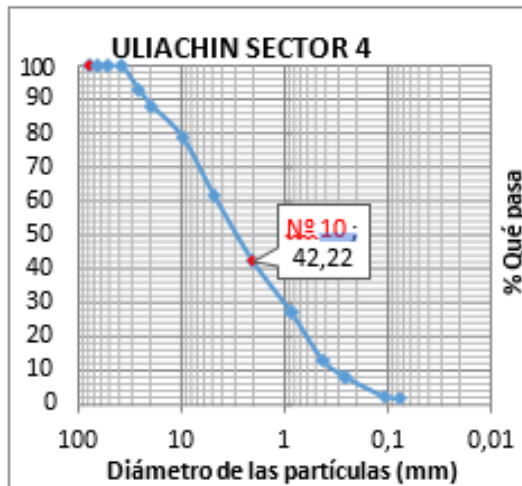
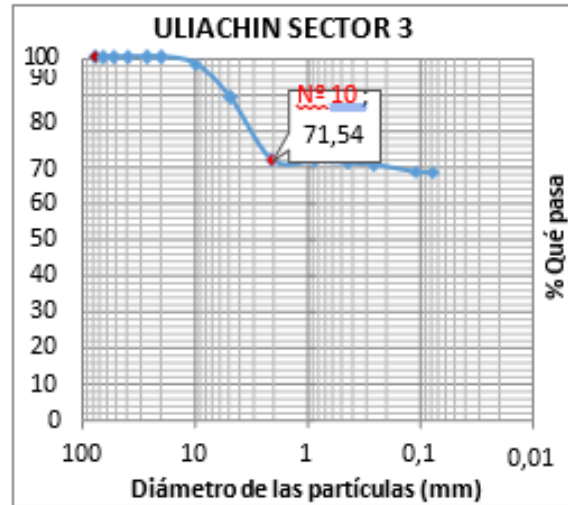
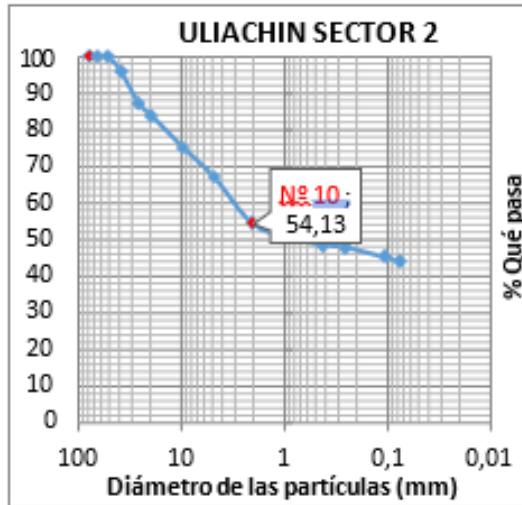


Serie de Gráficos 9. TAMIZ N° 10







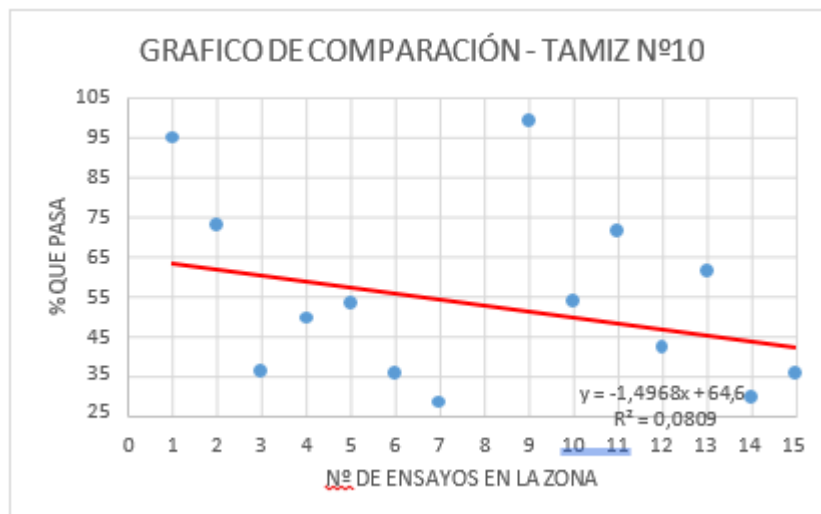


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 10 POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

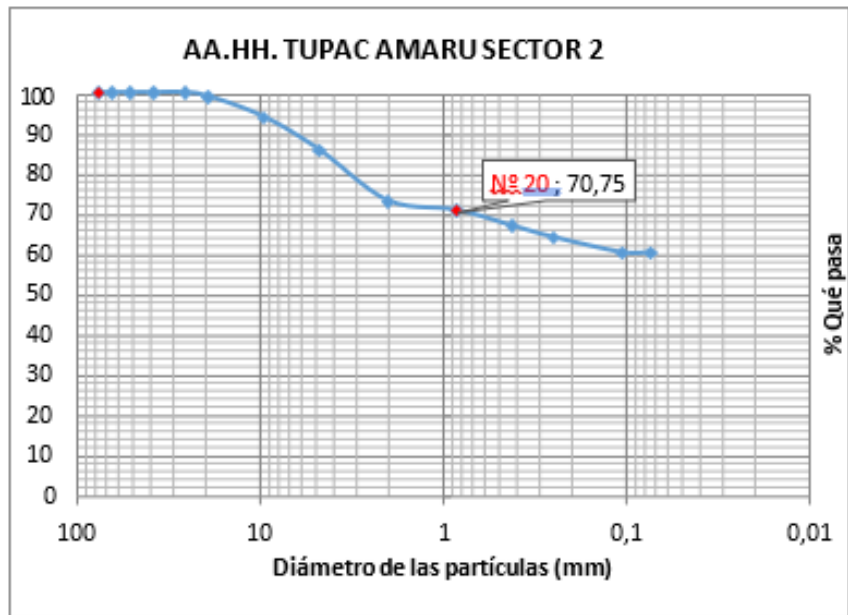
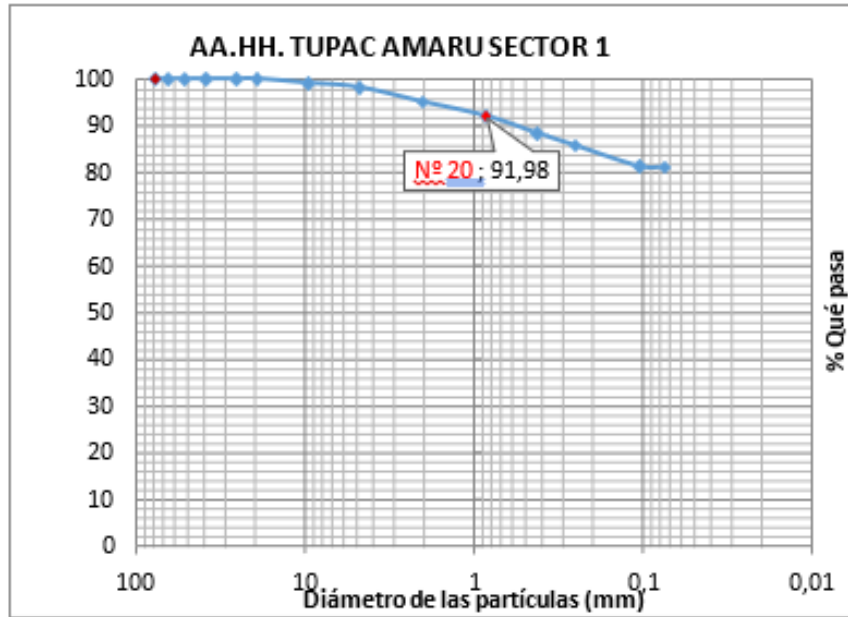
Tabla 16. COMPARATIVO TAMIZ N° 10

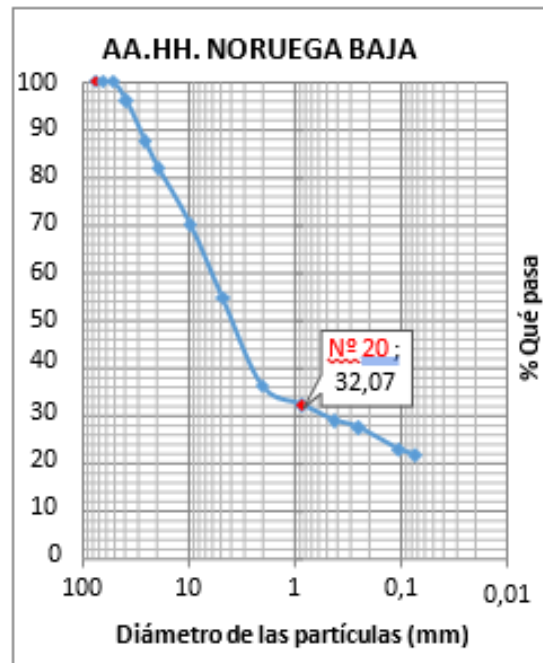
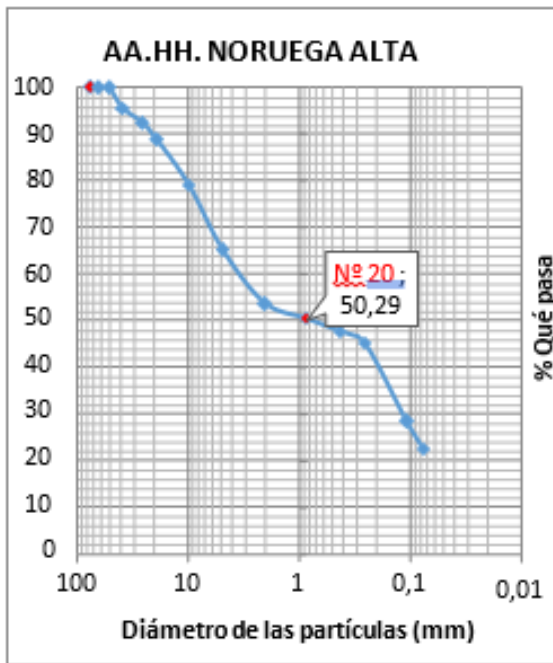
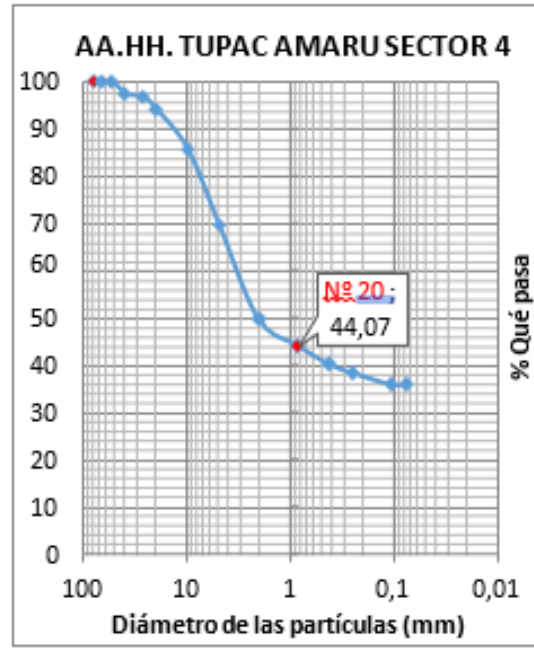
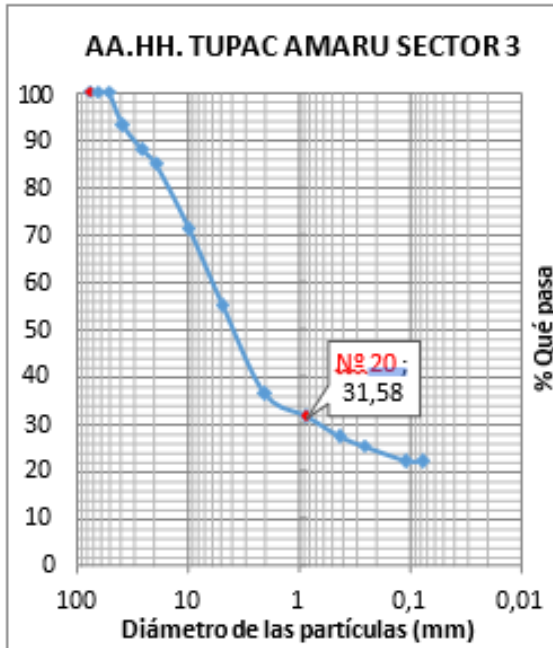
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	95,03
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	73,01
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	36,42
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	49,66
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	53,61
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	35,95
AA.HH. HUARICAPCHA	7	28,47
LA ESPERANZA	8	23,22
CERCADO CHAUPIMARCA	9	99,3
ULIACHIN SECTOR 1	10	54,13
ULIACHIN SECTOR 2	11	71,54
ULIACHIN SECTOR 3	12	42,22
ULIACHIN SECTOR 4	13	61,57
ULIACHIN SECTOR 5	14	29,61
ULIACHIN SECTOR 6	15	35,65

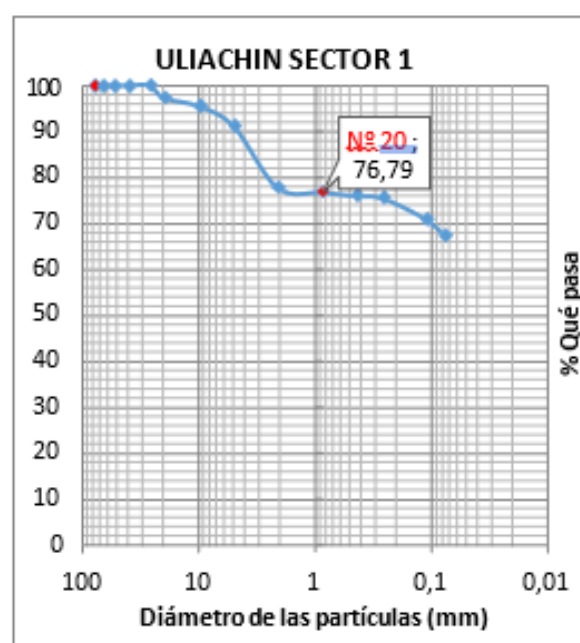
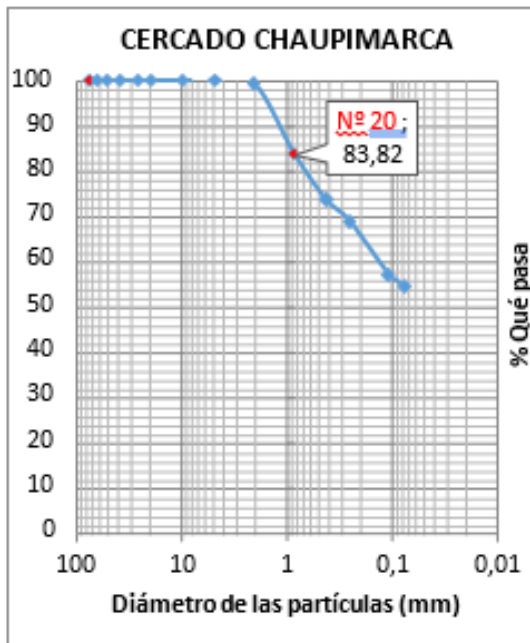
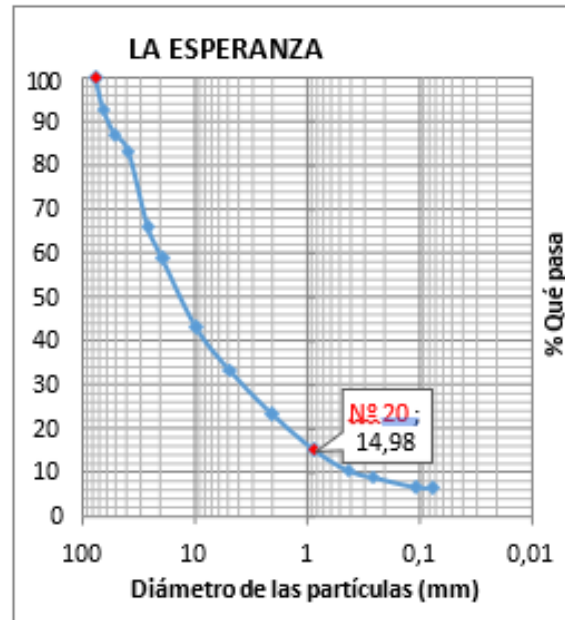
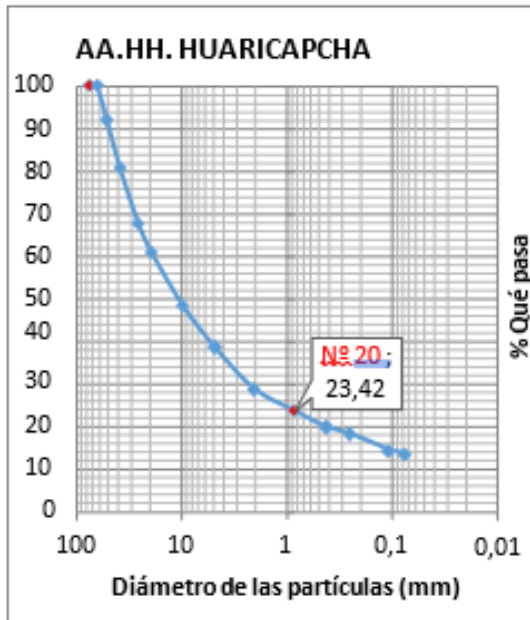
Gráfico 26. COMPARATIVO TAMIZ N° 10

