



PUCE TEC
TECNOLOGÍA SUPERIOR EN CONSTRUCCIÓN

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL AGREGADO FINO EMPLEADO PARA
CONSTRUCCIÓN PROCEDENTE DE DOS MINAS DEL CANTÓN AMBATO**

**Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Tecnólogo
Superior en Construcción**

Línea de investigación:

CONSTRUCCIÓN, TECNOLOGÍA

Autor:

Milton Leonardo Pérez Villacrés

Directora:

Mg. Verónica Cristina Oñate Oñate

Ambato - Ecuador

Abril 2025

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo: **MILTON LEONARDO PÉREZ VILLACRÉS**, con cédula de ciudadanía **1803183753**, autor del trabajo de graduación titulado: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL AGREGADO FINO EMPLEADO PARA CONSTRUCCIÓN PROCEDENTE DE DOS MINAS DEL CANTÓN AMBATO", previa a la obtención del título de **TECNÓLOGO SUPERIOR EN CONSTRUCCIÓN**, en **PUCE TEC**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE Ambato, el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ambato, abril 2025



Firmado electrónicamente por:
**MILTON LEONARDO
PÉREZ VILLACRES**

Milton Leonardo Pérez Villacrés

CC. 1803183753

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE AMBATO
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Tema:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL AGREGADO FINO EMPLEADO PARA
 CONSTRUCCIÓN PROCEDENTE DE DOS MINAS DEL CANTÓN AMBATO**

Línea de investigación:

CONSTRUCCIÓN, TECNOLOGÍA

Autor:

Milton Leonardo Pérez Villacrés

Verónica Cristina Oñate Oñate, Ing. Mg.

CC. 1206607382

CALIFICADOR

Jorge Leonardo Vélez Brito, Ing. Mg.

CALIFICADOR

Diego Sebastián Viera Pérez, Ing. Mg.

CALIFICADOR

Daniel Marcelo Acurio Maldonado, Ing. Mg.

COORDINADOR GENERAL PUCE TEC

Diego Gonzalo Coca Chanalata, Dr.


SECRETARIO GENERAL PUCESA

f.  Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
 OÑATE OÑATE**

f.  Firmado electrónicamente por:
**JORGE LEONARDO
 VELEZ BRITO**

f.  Firmado electrónicamente por:
**DIEGO SEBASTIAN
 VIERA PEREZ**

f.  Firmado electrónicamente por:
**DANIEL MARCELO
 ACURIO MALDONADO**

f.  Firmado digitalmente
 por **DIEGO GONZALO
 COCA CHANALATA**
 Fecha: 2025.04.03
 16:47:26 -05'00'

Ambato – Ecuador

Abril 2025

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino académico, he enfrentado desafíos que pusieron a prueba mi fortaleza, pero en cada paso tuve la dicha de contar con el mayor regalo de mi vida mi hijo Dylan, juntos hemos compartido momentos difíciles que nos unieron más allá del lazo entre padre e hijo, convirtiéndonos en verdaderos amigos, compañeros inseparables que juraron cuidarse y amarse siempre. En este viaje, también llegó a nuestra familia un ser leal que conquistó nuestros corazones llamado Enner, nuestra fiel mascota, cuya presencia nos brindó alegría y compañía en los días más oscuros. A mi hija Danna, símbolo de amor y esperanza, quien a pesar de la distancia nunca dejó de estar presente en mi corazón, recordándome siempre la importancia de la fe y la perseverancia. Al final, la vida nos permitió reencontrarnos, reafirmando que el amor verdadero siempre trasciende el tiempo y la distancia. Hoy, al culminar esta etapa, dedico este logro a Dylan, mi escudero y mi orgullo, con la esperanza de que vea en mí el ejemplo de que, con esfuerzo y determinación, todo es posible esta tesis es para ti hijo, porque cada página escrita lleva nuestro esfuerzo, nuestros sacrificios y, sobre todo, nuestro amor.

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Ambato, por proporcionarme los recursos y el apoyo necesario para la realización de esta tesis. La oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución ha sido un privilegio y un honor para mí.

Espero que esta expresión de gratitud refleje el amor y la admiración que siento por ustedes, Dylan Mathias y Danna Isabella, y el agradecimiento que siento hacia la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Ambato.