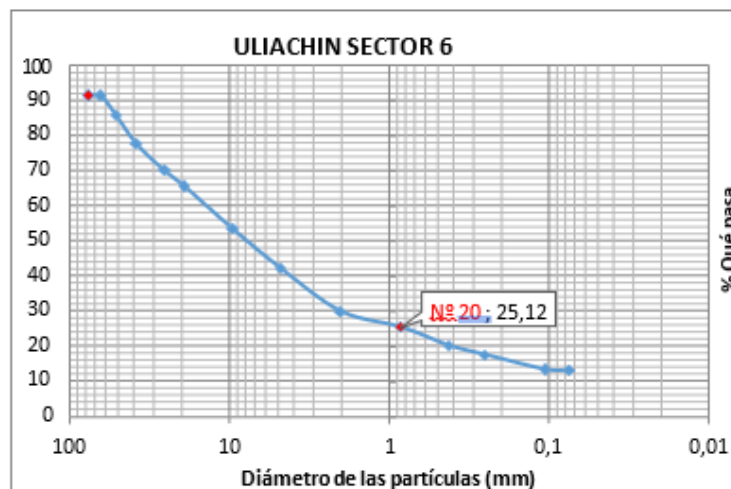
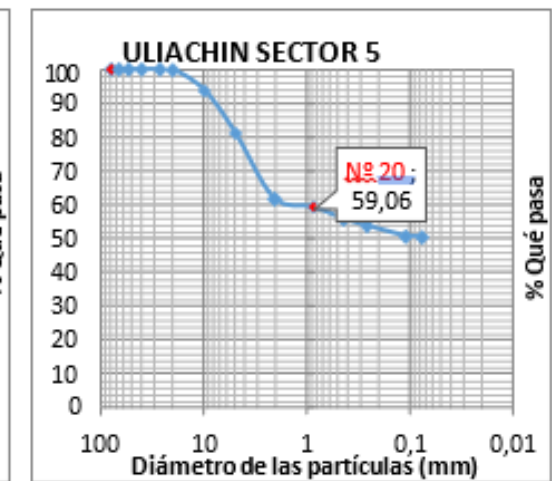
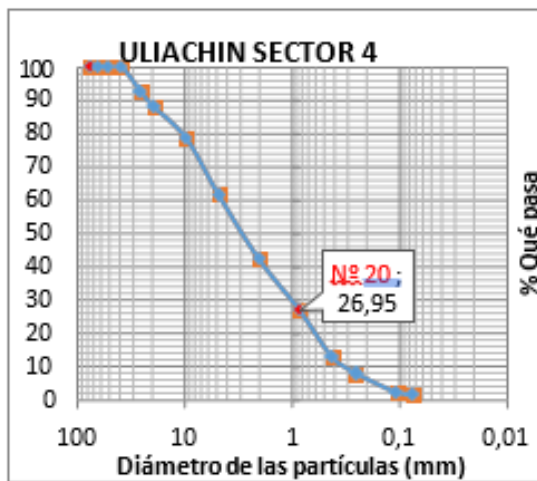
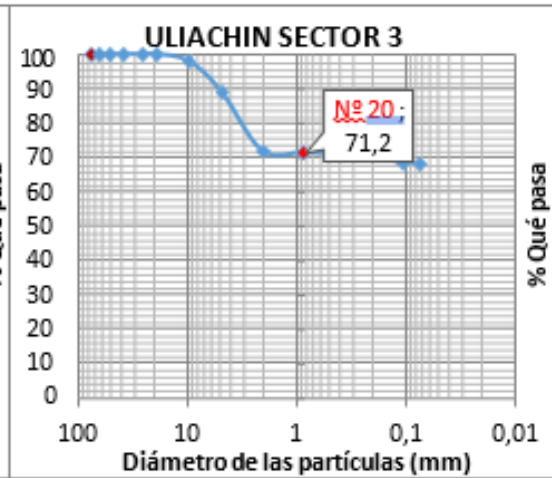
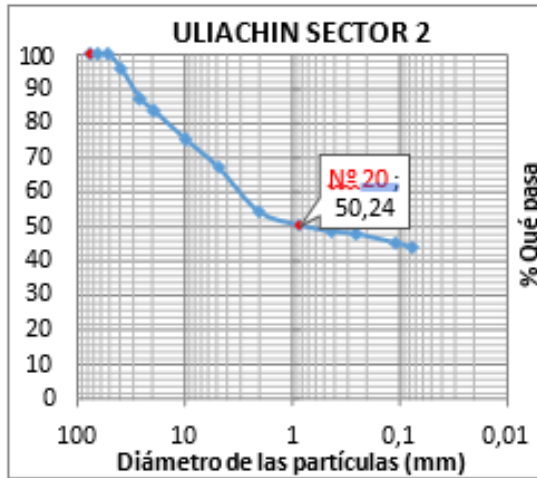


Serie de Gráficos 10. TAMIZ N°20







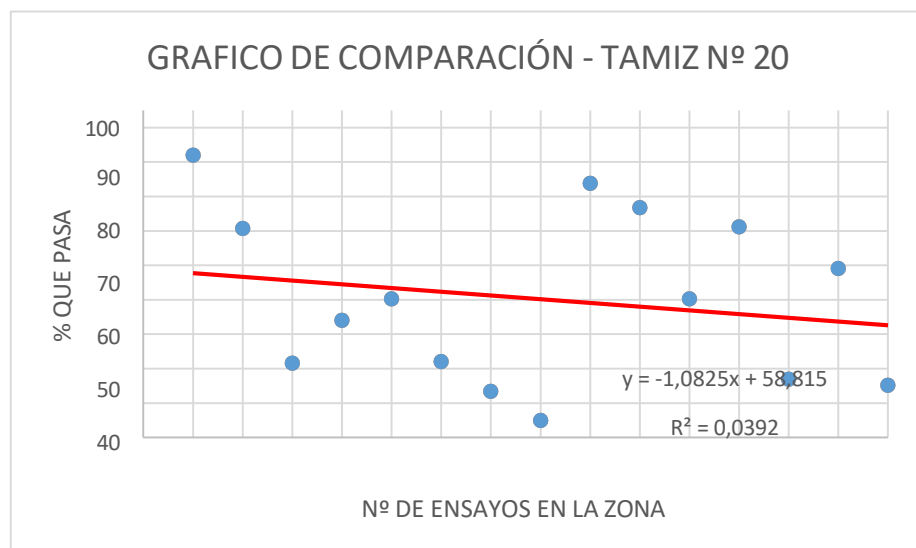


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 20 POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

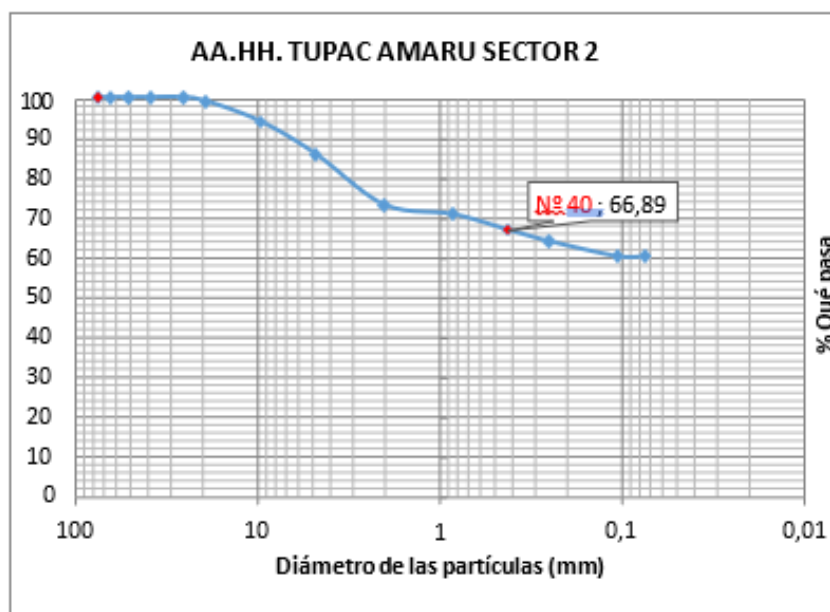
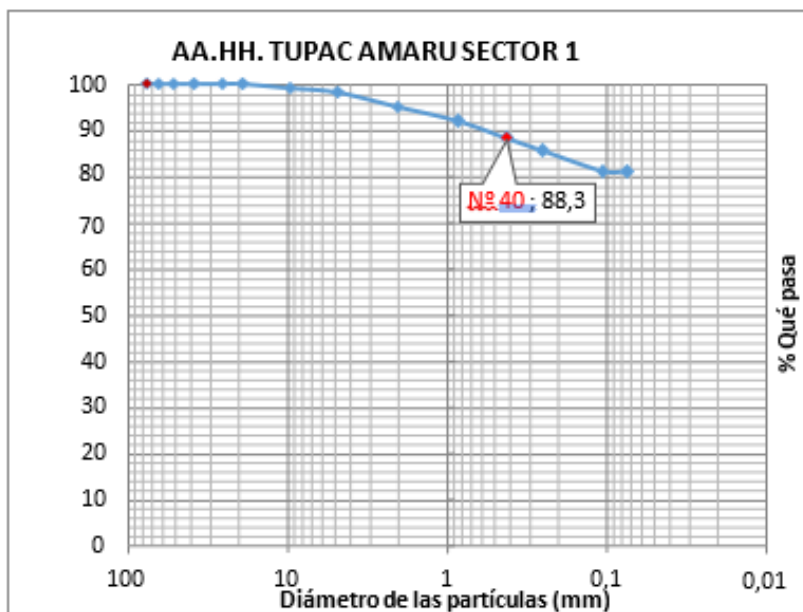
Tabla 17. COMPARATIVO TAMIZ N° 20

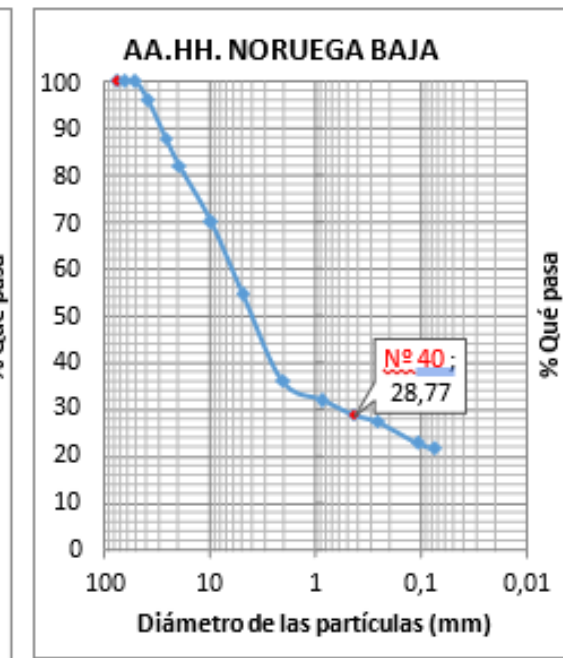
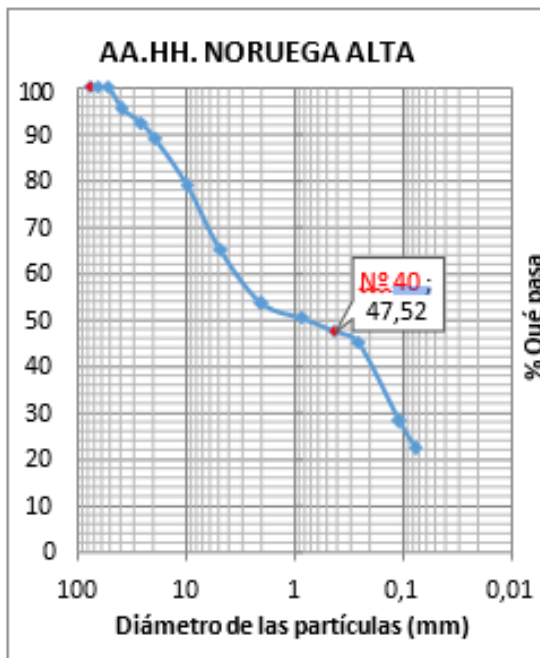
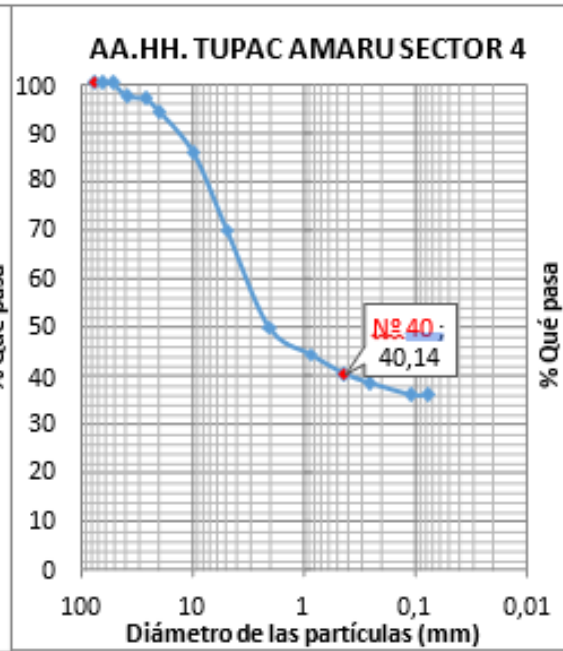
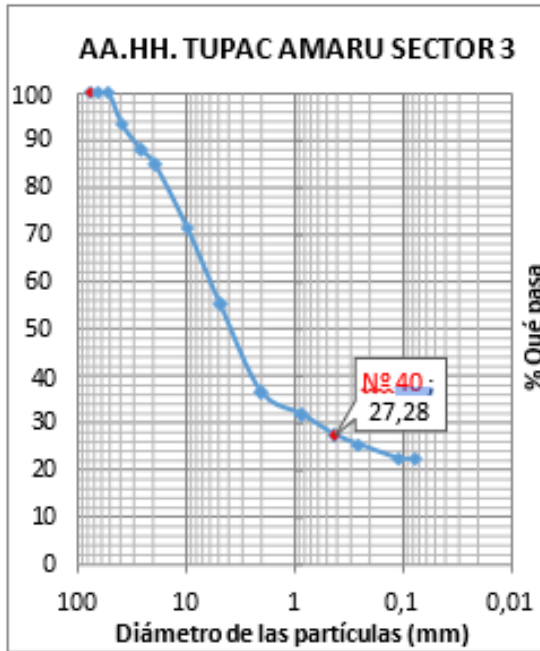
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	91,98
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	70,75
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	31,58
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	44,07
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	50,29
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	32,07
AA.HH. HUARICAPCHA	7	23,42
LA ESPERANZA	8	14,98
CERCADO CHAUPIMARCA	9	83,82
ULIACHIN SECTOR 1	10	76,79
ULIACHIN SECTOR 2	11	50,24
ULIACHIN SECTOR 3	12	71,2
ULIACHIN SECTOR 4	13	26,95
ULIACHIN SECTOR 5	14	59,06
ULIACHIN SECTOR 6	15	25,12

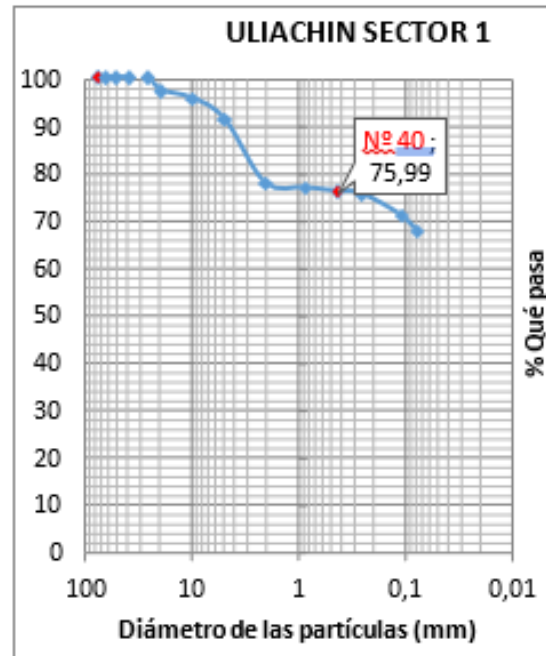
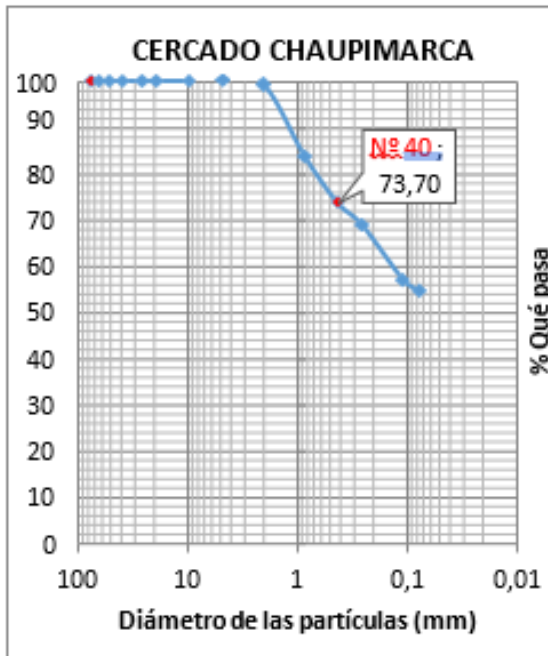
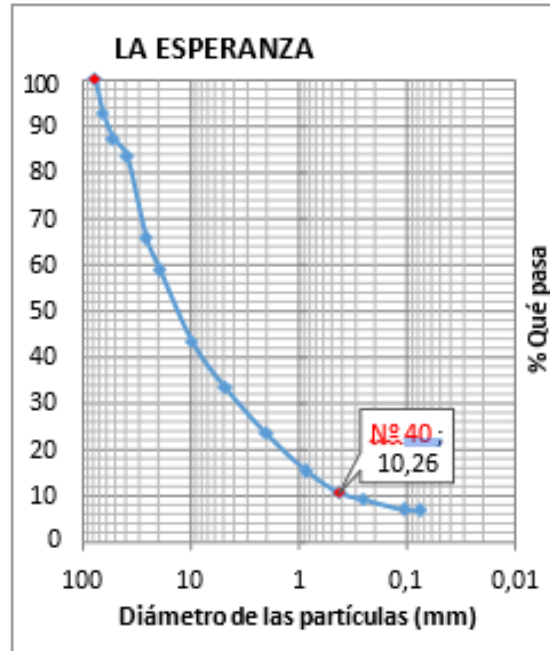
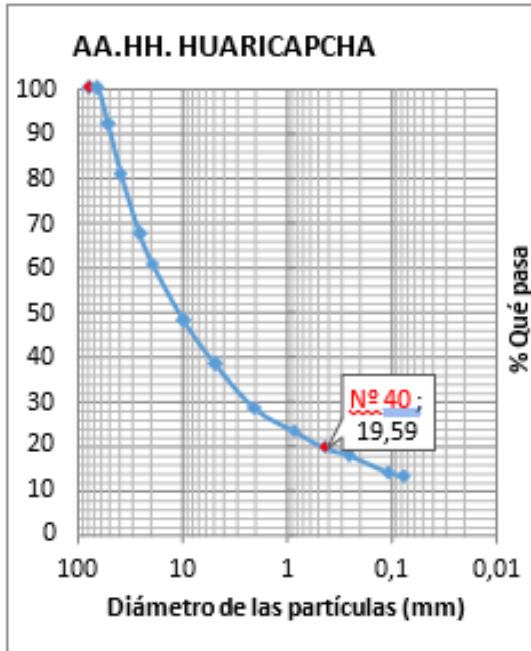
Gráfico 27. COMPARATIVO TAMIZ N° 20