Milton Leonardo Pérez Villacrés

RESUMEN

El uso de agregados finos en la construcción es esencial para garantizar la calidad y durabilidad de las obras, influyen directamente en propiedades como la resistencia y trabajabilidad del concreto. Estos agregados, que deben cumplir con normativas internacionales y nacionales, son extraídos de fuentes naturales como ríos y minas.

En Ecuador, los agregados provenientes de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz en el cantón Ambato son comúnmente utilizados. Sin embargo, no existen estudios comparativos detallados sobre sus propiedades físico-químicas y mecánicas, lo que limita su evaluación en la construcción. El objetivo de esta investigación es analizar los agregados de estas minas, evaluando características como granulometría, densidad y absorción de agua, y verificando su cumplimiento con las normativas ASTM y AASHTO.

Se realizaron pruebas de contenido de humedad, granulometría, peso unitario y peso específico. Los resultados mostraron que la mina Playa Llagchoa presentó características superiores que la mina Alvarado Ortiz. Ambos materiales cumplieron con las normativas, destacándose Playa Llagchoa por su mejor graduación e idoneidad en concreto.

Palabras clave: agregado fino, ensayos, normas, construcción.

ABSTRACT

The use of fine aggregates in construction is essential to guarantee the quality and durability of the works, since they directly influence properties such as the strength and workability of concrete. These aggregates, which must comply with international and national regulations, are extracted from natural sources such as rivers and mines. In Ecuador, aggregates from the Playa Llagchoa and Alvarado Ortiz mines in the Ambato canton are commonly used.

However, there are no detailed comparative studies on their physical-chemical and mechanical properties, which limits their evaluation in construction. The objective of this research is to analyze the aggregates from these mines, evaluating characteristics such as granulometry, density and water absorption, and verifying their compliance with ASTM and AASHTO standards.

Tests were conducted on moisture content, granulometry, unit weight and specific gravity. The results showed that the Playa Llagchoa mine had superior characteristics than the Alvarado Ortiz mine. Both materials complied with the regulations, with Playa Llagchoa standing out for its better gradation and suitability in concrete.

Keywords: *fine aggregate, tests, standards, construction.*

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA	5
1.1. Definición de suelos.....	5
1.2. Propiedades y características de los agregados finos en la construcción	6
1.3. Normativas internacionales y nacionales para la evaluación de agregados finos	8
1.4. Propiedades índices de los agregados	16
CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	24
2.1. Generalidades.....	24
2.2. Población y muestra	24
2.3. Tipo de Recolección de la información	25
2.4. Procesamiento y análisis de la información	38
CAPÍTULO III. PROPUESTA	39
3.1. Contenido de humedad.....	39
3.2. Límites de Atterberg.....	41
3.3. Granulometría	41
3.4. Análisis comparativo	44
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de suelo según el tamaño de grano	9
Tabla 2: AASHTO	11
Tabla 3: Clasificación de suelos SUCS	12
Tabla 4: Clasificación de suelos SUCS	13
Tabla 5: Gravedad Específica (G)	21
Tabla 6: Requisitos mínimos prueba y legibilidad de equilibrio.....	28
Tabla 7: Abertura en milímetros de tamices.....	33
Tabla 8: Materiales	36
Tabla 9: Nomenclatura propiedades índices	39
Tabla 10: Resultados de contenido de humedad natural.....	40
Tabla 11: Resultados de contenido de humedad natural.....	41
Tabla 12: Tabla resumen Resultados Mina Playa Llagchoa.....	43
Tabla 13: Tabla resumen Resultados Mina Alvarado Ortiz.....	44
Tabla 14: Tabla resumen peso unitario	46
Tabla 15: Tabla resumen peso específico.....	46
Tabla 16: Tabla resumen % absorción de agua.....	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Límites de Atterberg	19
Ilustración 2:Gráfica para determinar LI	20
Ilustración 3:Mina Playa Llagchoa.....	26
Ilustración 4:Mina Alvarado Ortiz.....	27
Ilustración 5:Ingreso de muestras al horno	29
Ilustración 6:Muestras.....	29
Ilustración 7:Ensayo copa Casagrande.....	31
Ilustración 8:Muestra después del ensayo	31
Ilustración 9:Ensayo de granulometría	32
Ilustración 10:Ensayo de granulometría	33
Ilustración 11: Pesaje de lo que retiene el tamiz #200.....	33
Ilustración 12:ensayo método gravimétrico	35
Ilustración 13:Granulometría mina Alvarado Ortiz	42
Ilustración 14:Granulometría mina Playa Llagchoa.....	43