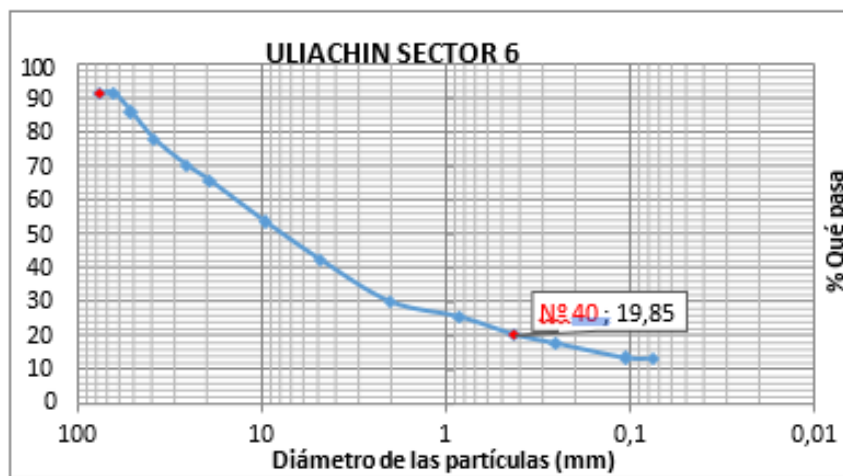
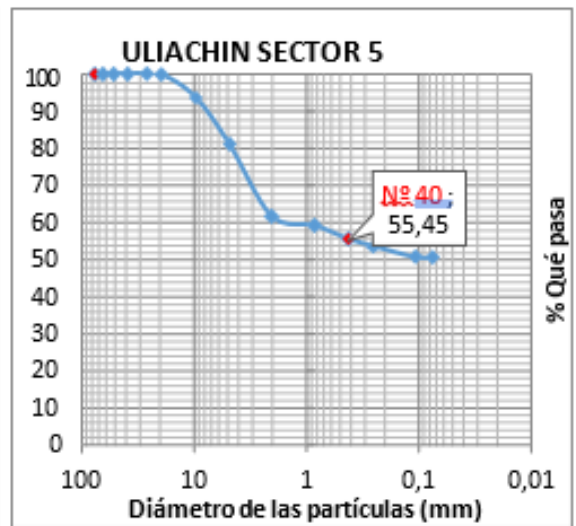
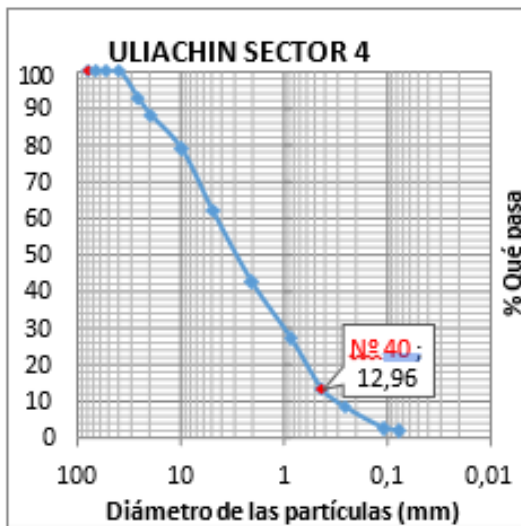
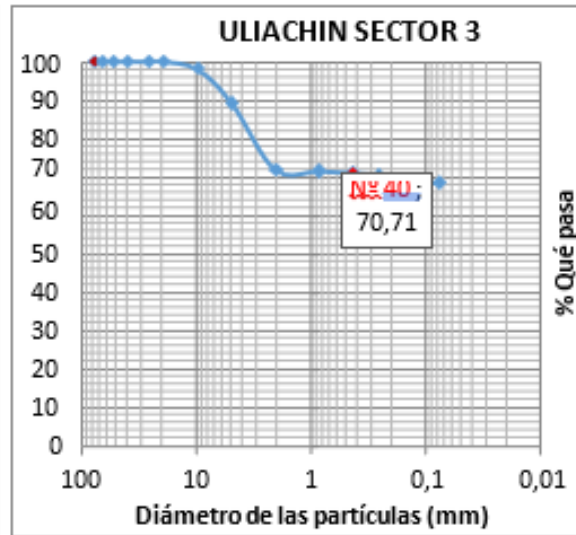
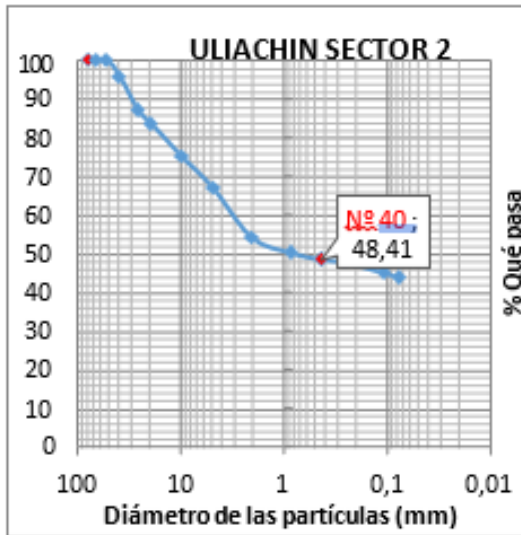


Serie de Gráficos 11. TAMIZ N°40







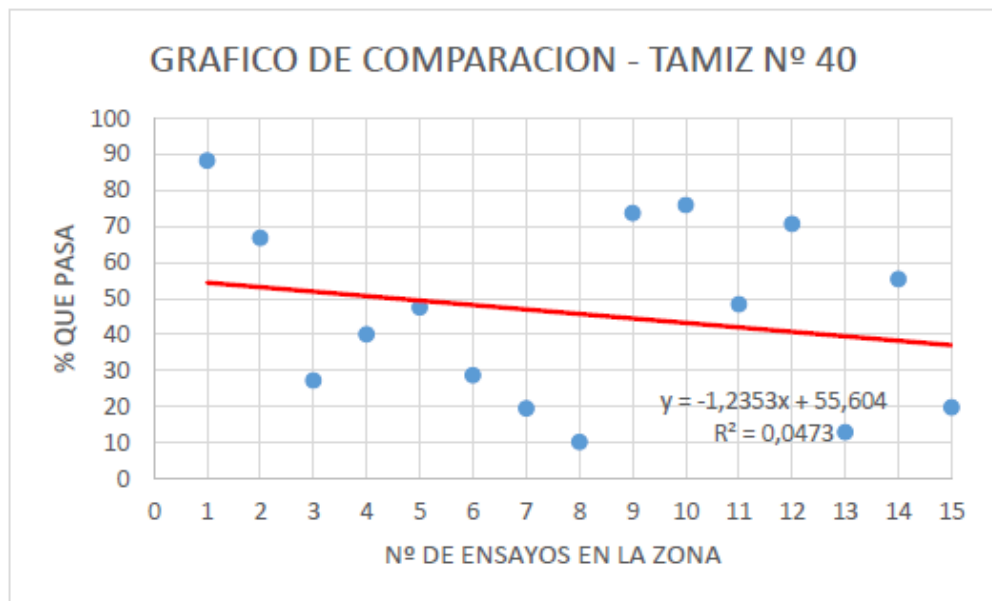


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 40 POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

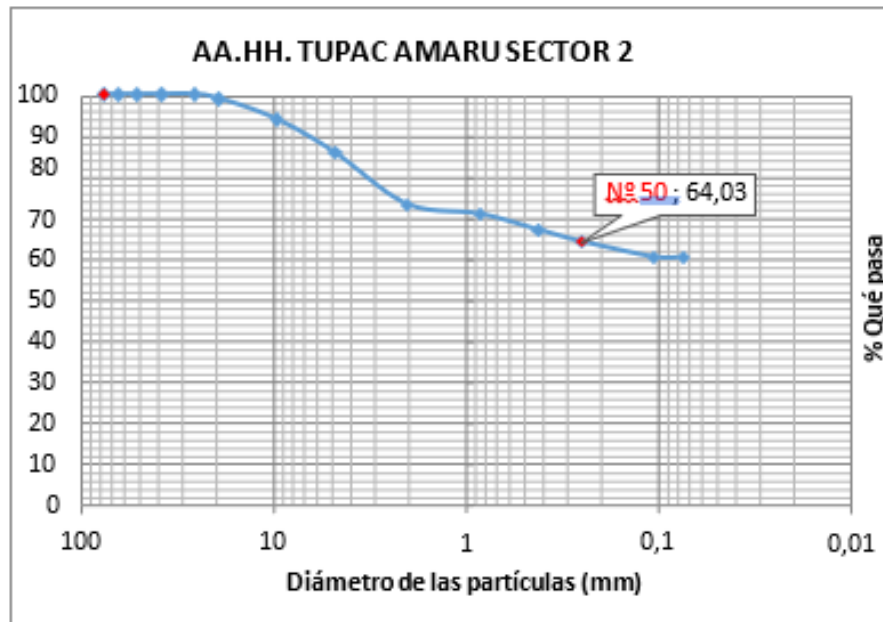
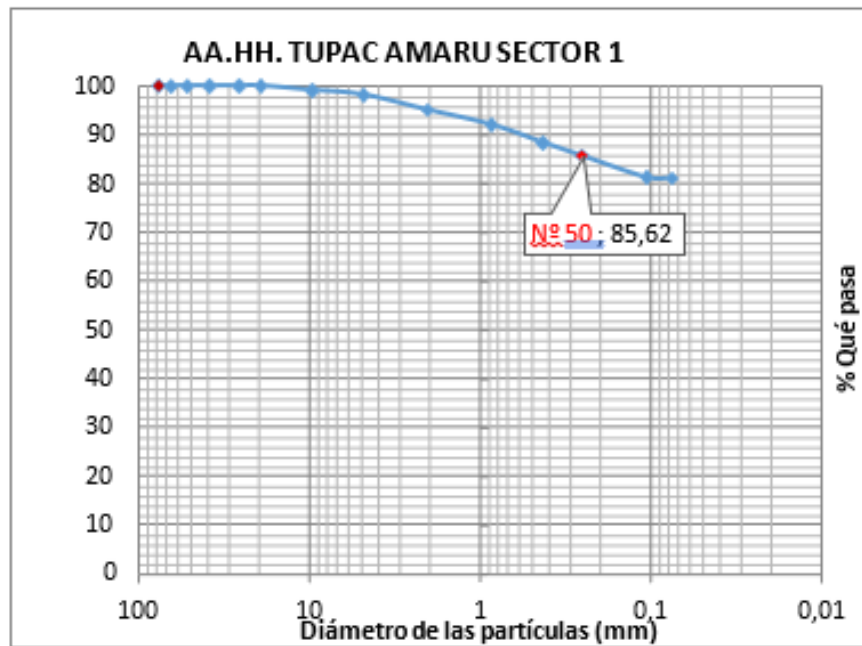
Tabla 18. COMPARATIVO TAMIZ N° 40

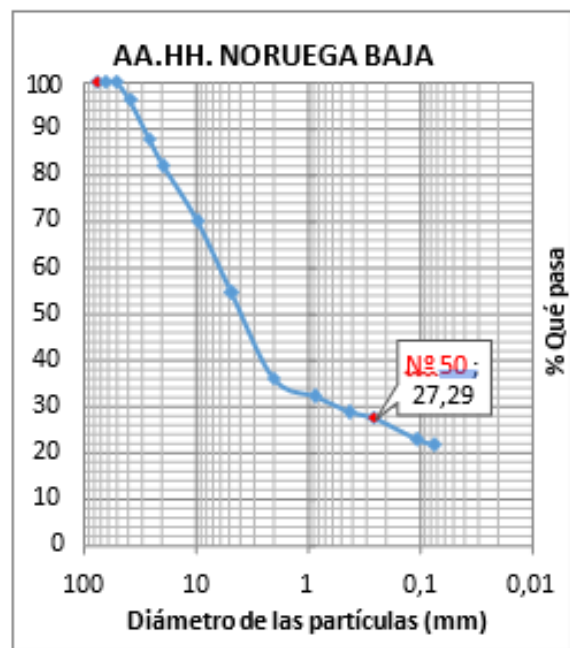
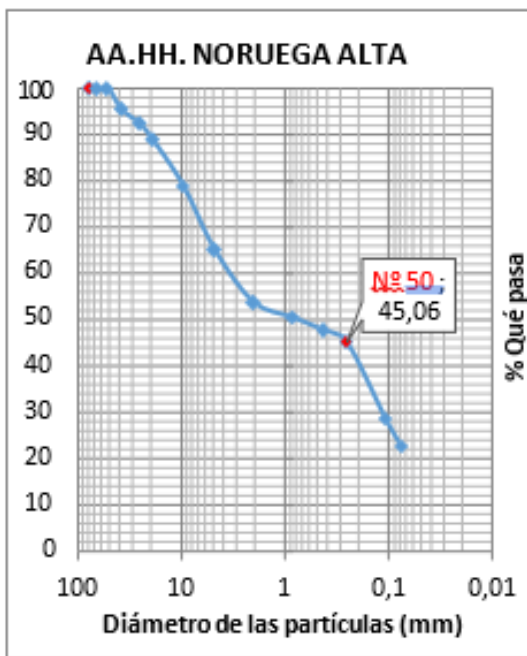
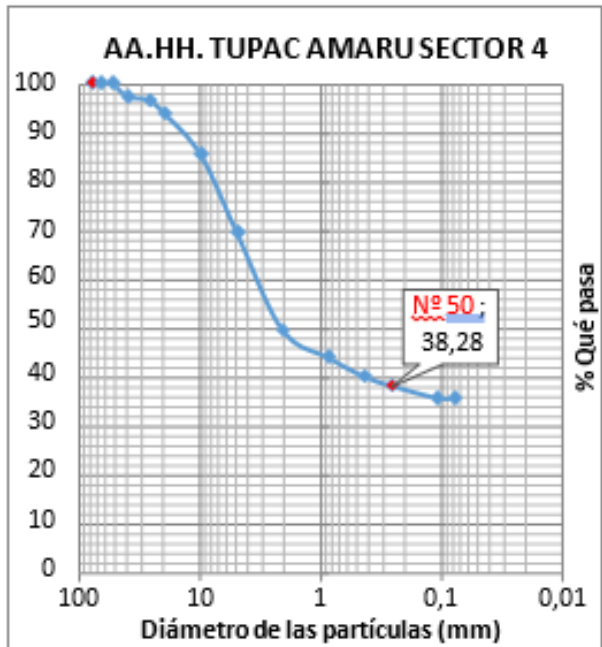
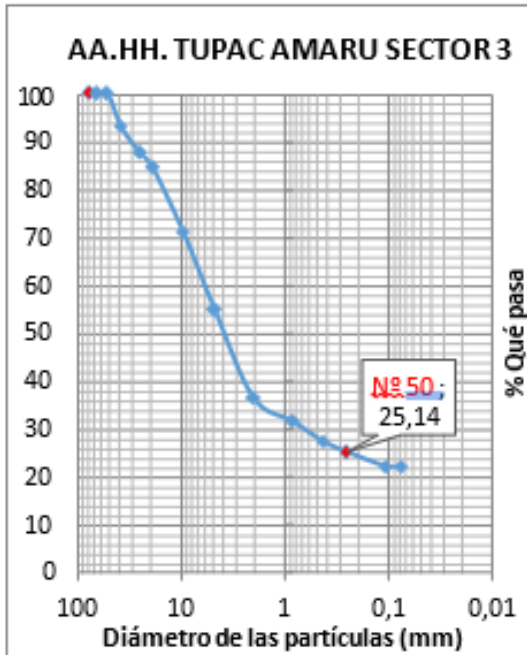
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	88,3
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	66,89
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	27,28
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	40,14
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	47,52
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	28,77
AA.HH. HUARICAPCHA	7	19,59
LA ESPERANZA	8	10,26
CERCADO CHAUPIMARCA	9	73,7
ULIACHIN SECTOR 1	10	75,99
ULIACHIN SECTOR 2	11	48,41
ULIACHIN SECTOR 3	12	70,71
ULIACHIN SECTOR 4	13	12,96
ULIACHIN SECTOR 5	14	55,45
ULIACHIN SECTOR 6	15	19,85

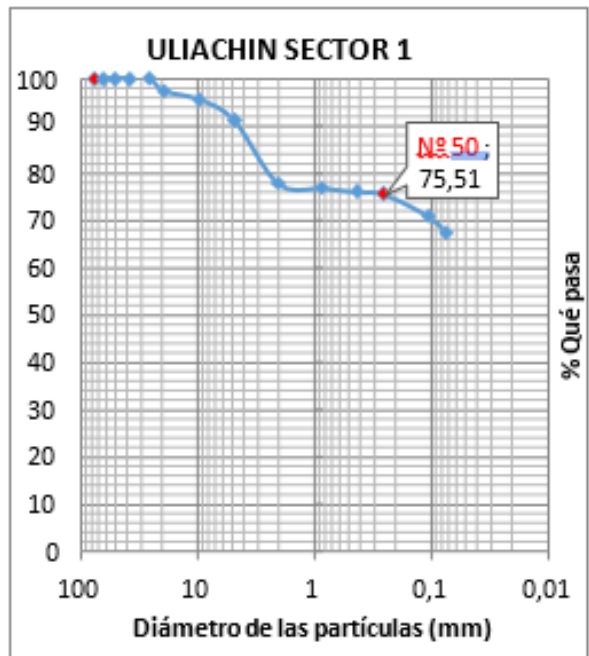
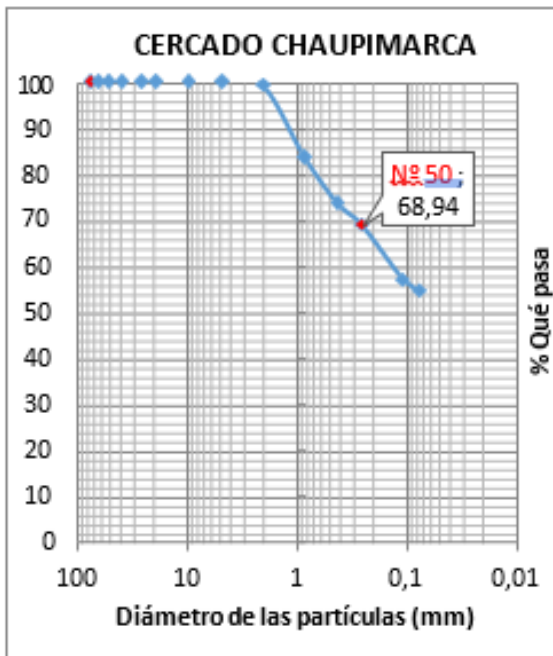
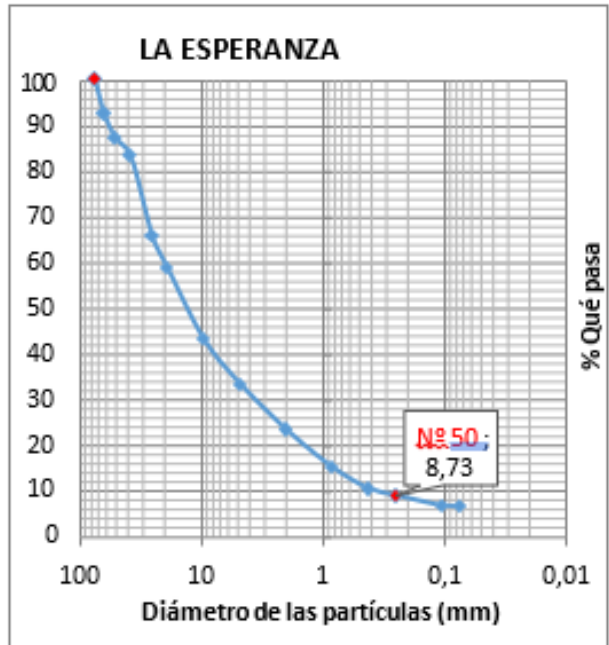
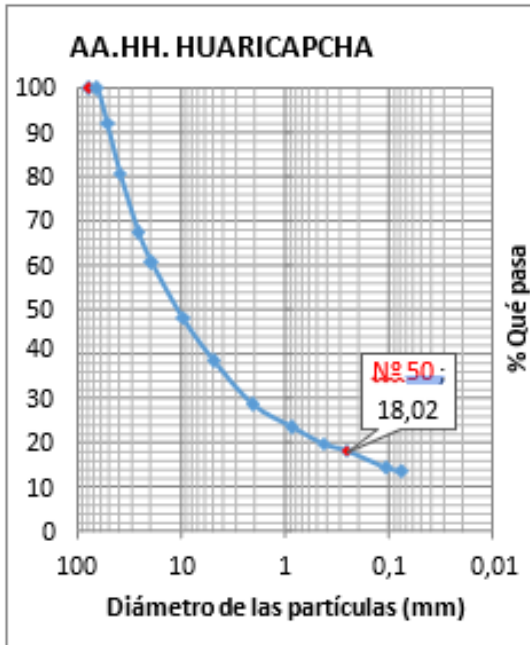
Gráfico 28. COMPARATIVO TAMIZ N° 40

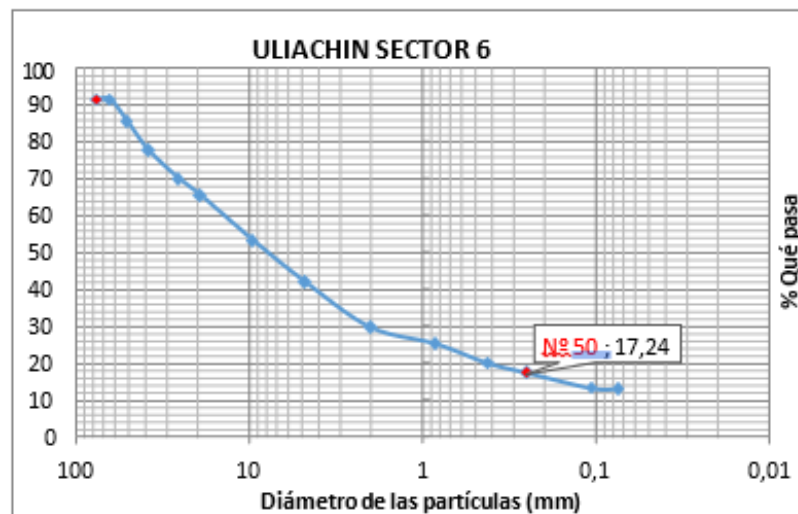
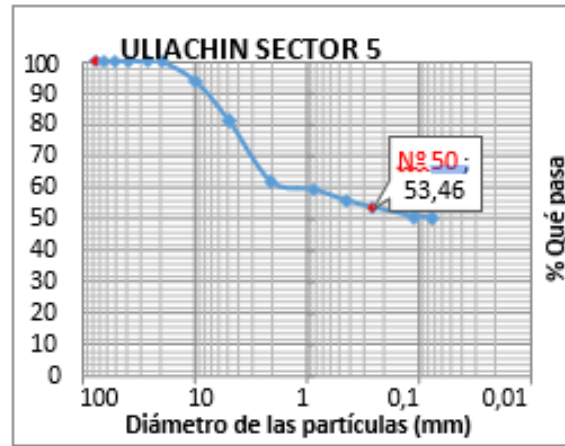
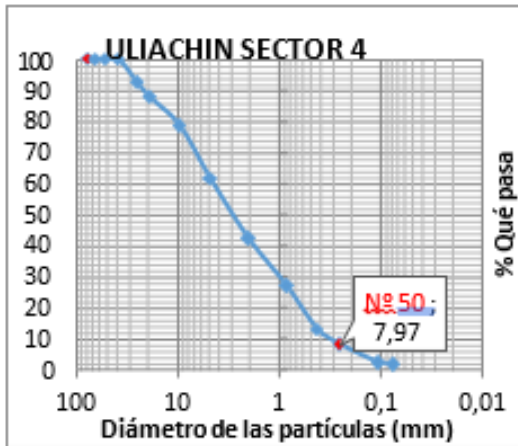
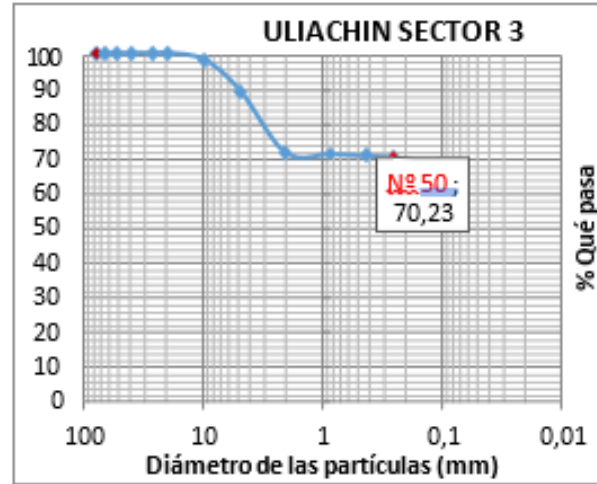
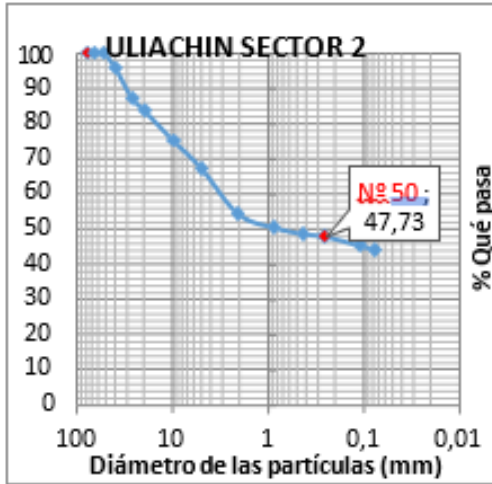


Serie de Gráficos 12. TAMIZ N°50







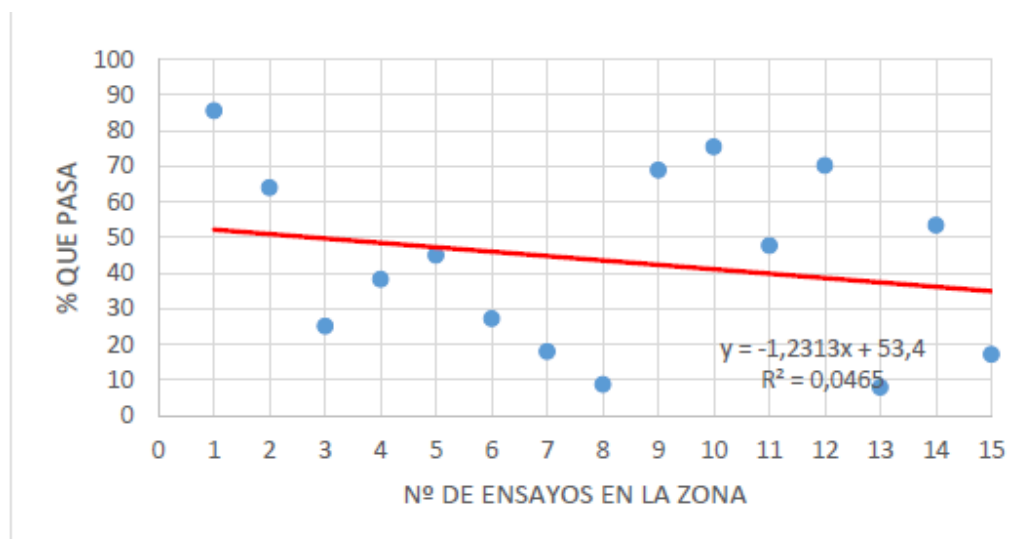


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 50 POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

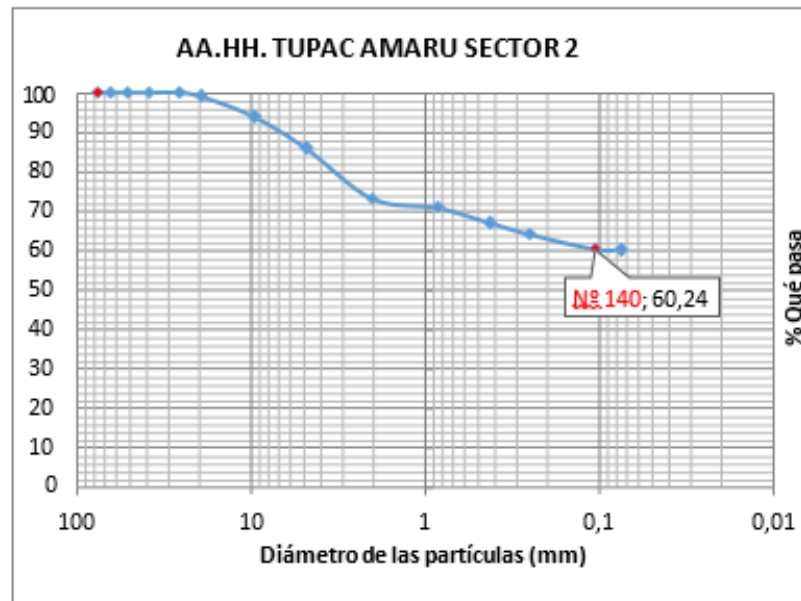
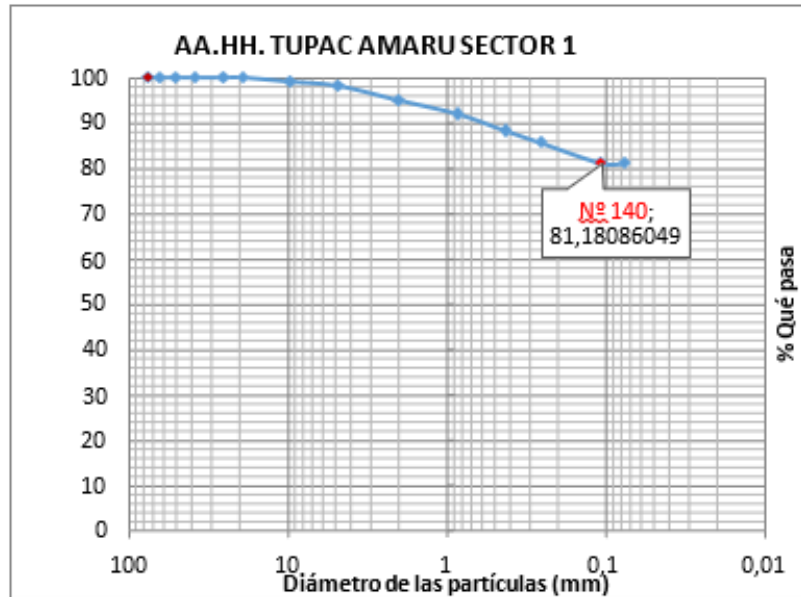
Tabla 19. COMPARATIVO TAMIZ N° 50

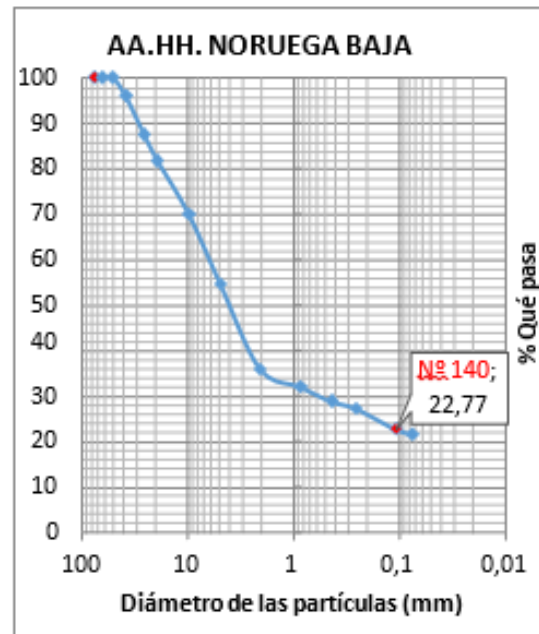
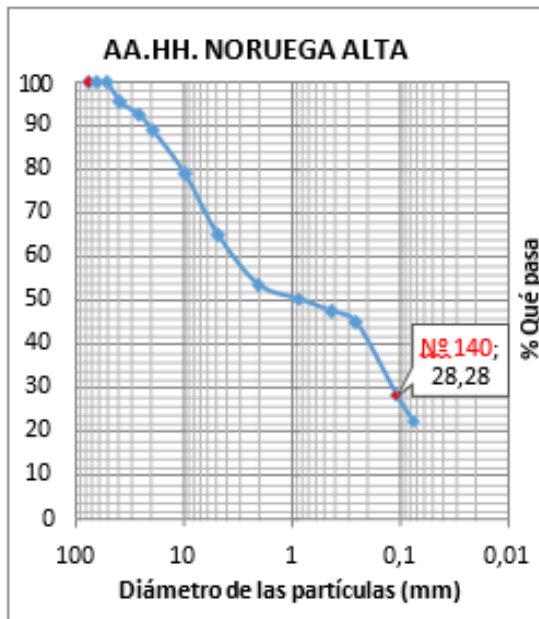
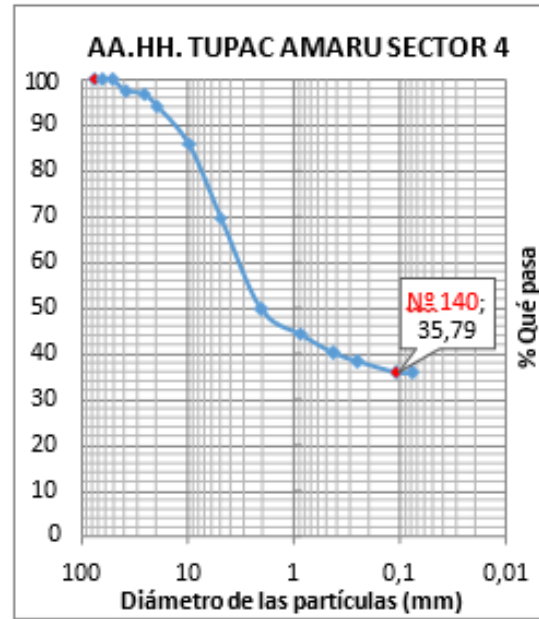
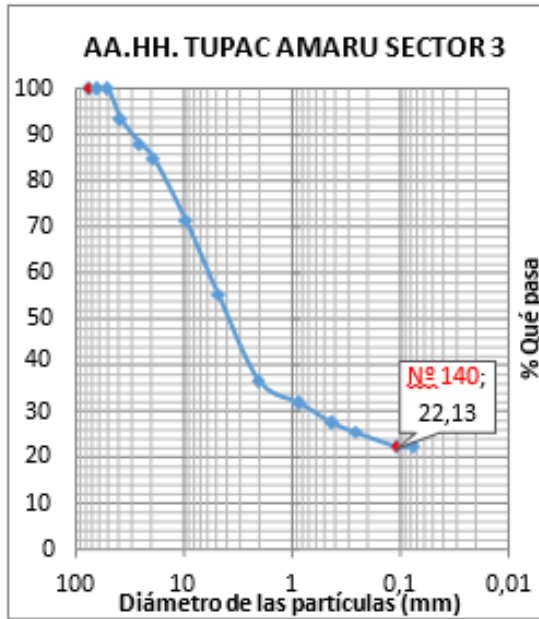
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	85,62
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	64,03
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	25,14
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	38,28
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	45,06
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	27,29
AA.HH. HUARICAPCHA	7	18,02
LA ESPERANZA	8	8,73
CERCADO CHAUPIMARCA	9	68,94
ULIACHIN SECTOR 1	10	75,51
ULIACHIN SECTOR 2	11	47,73
ULIACHIN SECTOR 3	12	70,23
ULIACHIN SECTOR 4	13	7,97
ULIACHIN SECTOR 5	14	53,46
ULIACHIN SECTOR 6	15	17,24