INTRODUCCIÓN

El uso de agregados finos en la construcción es un aspecto fundamental para asegurar la calidad y durabilidad de las obras civiles. Los agregados finos son componentes esenciales de los materiales de construcción, especialmente en la fabricación de concreto y mortero, influyen en propiedades clave como la resistencia, la trabajabilidad y la durabilidad de las estructuras (Jones, 2016). Los agregados finos, definidos por su tamaño de partícula menor a 4,75 mm, provienen de diversas fuentes naturales, como ríos, canteras y minas. Estos materiales deben cumplir con una serie de especificaciones técnicas y normativas para garantizar su idoneidad en las obras de construcción, lo cual ha dado lugar a la implementación de rigurosos métodos de ensayo y análisis para determinar sus propiedades físico-químicas y mecánicas.

Antecedentes teóricos

A nivel internacional, diversas normativas regulan la calidad de los agregados finos utilizados en la construcción. La ASTM (*American Society for Testing and Materials*) y la AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) han establecido normas clave para la evaluación de estos materiales, tales como ASTM C127 para la determinación de la densidad y ASTM C136 para la granulometría (ASTM, 2018; AASHTO, 2016). Estas normas buscan asegurar que los materiales utilizados cumplan con los requisitos mínimos de calidad para aplicaciones en concreto, mortero y otros productos de construcción. La importancia de estas regulaciones es evidente, los agregados finos tienen un impacto directo en la resistencia y la durabilidad de las estructuras. Por ejemplo, un agregado fino que no cumpla con los requisitos de granulometría o absorción de agua puede afectar la cohesión de la mezcla de concreto, reduciendo su rendimiento y comprometiendo la integridad de la construcción (Pérez & Martínez, 2020).

A nivel nacional, Ecuador también cuenta con normativas específicas que regulan la calidad de los agregados finos, como las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE)

1707 y 1708, las cuales definen los requisitos de calidad para los agregados utilizados en la construcción. Estas normas son fundamentales para garantizar que los materiales empleados en la infraestructura del país sean adecuados para soportar las cargas y condiciones ambientales a las que estarán expuestos (INEN, 2017). Sin embargo, en la práctica, la implementación de estas normativas no siempre es consistente en todas las regiones del país, y existen pocos estudios que comparen directamente la calidad de los agregados provenientes de diferentes fuentes dentro de Ecuador. Esto genera una brecha de conocimiento que dificulta la toma de decisiones en la selección de materiales para los proyectos de construcción.

La situación problemática

El cantón Ambato, ubicado en la región central del Ecuador, es una zona de gran actividad constructiva, donde el uso de agregados finos provenientes de minas locales como Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz es frecuente. Ambas minas se encuentran en la cuenca del río Ambato, una zona de importante extracción de materiales para la industria de la construcción. A pesar de la alta demanda de estos agregados, no existen estudios que comparen detalladamente sus características físico-químicas y mecánicas, lo que impide evaluar su idoneidad y conformidad con las normativas nacionales e internacionales. Esta falta de información limita la capacidad para seleccionar los mejores materiales en función de las necesidades específicas de cada proyecto, lo que podría llevar a problemas en la calidad de las construcciones.

Planteamiento de problema

Esta investigación se puede resumir en la siguiente pregunta: ¿Cómo se comparan las propiedades físico-químicas y mecánicas de los agregados finos provenientes de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz en el cantón Ambato, y qué implicaciones tiene esta comparación para su uso en la construcción?

Esta interrogante surge debido a la ausencia de un análisis comparativo detallado entre los agregados provenientes de estas minas, lo cual es crucial para determinar si cumplen con los requisitos establecidos por las normativas vigentes y si son aptos para su uso en la construcción. Al abordar esta cuestión, se pretende proporcionar información valiosa para las empresas constructoras y las autoridades regulatorias, permitiendo una mejor selección de los materiales a utilizar en los proyectos.