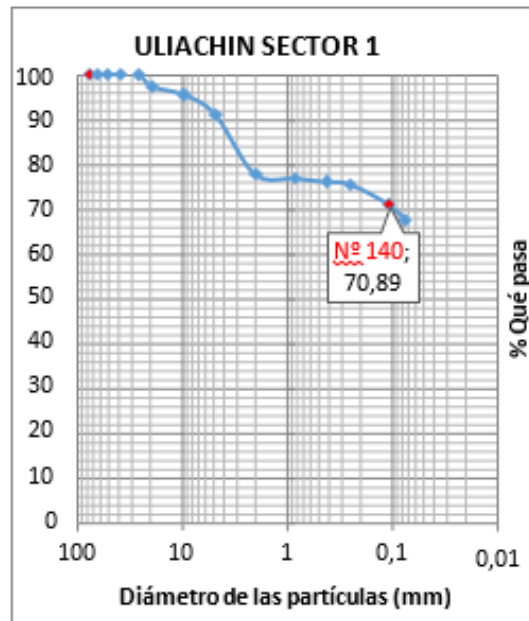
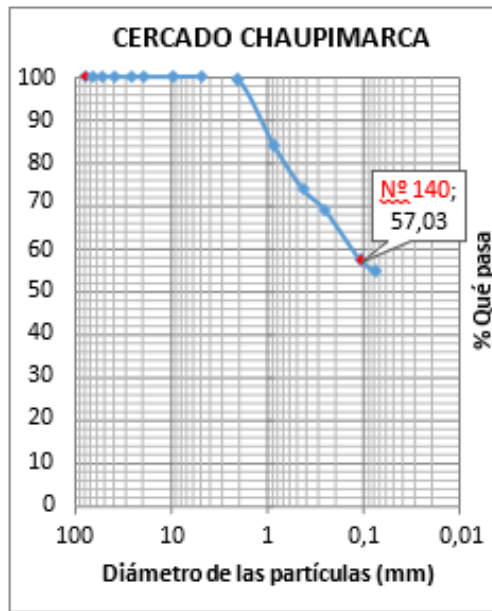
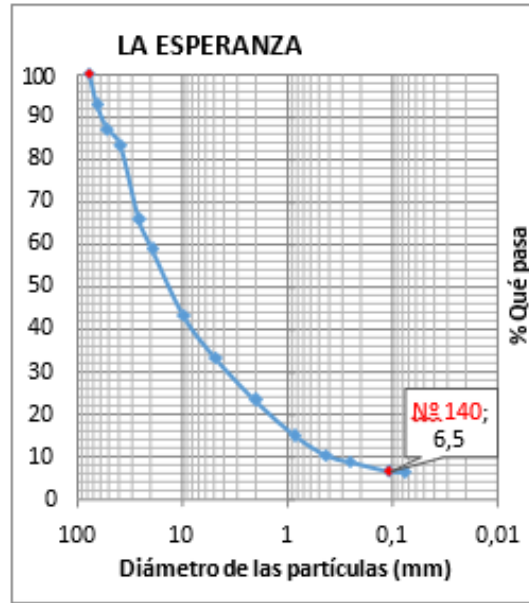
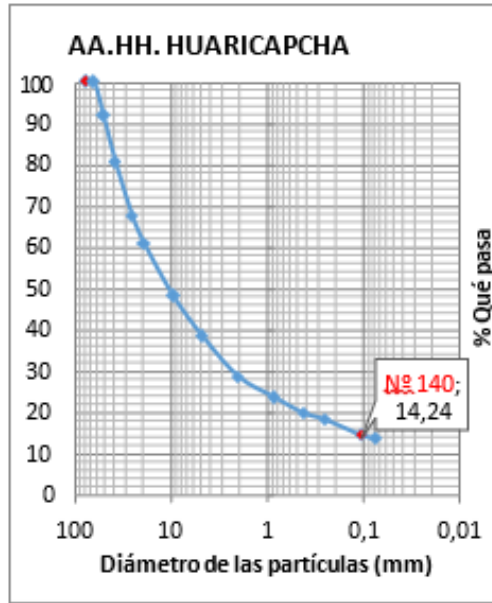
Gráfico 29. COMPARATIVO TAMIZ N.º 50

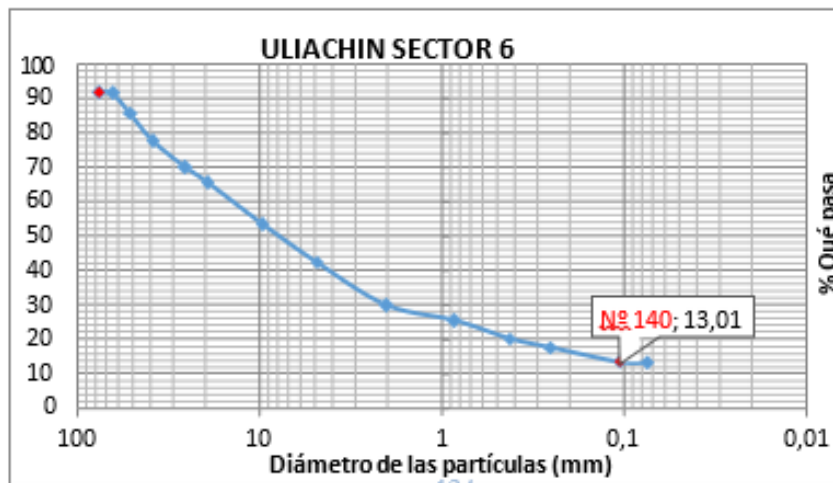
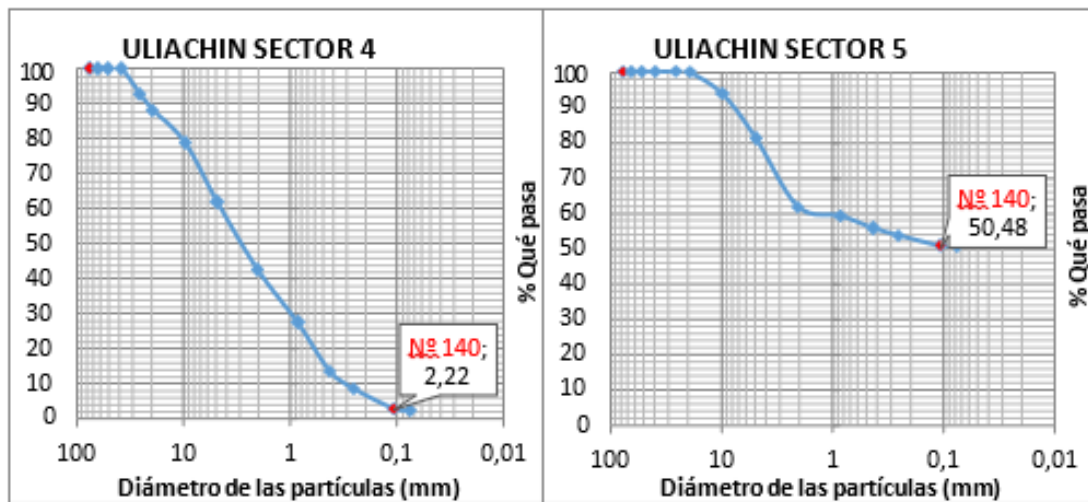
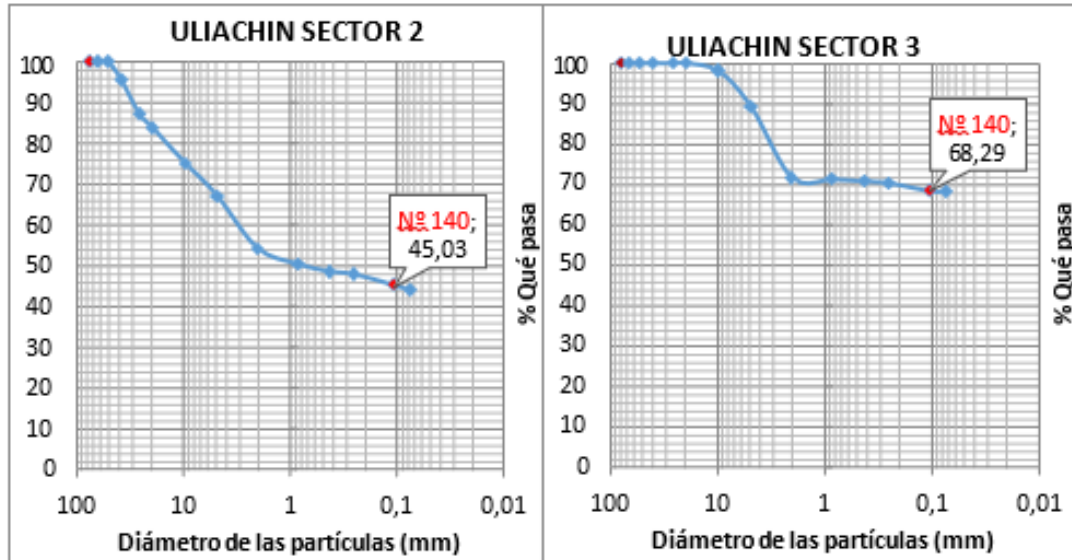


Serie de Gráficos 13. TAMIZ N°140







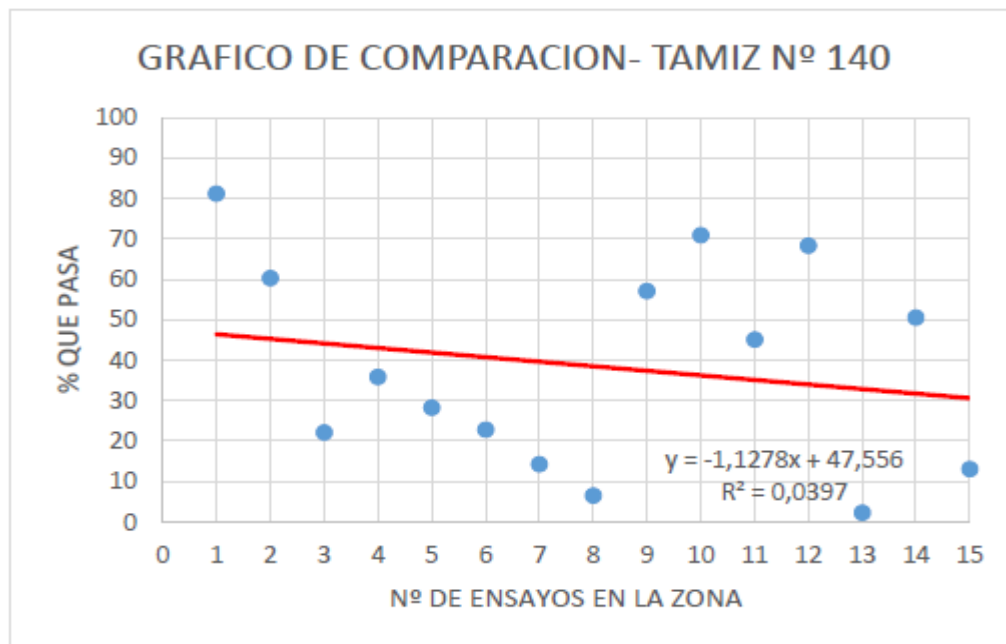


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 140 POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

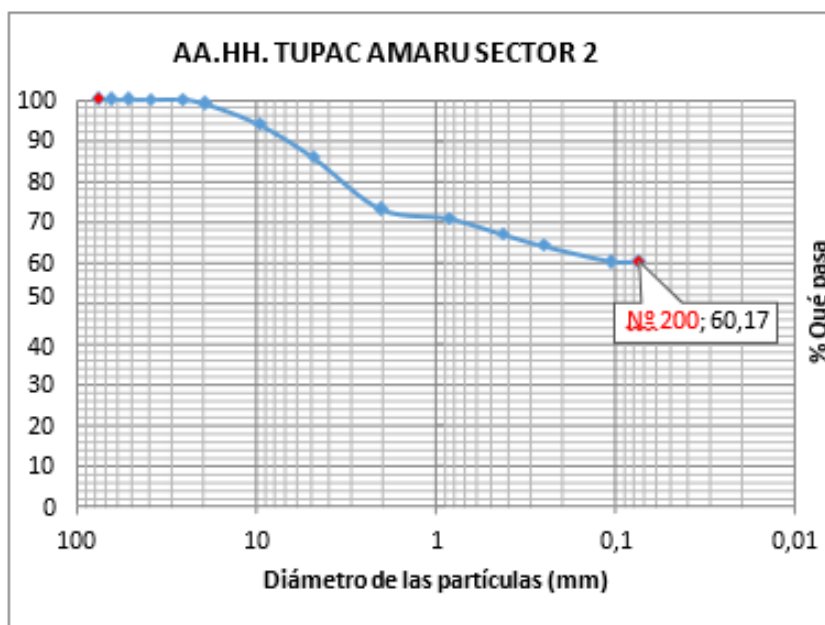
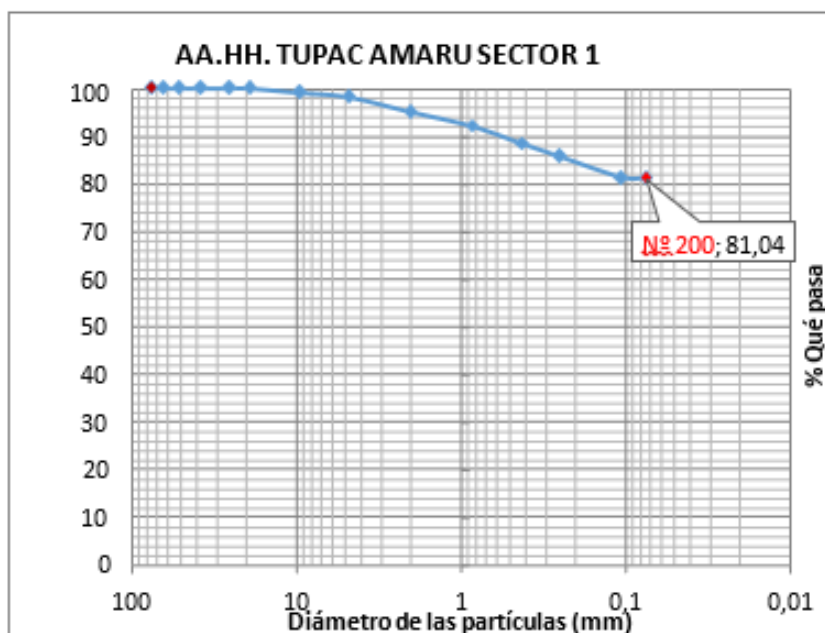
Tabla 20. COMPARATIVO TAMIZ N° 140

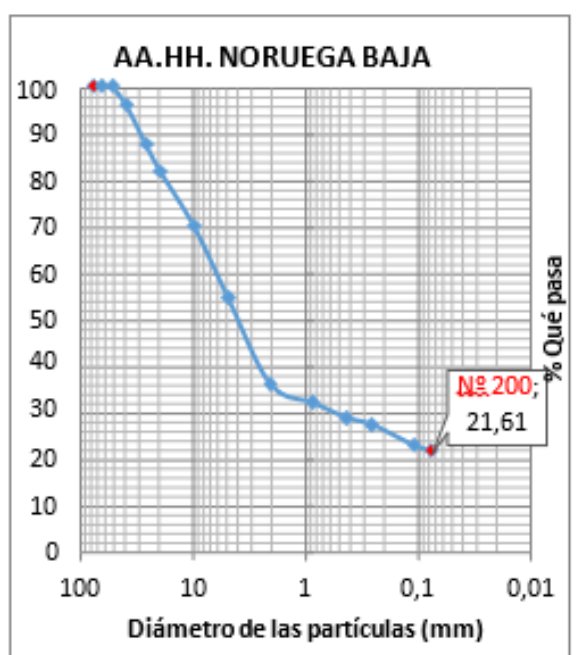
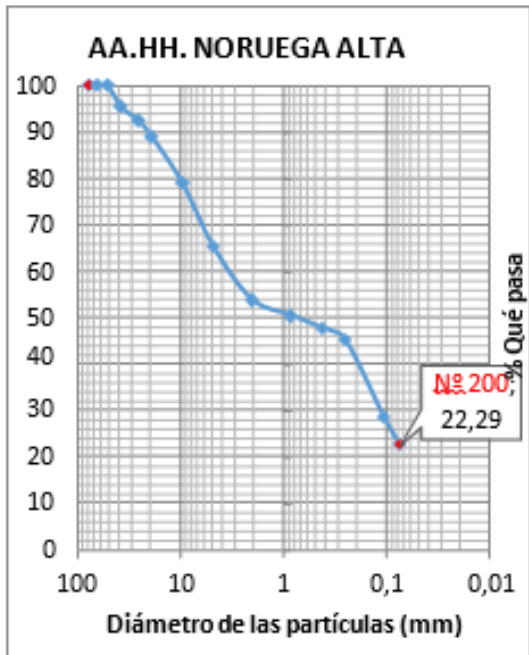
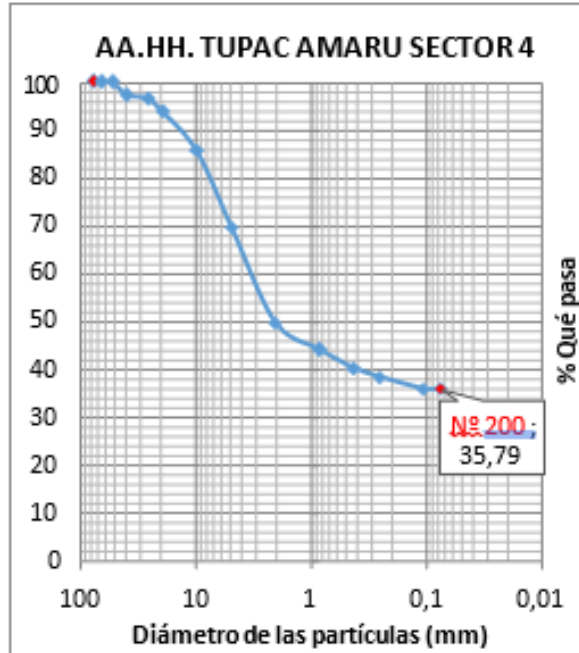
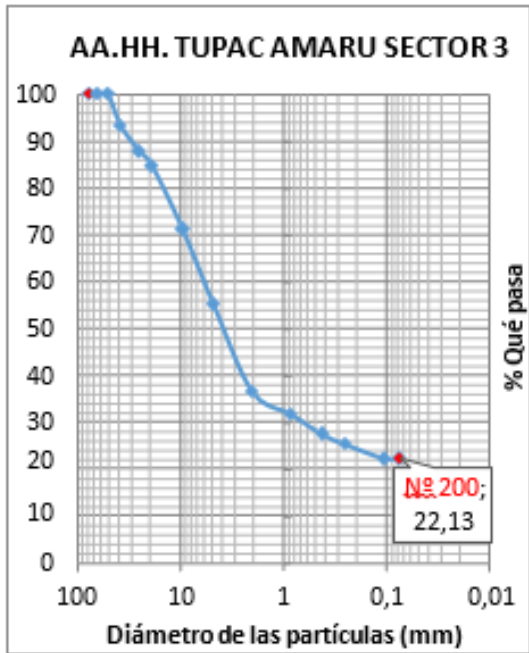
ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	81,18
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	60,24
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	22,13
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	35,79
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	28,2
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	22,77
AA.HH. HUARICAPCHA	7	14,24
LA ESPERANZA	8	6,5
CERCADO CHAUPIMARCA	9	57,03
ULIACHIN SECTOR 1	10	70,89
ULIACHIN SECTOR 2	11	45,03
ULIACHIN SECTOR 3	12	68,29
ULIACHIN SECTOR 4	13	2,22
ULIACHIN SECTOR 5	14	50,48
ULIACHIN SECTOR 6	15	13,01

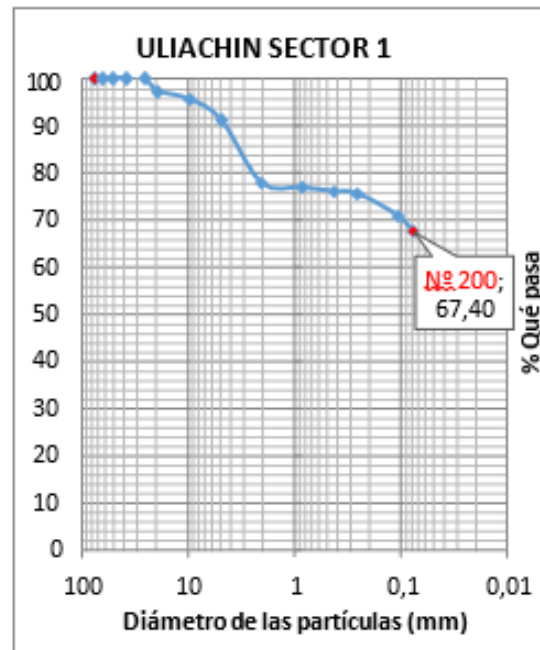
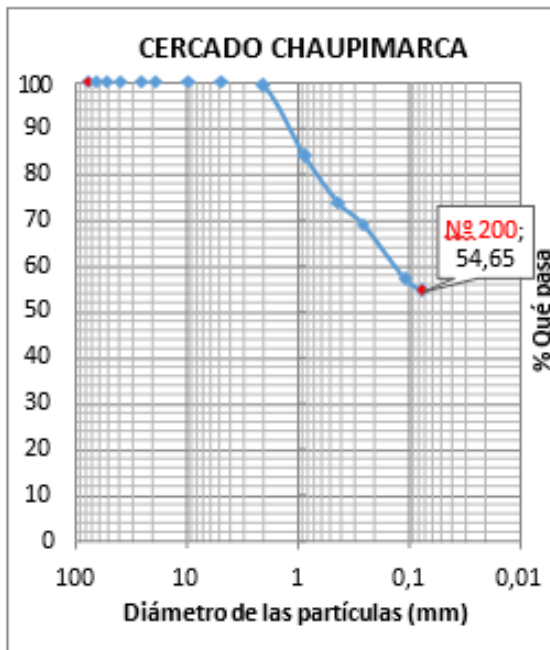
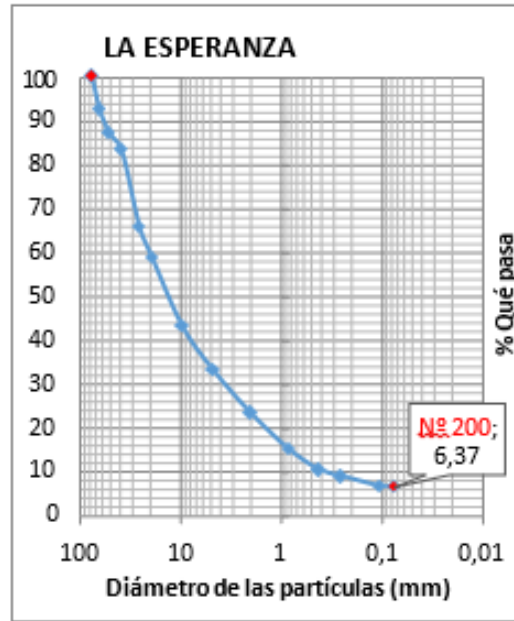
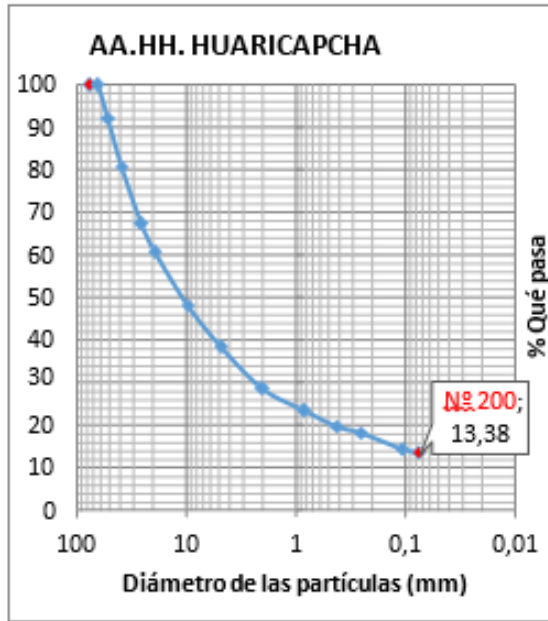
Gráfico 30. COMPARATIVO TAMIZ N° 140

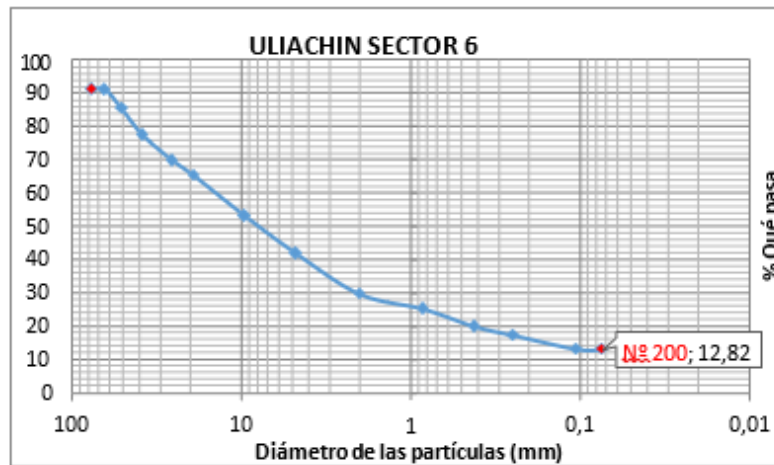
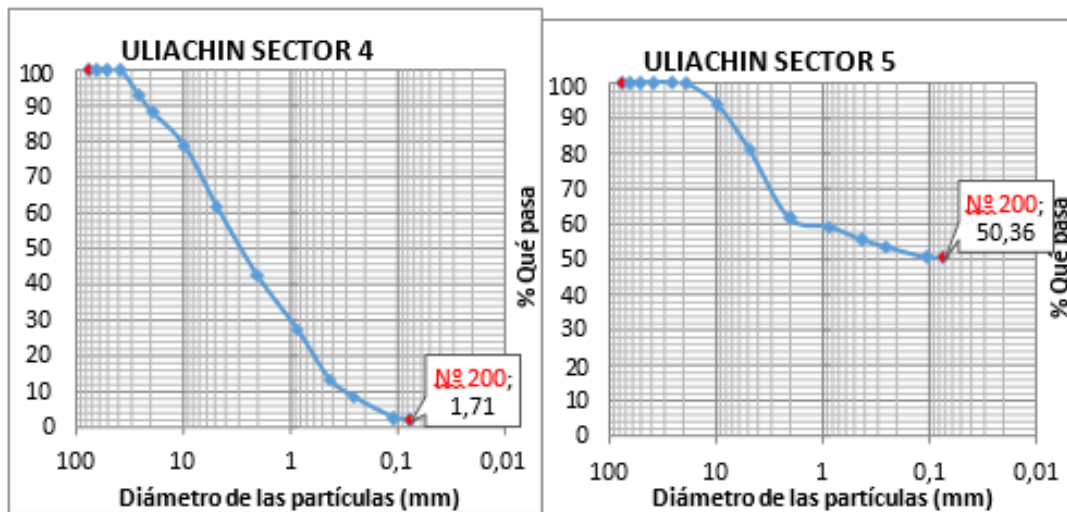
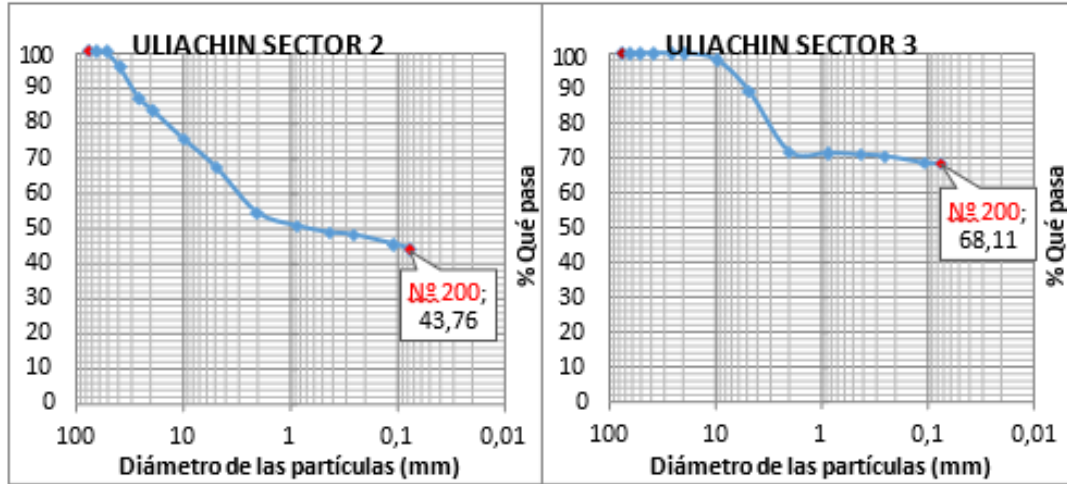


Serie de Gráficos 14. TAMIZ N°200







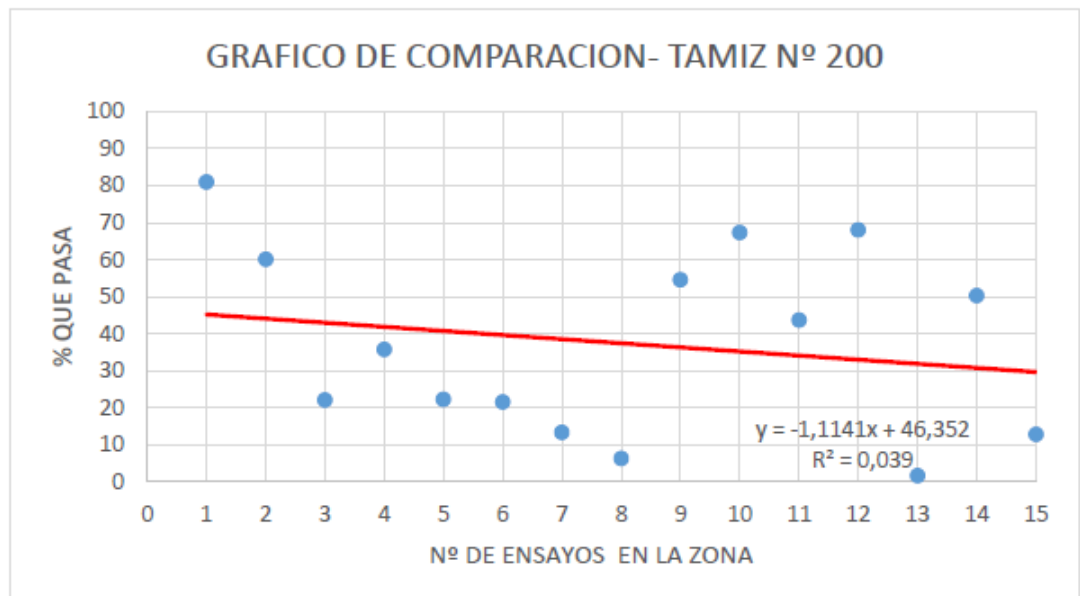


**GRAFICO COMPARATIVO DE REFERENCIA TAMIZ N° 200 POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

Tabla 21. COMPARATIVO TAMIZ N° 200

ZONA	N° DE ENSAYO	% PASA
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	81,04
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	60,17
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	22,13
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	35,79
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	22,29
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	21,61
AA.HH. HUARICAPCHA	7	13,38
LA ESPERANZA	8	6,37
CERCADO CHAUPIMARCA	9	54,65
ULIACHIN SECTOR 1	10	67,4
ULIACHIN SECTOR 2	11	43,76
ULIACHIN SECTOR 3	12	68,11
ULIACHIN SECTOR 4	13	1,71
ULIACHIN SECTOR 5	14	50,36
ULIACHIN SECTOR 6	15	12,82

Gráfico 31. COMPARATIVO TAMIZ N° 200

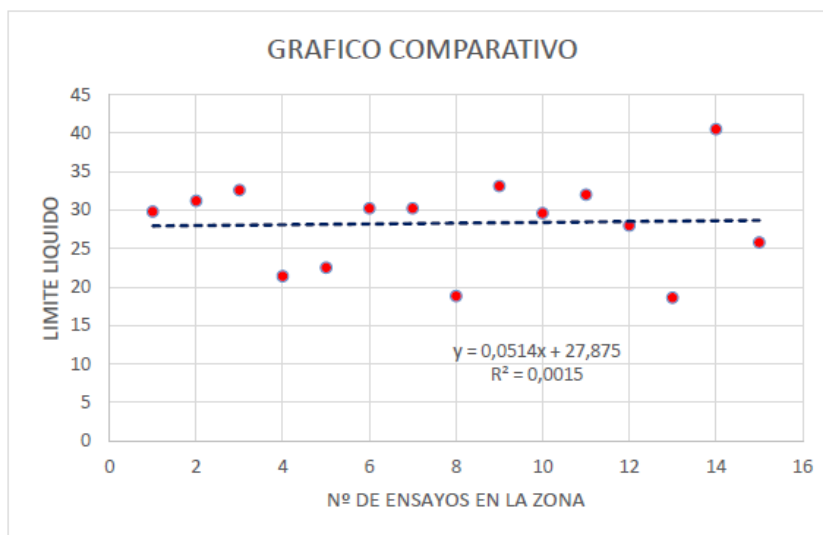


**GRAFICO DE REFERENCIA DE PARÁMETROS ELASTO –PLASTICOS
POR MÍNIMOS CUADRADOS DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA**

Tabla 22.COMPARATIVO ELASTO PLASTICOS

ZONA	Nº DE ENSAYO	L.L. A 25 GOLPES
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	29,8
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	31,2
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	32,6
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	21,4
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	22,5
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	30,2
AA.HH. HUARICAPCHA	7	30,2
LA ESPERANZA	8	18,8
CERCADO CHAUPIMARCA	9	33,1
ULIACHIN SECTOR 1	10	29,6
ULIACHIN SECTOR 2	11	32
ULIACHIN SECTOR 3	12	28
ULIACHIN SECTOR 4	13	18,6
ULIACHIN SECTOR 5	14	40,5
ULIACHIN SECTOR 6	15	25,8

Gráfico 32. COMPARATIVO ELASTO PLASTICOS



4.3. Prueba de Hipótesis

Hipótesis nula (H0): No hay relación significativa entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco 2023.