La investigación que se presenta en este trabajo tiene como objetivo principal analizar comparativamente los agregados finos provenientes de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz, evaluando sus propiedades físico-químicas y mecánicas. Para ello, se realizarán ensayos de granulometría, densidad y absorción de agua, entre otros, que permitirán caracterizar los materiales de manera objetiva. Además, se evaluará el cumplimiento de los agregados con las normativas internacionales y nacionales, como las normas ASTM C127, ASTM C136, AASHTO T27, AASHTO T11 y AASHTO T29, para determinar si son aptos para su uso en la construcción (ASTM, 2018; AASHTO, 2016).

Objetivo general de la investigación

Analizar comparativamente el agregado fino empleado para la construcción procedente de dos minas del cantón Ambato.

Objetivos específicos de la investigación

- Caracterizar las muestras del material de agregado fino (MAF) de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz mediante ensayos de granulometría, densidad, contenido de humedad, para determinar sus propiedades físico-químicas.
- Realizar el análisis comparativo del material de agregado fino (MAF) proveniente de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz del cantón Ambato, evaluando los resultados de los ensayos físico-químicos.

- Verificar si el agregado fino proveniente de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz del cantón Ambato cumple con las normativas vigentes ASTM C128, ASTM C136, AASHTO T27, AASHTO T11, AASHTO T29.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA

1.1. Definición de suelos

Los suelos son comúnmente percibidos como una combinación desorganizada de partículas orgánicas e inorgánicas, sin embargo, en realidad presentan una estructura definida y una variedad de propiedades que los caracterizan (Garzón, 2019). El término "suelo" se utiliza en distintos ámbitos científicos, dependiendo de su contexto y aplicación. En el campo de la ingeniería civil, se refiere a cualquier tipo de material terroso, que abarca desde rellenos hasta areniscas parcialmente cementadas. Es esencial destacar que la humedad o el agua contenida en cada partícula del suelo tiene un impacto significativo en su comportamiento mecánico, por lo que siempre debe ser considerada en los análisis y estudios relacionados (GARZÓN, 2019).

- **Clasificación de los suelos**

Existen distintos tipos de suelos, y su utilización depende de las propiedades específicas que presentan. Por este motivo, es esencial clasificarlos según el tamaño de sus partículas, aunque esta no sea la única forma de hacerlo, existen otros parámetros que varían según el área de aplicación (Vilema, 2020). Para determinar el tipo de suelo mediante ensayos y pruebas, dos entidades clave proporcionan los criterios necesarios: la AASHTO (Asociación Americana de funcionarios de Caminos Públicos) y el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). Estos sistemas son ampliamente empleados a nivel mundial debido a su similitud en los procedimientos, ambos se basan en pruebas como el límite de Atterberg y análisis granulométricos (VILEMA, 2020).

- **Suelos cohesivos**

Los suelos finos, también llamados cohesivos, se distinguen por sus dimensiones laminares (cuando el espesor es inferior a las otras medidas) o aciculares (cuando el espesor es superior). Estos suelos, que presentan un bajo contenido de

humedad, experimentan deformaciones y asentamientos considerables cuando se les aplica carga, lo cual puede generar contracciones volumétricas de hasta un 75% o 80%. Los suelos finos se dividen principalmente en dos tipos: los limos (M), que se originan de la trituración de la grava, pueden ser orgánicos y suelen encontrarse en áreas fluviales; y las arcillas (C), que adquieren propiedades plásticas al mezclarse con agua y están formadas por silicatos hidratados de Al, Mg, Fe, Na o K (VILEMA, 2020).

- **Suelos granulares**

Las partículas de estos suelos pueden ser redondeadas, subredondeadas debido a un proceso erosivo, o incluso subangulares, con vértices suavizados, y angulares, con aristas agudas. Estos suelos tienden a acomodar sus partículas de manera natural y, mediante procesos de compactación, pueden alcanzar una mayor densificación. Se caracterizan por depender de dos factores clave: el módulo de compresibilidad y el ángulo de rozamiento interno entre las partículas (VILEMA, 2020).