Hipótesis alternativa (H1): Existe una relación significativa entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos en Chaupimarca, Pasco 2023.

Para probar estas hipótesis, puedes utilizar una prueba de correlación, como la prueba de correlación de Pearson. Esta prueba te permitirá determinar si hay una asociación lineal significativa entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos.

Aquí está el proceso básico para realizar la prueba de hipótesis de correlación:

Recolecta los datos de granulometría y propiedades elasto-plásticas para tus muestras de suelo en Chaupimarca, Pasco 2023.

Calcula el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las dos variables.

Determina el valor p asociado con el coeficiente de correlación.


Compara el valor p con un nivel de significancia predefinido (por ejemplo, 0.05). Si el valor p es menor que el nivel de significancia, rechaza la hipótesis nula y concluye que hay una relación significativa entre la granulometría y las propiedades elasto-plásticas de los suelos.

4.4. Discusión de Resultados

De los resultados obtenidos en las calicatas, de los diferentes sectores, se observa que:

ZONA DE ESTUDIO	N° DE ENSAYO	TAMIZ 3"	TAMIZ 2 1/2"	TAMIZ 2"	1 1/2"
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 1	1	100	100	100	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 2	2	100	100	100	100
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 3	3	100	100	100	93,24
AA.HH. TUPAC AMARU SECTOR 4	4	100	100	100	97,35
AA.HH. NORUEGA ALTA	5	100	100	100	95,38
AA.HH. NORUEGA BAJA	6	100	100	100	96,02
AA.HH. HUARICAPCHA	7	100	100	91,88	80,65
LA ESPERANZA	8	100	97,66	87,05	83,25
CERCADO CHAUPIMARCA	9	100	100	100	100
ULIACHIN SECTOR 1	10	100	100	100	100
ULIACHIN SECTOR 2	11	100	100	100	95,65
ULIACHIN SECTOR 3	12	100	100	100	100
ULIACHIN SECTOR 4	13	100	100	100	100
ULIACHIN SECTOR 5	14	100	100	100	100
ULIACHIN SECTOR 6	15	96,2	96,2	85,44	77,45

1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N° 20	N°40	N°50	N°140	N°200
100	100	99,09	98,16	95,03	91,98	88,3	85,62	81,18	81,04
100	99	93,09	85,78	73,01	70,75	66,89	64,03	60,24	60,17
97,91	84,84	71,18	55,06	36,42	31,58	27,28	25,14	22,13	22,13
96,72	93,99	85,16	69,55	49,66	44,07	40,14	38,28	35,79	35,79
92,35	88,94	78,84	65,05	53,61	50,29	47,52	45,06	28,2	22,29
87,56	81,85	69,99	54,6	35,95	32,07	28,77	27,29	22,77	21,61
67,45	60,66	48,1	38,33	28,47	23,42	19,59	18,02	14,24	13,38
65,7	58,75	43,01	33,14	23,22	14,98	10,26	8,73	6,5	6,37
100	100	100	100	99,3	83,82	73,7	68,94	57,03	54,65
100	97,25	95,49	91,07	54,13	76,79	75,99	75,51	70,89	67,4
86,95	83,56	75,03	66,97	71,54	50,24	48,41	47,73	45,03	43,76
100	100	98,01	89,01	42,22	71,2	70,71	70,23	68,29	68,11
93,7	87,94	78,61	61,57	61,57	26,95	12,96	7,97	2,22	1,71
100	99,85	93,68	80,99	29,61	59,06	55,45	53,46	50,48	50,36
69,79	65,31	53,19	41,91	35,65	25,12	19,85	17,24	13,01	12,82

LEYENDA	
ZONA CON BAJA CALIDAD DE SUELO	
ZONA CON MEDIA CALIDAD DE SUELO	
ZONA CON ALTA CALIDAD DE SUELO	

Las zonas resaltadas en color Naranja, son los sectores con mejor suelo existente, que se acercan bastante a la recta de aproximación por mínimos cuadrados, por lo que se consideran las zonas óptimas y con mejor suelo para cualquier tipo de edificación, ya sea de Tipo A hasta la Tipo C, sugiere que no habría inconvenientes.

Por el contrario, las zonas resaltadas de azul, son los sectores con el suelo que necesita ser mejorado mediante distintos tipos de mejoramiento de suelo, ya sea tanto en diseño de cimentaciones como en cobertura y relleno de afirmado, sin embargo cabe recalcar que el suelo en estas zonas, necesita de estudios definitivos, ya que el presente trabajo de Tesis, pretende dar a conocer el posible tipo de suelo por cada sector, esto quiere decir que son aproximaciones, mas no estudios y resultados definitivos por sector.

Por último, se tiene las zonas resaltadas en color verde, que quiere decir que son zonas intermedias, por lo cual también se recomienda estudios definitivos de suelo, pero su lejanía con el suelo optimo no se aparta demasiado de la realidad, por lo que también se recomendaría construir edificaciones de tipo B y C, considerando el tipo A con estudios más específicos para el sector.

CONCLUSIONES

Durante este trabajo se realizó un análisis comparativo de 15 ensayos de clasificación de suelo en diferentes áreas del distrito de Chaupimarca. Se empleó el método de recta ajustable mediante gráficas de referencia para determinar las funciones óptimas del tipo de suelo en la zona de estudio, dada la importancia de las características físico-mecánicas del suelo en la ejecución de obras.

Se concluye que los suelos más óptimos son el Asentamiento Humano Tupac Amaru Sector 4, Asentamiento Humano Noruega Alta y Asentamiento Humano Uliachín Sector 2, ya que estos se encuentran dentro o cerca a la recta del gráfico de ajustes por mínimos cuadrados.

La investigación proporciona información valiosa sobre la relación entre los tipos de suelo y el mapa de riesgo sísmico de Cerro de Pasco, permitiendo identificar las zonas de riesgo en la ciudad y establecer los requisitos mínimos para obtener la licencia de edificación en el distrito de Chaupimarca.

Se observó que los suelos en el distrito están compuestos principalmente por materiales finos en lugar de gruesos, según el análisis estadístico de las curvas granulométricas. Se recomienda realizar más comparaciones de granulometrías en diferentes áreas del distrito y verificar los procedimientos de laboratorio para obtener datos confiables sobre la clasificación del suelo.

Asimismo, se sugiere un mayor estudio sobre la tendencia del comportamiento del suelo en el distrito de Chaupimarca, basado en las gráficas obtenidas. La investigación brinda información comparativa sobre los tipos de suelo en la zona y su correlación con las zonas

de riesgo, destacando que el tipo de suelo no siempre está directamente relacionado con el nivel de riesgo en una zona específica.

Comparación de Granulometrías: Se podría concluir sobre las diferencias y similitudes en la distribución de tamaños de partículas en los suelos de Chaupimarca, identificando patrones y variaciones significativas entre las muestras analizadas.

Evaluación de Propiedades Elasto-Plásticas: Las conclusiones también podrían abordar la relación entre la composición granulométrica de los suelos y sus propiedades elasto-plásticas, como la compresibilidad, la plasticidad y la resistencia a la deformación, destacando cómo estas propiedades varían en función de la distribución de tamaños de partículas.

Utilidad del Método de Mínimos Cuadrados: Se podría concluir sobre la eficacia y relevancia del método de ajuste por mínimos cuadrados en la elaboración de gráficos que representen de manera precisa las características granulométricas y elasto-plásticas de los suelos. Este método proporciona una forma sistemática de encontrar la mejor línea de ajuste para los datos observados, lo que permite una interpretación más precisa de los resultados y una comparación más objetiva entre diferentes muestras de suelo.

El método de mínimos cuadrados se usaría en este contexto porque permite encontrar la línea que mejor se ajusta a un conjunto de datos dispersos, minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por la línea de ajuste. Esto proporciona una representación visual y matemática de la relación entre las variables analizadas, lo que resulta especialmente útil en estudios que involucran la comparación y evaluación de datos complejos, como los relacionados con las características de los suelos.

RECOMENDACIONES

Realizar más comparaciones de granulometrías en diversas áreas del distrito de Chaupimarca y aumentar la cantidad de muestras para obtener una función más precisa del tipo de suelo.

Verificar que los procedimientos de laboratorio utilizados en el estudio de la clasificación del suelo cumplan con las normas establecidas para garantizar la fiabilidad de los datos.

Profundizar en el estudio de la tendencia del comportamiento del suelo en el distrito de Chaupimarca, basándose en las gráficas obtenidas y en los resultados estadísticos.

La tesis proporciona información comparativa sobre los tipos de suelo en el distrito de Chaupimarca y su correlación con las zonas de riesgo, demostrando que el tipo de suelo no siempre está directamente relacionado con el nivel de riesgo en una zona específica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

"Soil Mechanics and Foundation Engineering" - Dr. K.R. Arora

"Principles of Geotechnical Engineering" - Braja M. Das

"Introduction to Soil Mechanics" - C.R. Scott

"Geotechnical Engineering: Principles and Practices" - Donald P. Coduto, Man-Chu

Ronald Yeung, William A. Kitch

"Geotechnical Engineering: Soil and Foundation Principles and Practice" - V.N.S. Murthy

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

CAPÍTULO S0204 PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D421 ASTM D2217 AASHTO T87)

OBJETO

Este método se refiere a la preparación en seco de las muestras de suelos, tal como se reciben del terreno para el análisis granulométrico y para la determinación de las constantes del suelo, cuando se necesite conocer estas características de muestras secadas al aire, o cuando se sabe que el sistema de secado no influye sobre los resultados.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza con precisión de 0,1 gr.
2. Mortero y su pisón forrado en caucho para disgregar las partículas del suelo.
3. Tamices de:

4,75	mm	(No. 4)
2,0	mm	(No. 10)
425	µm	(No. 40)
75	µm	(No. 200)

SELECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras del suelo tal como se reciben del terreno, deben ser secadas completamente en el aire (o en el horno a una temperatura no mayor de 38 °C (100 °F)). Los grumos o terrones deben ser entonces disgregados completamente en el mortero con un pisón forrado en caucho. Una muestra representativa de la cantidad requerida para ejecutar los ensayos deseados será entonces seleccionada por el método de cuarteo **S0202**. Las cantidades del material requerido para ejecutar los ensayos individuales son las siguientes:

5. Análisis granulométrico

De los materiales que pasan el tamiz de 2 mm (No.10) se requieren las siguientes cantidades para el análisis mecánico: 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos o arcillosos.

6. Ensayos para determinar constantes de los suelos

Para los ensayos físicos se requiere material que pasa el tamiz de 425 µm (No.40) en una cantidad de 220 g distribuidos como sigue:

a) Límite líquido	100 g
b) Límite plástico	15 g
c) Humedad centrífuga equivalente	10 g
d) Factores de contracción	30 g
e) Ensayos de comprobación	65 g

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS

La porción de la muestra secada al aire y seleccionada para el propósito de los ensayos debe ser pesada, anotándose dicho valor como el peso de la muestra total de ensayo sin corrección de la humedad higroscópica. La muestra de ensayo debe separarse sobre el tamiz de 2 mm (No.10).

La porción retenida en dicho tamiz, deberá ser apisonada en el mortero para disgregar los grumos o terrones. Los suelos así desintegrados serán separados entonces en dos fracciones, tamizándolos en el tamiz de 2 mm (No.10).

La fracción retenida después del segundo tamizado, será lavada para sacarle los materiales finos, secados y pesados. Este peso será anotado como el peso del material grueso. El material grueso, después de ser lavado y secado, será tamizado en el tamiz de 4,75 mm (No.4) anotándose el peso retenido en éste.

MUESTRAS PARA EL ENSAYO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

La fracción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) en ambas operaciones de tamizado, será completamente mezclada y cuarteada para tomar una porción aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y aproximadamente de 65 g para suelos limosos o arcillosos para el análisis mecánico.

MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LAS CONSTANTES DE SUELOS

La porción sobrante del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) será entonces separada tamizándola con el tamiz de 425 μm (No.40). La fracción retenida en dicho tamiz no será usada.

La fracción que pasa el tamiz de 425 μm (No.40) será utilizada para la determinación de las constantes físicas de suelo.

Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422)

1. OBJETIVO

Este ensayo abarca la determinación de la distribución del tamaño de partículas mayores a 0.075 mm por medio de un proceso de tamizado y el cálculo de los coeficientes de uniformidad, C_u , y curvatura, C_c , siempre y cuando sean aplicables.

2. MATERIALES Y EQUIPO

- Horno de secado, controlado por termostato, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Balanza de 0,01 g de precisión para muestras de hasta 200 g de masa y de 0,1 g de precisión para muestras de más de 200 g de masa.
- Juego de tamices (i.e. 3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", No.4, No.10, No.30, No. 50, No.100, No.200 y bandeja).
- Tamizador automático.
- Desecador conteniendo sílica gel.
- Mortero.
- Cuarteadores.
- Equipo de manipuleo: Guantes de asbesto, cucharas y cepillos.

3. MUESTRA A ENSAYAR

- Una vez obtenidas las muestras de campo, fragmentar los agregados del suelo utilizando el mortero hasta obtener granos separados.
- Secar el suelo en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Seleccionar una cantidad de muestras representativa según la Tabla 1, ya sea por cuarteo o por una selección aleatoria del suelo, mezclando regularmente el material antes de obtener la muestra requerida.

Tabla 1. Masa de muestra requerida según el tamaño máximo de partículas.

Tamaño máximo de partículas mm	Tamiz	Masa de muestra mínima g
9.5 o menos	3/8"	500
19	3/4"	1000
25	1"	2000
38	1 1/2"	3000
50	2"	4000
75	3"	5000

4. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

1. Determinar la masa de un recipiente limpio y seco, $M_{\text{recipiente}}$.
2. Seleccionar una muestra de suelo seco y determinar su masa seca junto con el recipiente, $M_{\text{s+recipiente}}$. (Fig.1). restando la masa del recipiente determinar la masa seca de la muestra de suelo, M_s .



Figura 1. Determinación de la masa total de la muestra.

3. Colocar la muestra de suelo en el tamiz No. 200 y proceder a lavar cuidadosamente utilizando agua del grifo hasta que esta se vuelva clara y el suelo retenido por el tamiz no presente finos (Fig. 2). Tener mucho cuidado de no dañar el tamiz ni perder suelo en este proceso. Si existe una considerable cantidad de material grueso, es recomendable utilizar el tamiz No. 4, además del No. 200, a fin de reducir el daño al tamiz No. 200.



Figura 2. Lavado de la muestra de suelo.

4. Determinar nuevamente la masa de un recipiente limpio y seco, $M_{\text{recipiente}2}$.
5. El material retenido debe ser cuidadosamente vertido en el recipiente previamente pesado. Se debe tener cuidado de no dejar partículas del suelo en la malla del tamiz (Fig. 3).



Figura 3. Vertido del material después del lavado.

7. Vaciar la mayor parte del agua clara superior y colocar el recipiente más la muestra de suelo en el horno de secado durante 24 horas (Fig. 4).



Figura 4. Secado de la muestra en el horno.

8. Luego de las 24 horas, dejar enfriar en el desecador y determinar la masa de material grueso seco y el recipiente. Restando la masa del recipiente se obtiene la masa del material grueso, M_{grueso} .
9. En caso de que exista más del 10% de grava (i.e. material mayor a 4.75 mm) se debe separar manualmente las partículas grandes a través de los tamices 3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", y 1/4" y registrar las masas retenidas respectivas a cada tamiz (Fig.5). para la determinación de esta masa se debe utilizar un recipiente limpio y seco, además, la balanza debe estar con la opción de "tara" para que el peso del recipiente esté excluido en el pesaje.



Figura 5. Separación manual de las partículas grandes.

10. Verificar que los tamices No.4, No.10, No.30, No.50, No.100, No.200 y la bandeja se encuentren limpios y libres de partículas retenidas entre la malla.
 11. Colocar el suelo restante en la máquina de tamizado, verificando que los tamices No.4, No.10, No.30, No.50, No.100, No.200 y la bandeja estén apilados en ese orden en el tamizador automático, y tamizar durante 10 minutos (Fig.6).
 12. Extraer los tamices de la máquina de tamizado y colocar cada uno sobre un papel.
6. Dejar reposar la muestra lavada hasta que la parte superior en suspensión se aclare y las partículas se hayan precipitado casi en su totalidad.



Figura 6. Máquina de tamizado.

13. Verter el material retenido en cada tamiz, empezando por el tamiz de mayor abertura, en un recipiente y determinar las masas de suelo retenido en cada uno de los tamices (Fig.7) utilizando la opción “tara” de la balanza. Es importante no perder ninguna partícula de suelo. Es común que aparezcan partículas retenidas en la malla del tamiz, cuando esto sucede, se debe limpiar con el cepillo por la parte inferior de la malla, teniendo cuidado que las partículas caigan dentro del recipiente. Si el tamizado no fue adecuadamente realizado, algunas partículas podrán caer del tamiz sobre el papel. En tal caso, colocar este material en el tamiz siguiente antes de su pesaje.



Figura 7. Determinación de la masa retenida en cada tamiz.