- **Cangahua**

El término proveniente del quechua hace referencia a lo que se traduce como "tierra dura estéril", también conocida como toba dura. Se trata de un suelo fino que se ha endurecido hasta adquirir características similares a las de una roca. Su color es típicamente café amarillento, y se encuentra a una profundidad de entre 2 y 5 metros en su estado natural. (VILEMA, 2020)

1.2. Propiedades y características de los agregados finos en la construcción

Los agregados finos juegan un papel fundamental en la construcción, afectan tanto la resistencia como la durabilidad de las estructuras. En la ingeniería civil, el estudio de los agregados finos está ligado a su desempeño en la mezcla de concreto, mortero y otros productos de construcción. La granulometría de los agregados finos es uno de los factores más determinantes en sus propiedades físicas.

De acuerdo con la norma ASTM C33 (2018), el tamaño máximo de las partículas de un agregado fino debe ser inferior a 4,75 mm. Sin embargo, más allá de la clasificación en función del tamaño, se debe considerar el comportamiento de las partículas, su forma y textura, los cuales tienen un impacto directo sobre la trabajabilidad y la resistencia del concreto.

La forma angular de las partículas de agregado, por ejemplo, aumenta la fricción interna en la mezcla, dificultando el flujo del concreto, mientras que las partículas más redondeadas ofrecen una mayor fluidez. Además, la textura de las partículas influye en la adherencia de la pasta de cemento con el agregado, lo que afecta la resistencia final del concreto. La absorción de agua es otra propiedad importante, una mayor absorción puede disminuir la cantidad de agua disponible para la hidratación del cemento, alterando las características finales de la mezcla (Jones, 2016).

La densidad aparente, que es la masa por unidad de volumen del material, es una propiedad que también se considera crucial en la evaluación de los agregados finos. Agregados con mayor densidad tienden a proporcionar un mejor desempeño en términos de resistencia y durabilidad del concreto. Un estudio realizado por González et al. (2018) indicó que los agregados con una alta densidad generalmente tienen una mayor resistencia a la compresión y, por lo tanto, son más adecuados para proyectos de alto rendimiento. Estos agregados también tienen una menor absorción de agua, lo que resulta en una mezcla más estable.

A nivel nacional, Ramírez et al. (2019) identificaron que el comportamiento de los agregados finos de algunas zonas rurales de Ecuador variaba considerablemente debido a la presencia de impurezas orgánicas y finos en el material. Estos factores pueden alterar las propiedades físicas del agregado y, por ende, la calidad del concreto resultante. Las pruebas de abrasión también son relevantes para evaluar la durabilidad del concreto, los agregados finos susceptibles al desgaste pueden generar un concreto menos duradero, susceptible a la acción de agentes climáticos (Martínez, 2017).

1.3. Normativas internacionales y nacionales para la evaluación de agregados finos

Las normativas internacionales, como ASTM C33 y AASHTO T11, proporcionan directrices claras sobre los requisitos para la clasificación, el tamaño máximo de las partículas y los límites para impurezas. La ASTM C127 (2018) establece un procedimiento detallado para la determinación de la densidad de los agregados y el contenido de impurezas, mientras que la ASTM C136 es la norma utilizada para realizar los análisis granulométricos de los agregados. Estas normativas aseguran que los agregados finos utilizados en la construcción tengan las características necesarias para producir concretos de alta calidad.

En cuanto a las normativas nacionales, la NTE INEN 1707 (2017), emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), regula las propiedades de los agregados finos en Ecuador, considerando características como la granulometría, la absorción de agua y el contenido de impurezas. A pesar de que estas normativas son similares a las internacionales, en la práctica, la implementación varía considerablemente debido a los recursos limitados y la variabilidad en la calidad de los agregados provenientes de las distintas minas del país. Zambrano et al. (2020) realizaron un estudio sobre la calidad de los agregados en el Ecuador, concluyendo que muchas de las minas no cumplían con los estándares establecidos, lo que generaba inconsistencias en la calidad del concreto.

En comparación con las normativas internacionales, las ecuatorianas suelen ser más permisivas en cuanto a los límites para impurezas orgánicas y el contenido de finos. Esto refleja una falta de infraestructura para pruebas de calidad rigurosas en muchas zonas rurales, lo cual impacta directamente en la consistencia de los agregados utilizados en la construcción. La AASHTO T27 (2016), por ejemplo, establece un límite máximo para los finos de 8% en los agregados, mientras que la normativa ecuatoriana permite valores más altos. Esta diferencia puede generar discrepancias en los resultados y en la durabilidad del concreto, haciendo necesario un análisis detallado de cada fuente de material.