5. CÁLCULOS

- Realizar una sumatoria de todas las masas retenidas registradas en la planilla de laboratorio, $M_{tamizado}$, incluyendo la masa del material retenido en la bandeja, y comparar con la masa seca del material grueso, M_{grueso} , registrada previo al tamizado. Una pérdida de más de 2% del peso es considerada como no satisfactoria y el ensayo debe ser repetido. Debiendo cumplirse la siguiente relación:

$$M_{tamizado} \geq 0,98 * M_{grueso} \quad (1)$$

- Calcular la masa de finos que presenta la muestra de suelo, M_{finos} , restando la masa seca de la muestra, M_s , y la masa seca del material grueso, M_{grueso} , después del lavado (Ec. 2).

$$M_{finos} = M_s - M_{grueso} \quad (2)$$

- Calcular la masa retenida acumulada en cada tamiz sumando la masa retenida de cada tamiz con la masa retenida acumulada de un tamiz previo:

$$M_{ret-acum} (i+1) = M_{ret} + M_{ret-acum} (i) \quad (3)$$

6. VALIDEZ

Los valores obtenidos en laboratorio son válidos siempre y cuando la sumatoria de todas las masas retenidas, $M_{tamizado}$, registradas en la planilla de laboratorio y con la masa seca del material grueso, M_{grueso} , registrado previo al tamizado no difieran en más del 2%.

7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del ensayo son presentados en una planilla de laboratorio que contiene, además de los datos de la muestra (e.g. Identificación, tipo, procedencia, profundidad de excavación, etc.), las masas retenidas determinadas en laboratorio (i.e. $\%_{ret}$) los porcentajes de material fino calculados en gabinete (i.e. $\%_{pasa}$), la gráfica semilogarítmica entre el porcentaje que pasan y el tamaño de partícula y los coeficientes C_U y C_C , siempre y cuando sean aplicables. La planilla correspondiente al ensayo de granulometría se encuentra en la página A-2 del Anexo.

REFERENCIAS

ASTM, American Society for Testing and Materials (2003) "D421: Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants" 2003 Annual Books of ASTM Standards, Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420 – D5611. ASTM.

ASTM, American Society for Testing and Materials (2003) "D422: Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soil" 2003 Annual Books of ASTM Standards, Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420 – D5611. ASTM.

U.S. Army Corps of Engineers, "Laboratory Soil Testing", EM 1110-2-1906, Appendix V: Grain-size Analysis.

J. Bowles (1992) "Engineering properties of soils and their measurement" Irwin McGraw-Hill, USA.

- La masa retenida acumulada en la bandeja será la sumatoria de masas de todos los tamices más la masa de finos que presenta el suelo:

$$M_{retenida-bandeja} = M_{tamizado} + M_{finos} \quad (4)$$

- Calcular el porcentaje retenido acumulado, $\%_{ret}$, dividiendo la masa retenida acumulada en cada tamiz entre la masa retenida acumulada en la bandeja:

$$\%_{ret} = \frac{M_{ret-acum}}{M_{retenida-bandeja}} * 100\% \quad (5)$$

- Calcular el porcentaje de finos o porcentaje de finos o porcentaje que pasa, $\%_{pasa}$, comenzando en 100% para el tamiz de mayor abertura y sustrayendo el porcentaje retenido acumulado en cada uno de los otros tamices.
- Dibujar una gráfica semilogarítmica entre el porcentaje que pasa y el tamaño de partículas (i.e. abertura del respectivo tamiz). Si menos del 12% pasa el tamiz No.200, calcular el coeficiente de uniformidad, C_U , y el coeficiente de curvatura, C_C , mediante las Ecuaciones (6) y (7).

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (6)$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (7)$$

Donde: D_{10} , D_{30} , D_{60} = Tamaño, o diámetro aparente, de partículas menores al 10, 30 y 60% del suelo, respectivamente.

2. **Espátula**
Debe contar con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.
3. **Aparato de Límite Líquido (Máquina Casagrande)**
Taza de bronce con una masa de 200 ± 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90%, (Figura S0304_1).
4. **Acanalador**
Combinación de acanalador y calibre, construido de acuerdo con el plano y dimensiones de la figura de la Figura S0304_2.
5. **Cápsulas para Secado**
Debe ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.
6. **Balanza**
La balanza debe tener una precisión de 0,01 g.
7. **Probeta Graduada**
La probeta debe tener una capacidad mínima de 25 ml.
8. **Horno**
Provisto de circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantener la temperatura a $60 \pm 5^\circ\text{C}$.

Nota 1: No se debe ocupar la superficie inferior del horno para el secado de muestras, pues ésta se encuentra siempre a una temperatura superior a la fijada.

Nota 2: Se recomienda para una mayor velocidad de secado el uso de hornos con convección forzada.

CAPÍTULO S0304 - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D4318 AASHTO T89)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande.

DEFINICIÓN

El límite Líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Plato de Evaporación

Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de aproximadamente 120 mm.



Equipos Requeridos para el Ensayo

AJUSTE Y CONTROL DEL APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO

9. Ajuste de la Altura de Caída de la Taza

Gire la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adornado al ranurador), verifique que la distancia entre el punto de percusión y la base sea exactamente de 10 mm. De ser necesario, afloje los tornillos de fijación y mueva el de

Si el ajuste es correcto, se escuchará un ligero campanileo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido, realice un nuevo ajuste.

10. Verificaciones Adicionales

- a) No debe producirse juego lateral por desgaste entre la taza y el pasador que la sostiene.
- b) Los tornillos que conectan la taza con el apoyo deben estar apretados.
- c) El desgaste de la taza no debe sobrepasar la tolerancia de masa especificada en 3.
- d) El diámetro de la huella del punto de percusión en la base no debe exceder 15 mm. Cuando esto ocurra, pule la base, verificando que se mantiene la resiliencia especificada en 3.
- e) El desgaste del ranurador no debe sobrepasar las tolerancias dimensionales especificadas en la *Figura S0304_2*.

11. Antes de cada ensaye verifique que la base y la taza estén limpias y secas.



Aparato Casagrande Acondicionado

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

12. Extraiga por cuarteo una muestra representativa de un tamaño tal que asegure una masa mínima de ensaye de 500 g de material bajo tamiz 0,425 mm (N° 40).



Material pasante por el Tamiz N° 40

13. Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
14. Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.
15. Distribuya de la siguiente forma la masa mínima de ensaye obtenida en 12.
 - Límite Líquido 160 g.
 - Límite Plástico 40 g.
 - Límite de Contracción 100 g.
 - Ensayes de control 200 g.

17. Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, para lo cual existe la siguiente clasificación:

-Suelos de alta plasticidad:	≥ 24 h
-Suelos de plasticidad media:	≥ 12 h
-Suelos de baja plasticidad:	≥ 1 h



Mesclado de material con Agua



Muestra Pastosa y Homogénea

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

18. Coloque el aparato de límite líquido sobre una base firme.
19. Coloque en la taza una porción de la muestra acondicionada utilizando una espátula; la masa de suelo deberá colocarse centrándola en el punto de apoyo de la taza con la base.
20. Moldee la masa de suelo con la espátula hasta obtener la forma indicada en la figura de la Lámina 8.102.3 B, evitando incorporar burbujas de aire en la mezcla.
21. Enrase y nivele a 10mm en el punto de máximo espesor.
22. Reincorpore el material excedente al plato de evaporación.
23. Divida la pasta de suelo, pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza, de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas. Pase el acanalador, manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza; en ningún caso, debe existir desprendimiento de la pasta del fondo de la taza; si ello ocurre, retire todo el material y reinicie el procedimiento. La formación de la ranura se debe lograr con el mínimo de pasadas, limpiando el acanalador después de cada pasada.



Material colocado uniformemente



Ranuración de la Muestra

ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

16. Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

24. Gire la manivela levantando y dejando caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm.; si el cierre de la ranura es irregular, descarte el resultado. Registre el número de golpes obtenido (N).



Conteo de Golpes

25. Retire aproximadamente 10 g del material que se junta en el fondo del surco; colóquelo en una cápsula de secado y determine su humedad (w), de acuerdo con el *Método S0301*.



Corte y Retiro del Material



Secado de Muestra

26. transfiera el material que quedó en la taza al plato de evaporación; lave y seque la taza y el ranurador.
27. Continúe batiendo con la espátula la pasta de suelo que quedó en el plato de evaporación para obtener un secado homogéneo. Repita las operaciones precedentes desde 20 en adelante, para dar origen a un nuevo punto.

Nota 3: El ensaye se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca; en ningún caso, se debe rehumedecer la pasta de suelo.

28. El ensaye requiere de al menos cinco puntos para el trazado de la curva de fluidez.

Nota 4: Se recomienda que los puntos seleccionados se encuentren en el rango de 10 a 45 golpes.

29. Calcule y registre la humedad de cada determinación (w), de acuerdo con el método definido anteriormente para determinar el contenido de humedad.
30. Construya un gráfico semilogarítmico, con la humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.
31. Dibuje los puntos correspondientes a los resultados de cada una de las cinco (o más) determinaciones efectuadas y construya una recta (curva de fluidez) que pase tan aproximadamente como sea posible por los puntos.
32. Exprese el Límite Líquido (LL) del suelo como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes, aproximando a un decimal.

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Valor del Límite Líquido.
- b) Cualquier información específica relativa al ensayo o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.

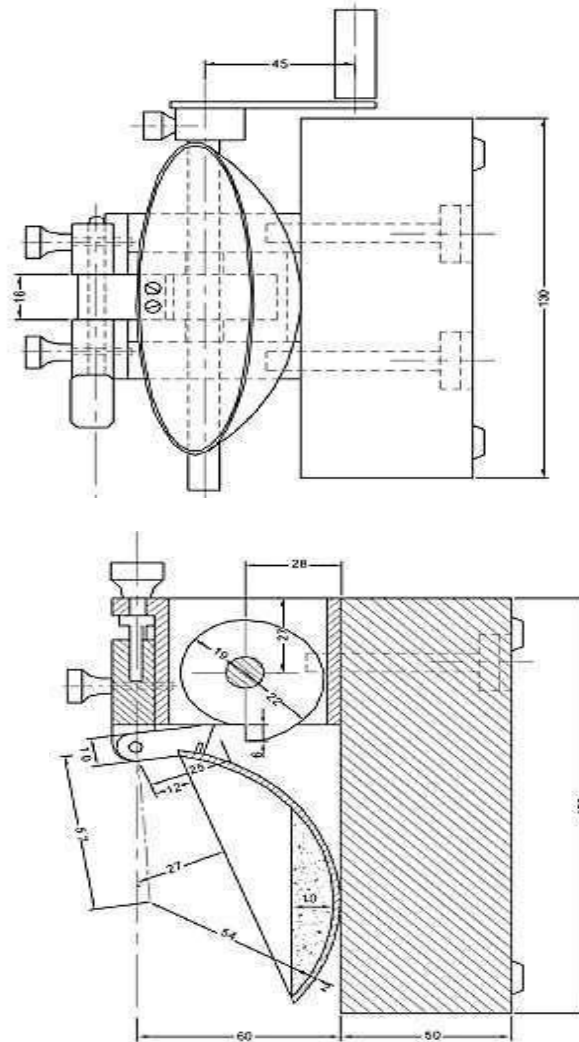
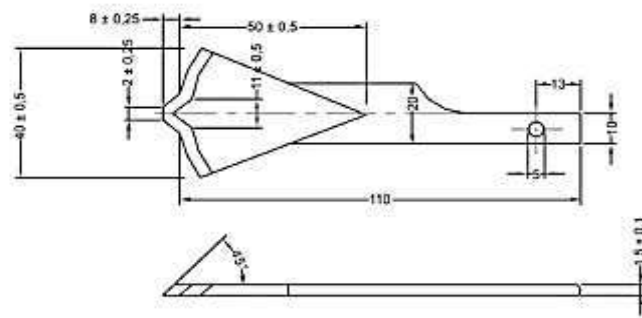
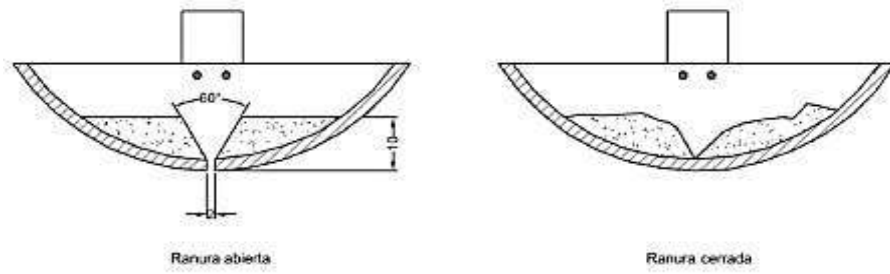
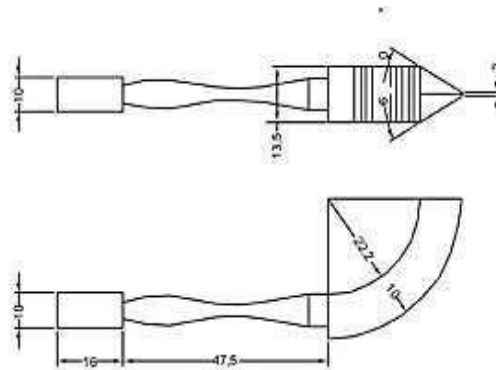


FIGURA S0304_1. APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO



a) Acanalador de Casagrande



b) Acanalador ASTM

Dimensiones en mm.

FIGURA S0304_2 SECCIÓN DE LA RANURA EN LA PASTA DE SUELO ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYE ACANALADORES

CAPÍTULO S0305 - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD
(ASTM D4318 AASHTO T90)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el Límite Plástico y el Índice de Plasticidad de los suelos.

DEFINICIÓN

1. Límite Plástico

Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5a 1cm. de largo y no puedan ser reamados ni reconstituidos.

EQUIPOS Y MATERIALES

2. Plato de evaporación

Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de 120 mm aproximadamente.

3. Espátula

Debe tener una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

4. Superficie de amasado

Placa de vidrio esmerilado de 20 x 20 cm.

5. Cápsulas para secado

Deben ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

6. Balanza

Debe tener una precisión de 0,01 g.

7. Probeta graduada

Debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

8. Patrón de comparación

Alambre o plástico de 3 mm de diámetro.

9. Horno

Debe tener circulación de aire y temperatura regulable, capaz de mantener una temperatura de 60 ± 5 °C.



Equipos requeridos para el Ensayo de Límite Plástico y Límite Líquido

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

10. Preparación de la Muestra

Extraiga, por cuarteo, una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensaye de 500g de material bajo tamiz 0,425mm (Nº 40).



Material pasante por el Tamiz Nº 40

11. Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.

12. Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.

13. La masa mínima de ensaye, obtenida en 10 debe distribuirse como sigue:

-Limite Líquido	60g
-Limite Plástico	40g
-Limite de Contracción	100g
-Ensayes de Control	200g

Acondicionamiento de la Muestra

14. Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

15. Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, existiendo la siguiente clasificación:

-Suelos de alta plasticidad:	≥ 24 h
-Suelos de plasticidad media:	≥ 12 h
-Suelos de baja plasticidad:	≥ 1 h

16. Una vez curado el material, reduzca la humedad si es necesario mediante revoltura con la espátula, hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.



Mesclado del Material con Agua



Muestra Plástica para Moldeo

PROCEDIMIENTO

17. Tome una porción de la muestra de ensaye acondicionada de aproximadamente 1 cm³.
18. Amase la muestra entre las manos; luego hágala rodar sobre la superficie de amasado, ejerciendo una leve presión con la palma de la mano hasta conformar un cilindro.
19. Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente 3 mm, doble, amase nuevamente y vuelva a conformar el cilindro.



Amasado de la Muestra

20. Repita la operación, manteniendo la velocidad y la presión de amasado, hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente 3 mm, en trozos del orden de 0,5 a 1 cm de largo y no pueda ser reamasado ni reconstituido.



Elaboración de Hebras del material



Hebra del Material resquebrajada

21. Reúna las fracciones del cilindro disgregado y colóquelas en una cápsula de secado, previamente tarada. Determine y registre la humedad (w) de acuerdo con el *Método S0301*, aproximando a un decimal.



Muestra en Estado de Límite Plástico



Tarado de la Muestra

22. Repita las anteriores etapas con dos porciones más de la muestra de ensaye.



Muestra extraída del Horno conforme al Procedimiento S0301

CÁLCULOS

23. Calcule el Límite Plástico (LP) como el promedio de las tres determinaciones efectuadas sobre la muestra de ensaye, aproximando a un decimal. Las determinaciones no deben diferir entre sí en más de dos puntos; cuando no se cumpla esta condición, repita todo el ensaye.
24. Calcule el Índice de Plasticidad (IP) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- IP: Índice de Plasticidad del suelo (%).
LL: Límite Líquido del suelo (%).
LP: Límite Plástico del suelo (%).

25. Cuando no pueda determinar uno de los dos límites (LL o LP), o la diferencia resulte negativa, informe el Índice de Plasticidad como NP (no plástico).

26. Calcule el Índice Líquido (IL) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IL = \frac{W - LP}{LP}$$

Donde:

IL: Índice Líquido del suelo.

w: Humedad natural del suelo (%).

LP: Límite Plástico del suelo (%).

IP: Índice de Plasticidad del suelo (%).

27. Calcule el Índice de Consistencia (IC) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IC = \frac{LL - W}{IP}$$

Donde:

IC: Índice de Consistencia del suelo.

LL: Límite Líquido del suelo (%).

w: Humedad natural del suelo (%).

IP: Índice de Plasticidad del suelo (%).

PRECISIÓN

Repetibilidad

Dos resultados obtenidos por un mismo operador sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, usando los mismos aparatos y en días diferentes, se deben considerar dudosos si difieren en más de un 10% del promedio de ambos.

Reproducibilidad

Dos resultados obtenidos por operadores diferentes, en laboratorios diferentes, se considerarán dudosos si difieren en más de 18% de su promedio.

REGISTRO DE RESULTADOS

En la Figura S0305_1 se presenta un formato tipo de ficha de ensaye para registrar los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

ANEXO B

PANEL FOTOGRÁFICO



Se realiza el procedimiento de tamizado de los distintos tipos de suelo obtenidos de las diferentes calicatas.



Se realiza el procedimiento de tamizado de los distintos tipos de suelo obtenidos de las diferentes calicatas.



Toma de las distintas muestras de suelo



Toma de las distintas muestras de suelo



Realizando el procedimiento de la Copa de Casagrande



Realizando el secado de muestras para la obtención del contenido de humedad