- **Sistema de clasificación AASHTO**

Terzaghi y Hogentogler (1928) desarrollaron un sistema de clasificación utilizado para evaluar cualitativamente la estructura del suelo, con el fin de determinar su idoneidad como material constructivo, especialmente en relación con la línea vial, el diseño de subrasante, subbase, base de carreteras y terraplenes. El Dr. Arturo Casagrande (1942) desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de esta clasificación, aportando valiosas contribuciones que satisfacen las necesidades de diversos campos dentro de la Mecánica de Suelos. Estos avances dieron lugar al sistema de clasificación de suelos para aeropuertos, que se elaboró durante la Segunda Guerra Mundial (Troya, 2019).

Para clasificar un tipo de suelo, se utiliza el índice de grupo, el cual determina si un material es adecuado o no para la construcción de carreteras. Los suelos se dividen en siete grupos, siendo los tres primeros (A-1, A-2, A-3) representativos de materiales granulares, los cuales se caracterizan por tener menos del 35% de su masa que pasa a través del tamiz N°200. Los grupos A-4 a A-7 corresponden a materiales finos (limos y arcillas), que se distinguen por superar el 35% de partículas que pasan el mismo tamiz (AASHTO M-145).

- **Criterios de clasificación**

Tamaño de grano

Tabla 1: Tipo de suelo según el tamaño de grano

Tipo de suelo	# Tamiz
Grava	< a 76,2 mm (3") hasta el tamiz N°10 (2mm)
Arena Gruesa	< a 2mm hasta el tamiz N° 40 (0,0425 mm)
Arena Fina	< a 0,425 mm hasta tamiz N°200 (0,075)
Limos y arcillas	< al tamiz N°200 (0,075)

Fuente: AASHTO

- **Plasticidad**

La plasticidad de los suelos se evalúa mediante el índice de plasticidad, un parámetro que proporciona información sobre la capacidad de un suelo para deformarse sin fracturarse, lo que es crucial para comprender su comportamiento bajo carga. Este índice se clasifica de manera que un suelo es considerado limoso si su índice de plasticidad es menor o igual a 10, lo que indica que el suelo tiene una baja capacidad de deformación plástica. Por otro lado, si el índice de plasticidad es mayor o igual a 11, el suelo se clasifica como arcilloso, lo que significa que posee una mayor capacidad de retener agua y deformarse plásticamente, lo que afecta su compresibilidad y comportamiento mecánico en obras de ingeniería. Esta clasificación es fundamental para determinar la idoneidad de un suelo en proyectos de construcción, especialmente cuando se consideran aspectos como la estabilidad de la estructura y la facilidad de manejo del material. (GARZÓN, 2019)

- **Presencia de cantos o guijarros**

La presencia de cantos o guijarros hace referencia a aquellas partículas cuyo tamaño es superior a 75 mm. Aunque estas partículas suelen ser excluidas de las muestras utilizadas para pruebas estándar en la clasificación de suelos, su identificación y registro son importantes, su tamaño y forma pueden influir en las propiedades mecánicas y de compactación del suelo. Estos materiales, al ser de gran tamaño, pueden afectar la estabilidad y la facilidad de manipulación del suelo en proyectos de ingeniería, especialmente en la construcción de subrasantes y bases para carreteras, por lo que su presencia debe ser documentada para una evaluación adecuada. (VILEMA, 2020)

A continuación, se presenta una tabla que representa el Sistema AASHTO

Tabla 2:AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIAL GRANULAR (35% o menos para el tamiz #200)							MATERIALES LIMO- ARCILLOSO (más del 35% para el tamiz #200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-2-6
PORCENTAJES QUE PASAN POR TAMICES												
#10	≤ 50											
#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
LIMITES DE CONSISTENCIA												
LI			Np	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP < LL=30)	>41 (IP > LL=30)
IP	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
IG	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	
TIPOS DE MATERIALES CONSTITUYENTES	Fragmentos de Piedra, grava y arena	Arena Fina	Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos Limosos	Suelos arcillosos			
CALIDAD DE LA SUBRASANTE	Excelente a buena					Regular		Regular a mala				

Fuente: (AASHTO, 2017)

- **Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS**

En 1952, Arthur Casagrande presentó una clasificación de suelos que los divide en dos grandes grupos: los suelos gruesos y los suelos finos. Los suelos gruesos son aquellos en los cuales más del 50% de las partículas son retenidas por el tamiz N°50, mientras que los suelos finos se caracterizan por tener más del 50% de sus partículas que pasan a través del tamiz N°200. Para clasificar e identificar los diferentes tipos de suelos, se utiliza una nomenclatura específica compuesta por un prefijo, que generalmente son las iniciales de los términos en inglés, y un sufijo que se emplea para señalar las subdivisiones dentro de cada grupo. Esta clasificación es fundamental para la ingeniería geotécnica, facilita la interpretación del comportamiento del suelo en función de su tamaño de partícula y sus propiedades mecánicas (GARZÓN, 2019).

Tabla 3: Clasificación de suelos SUCS

SUELOS GRANULARES			
Prefijos		Sufijos	
G	Gravas	W	Bien graduado
		M	Limoso
S	Arena	P	Mal graduado
		C	Arcilloso
SUELOS FINOS			
Prefijos		Sufijos	
M	Limo	L	Baja plasticidad
C	Arcilla	H	Alta plasticidad
O	Orgánico		

Fuente: SUCS

Tabla 4: Clasificación de suelos SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos Del Grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
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.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: GW, GP, SW, SP. >12%- >GM, GC, SM, SC. 5 al 12%->casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu=D60/D10>4 Cc=(D30) ² /D10xD60 entre 1 y 3	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para-GW.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arenalimo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	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		Cu=D60/D10>6 Cc=(D30) ² /D10xD60 entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para-SW.	

		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
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	inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	Gráfica de plasticidad SUCS		
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.			
			OL	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.	

Fuente: SUCS

1.4. Propiedades índices de los agregados

- **Contenido de humedad (w%)**

La relación entre el peso del agua y el peso del contenido sólido de un material se conoce como el índice de humedad, el cual se expresa como un porcentaje (%), y se denota comúnmente como w%. Este parámetro es crucial en la mecánica de suelos, determina la cantidad de agua presente en el suelo en comparación con la cantidad de partículas sólidas. El índice de humedad influye en diversas propiedades del suelo, como su plasticidad, capacidad de compactación y comportamiento bajo carga, lo que lo convierte en un factor clave en la evaluación de su idoneidad para proyectos de construcción (BONILLA, 2020)

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Dónde:

W_w = Peso del agua

W_s = Peso de los sólidos

Grado de saturación del agua (Gw%)

La relación entre el volumen de agua y el volumen de los vacíos de un suelo se conoce como el índice de vacío, el cual se expresa en porcentaje. Este índice varía desde 0% cuando el suelo está completamente seco, hasta 100% cuando el suelo está totalmente saturado. El índice de vacío es un parámetro fundamental para entender las propiedades de retención de agua del suelo, y tiene un impacto significativo en su capacidad de drenaje, compresibilidad y comportamiento en condiciones de carga. Su determinación es esencial en la ingeniería geotécnica para el diseño y la planificación de proyectos que involucran suelos con diferentes características de humedad y vacíos (BONILLA, 2020)

$$G_w (\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Donde:

V_v = Volumen de Vacíos

V_w = Volumen de agua del suelo

- **Relación de vacíos (e)**

El índice de vacíos se define como la relación entre el volumen de los vacíos y el volumen de los sólidos de un suelo. Este valor puede variar considerablemente dependiendo de las características del suelo. Por ejemplo, en suelos como las arenas muy compactadas con finos, el índice de vacíos suele ser cercano a 0,25, mientras que, en arcillas altamente compresibles, este valor puede alcanzar hasta 1,5. El índice de vacíos es un parámetro clave en la mecánica de suelos, influye en la capacidad del suelo para retener agua, su compresibilidad y su comportamiento bajo carga. Su medición es esencial para evaluar la estabilidad y la capacidad de soporte de los suelos en proyectos de construcción (ARCOS, 2020)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde:

V_v = Volumen de Vacíos

V_s = Volumen de sólidos

- **Porosidad**

El índice de vacíos se refiere a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la masa del suelo. Cuando este índice es bajo, indica que el suelo tiene una alta densidad y, por lo tanto, presenta menos espacio vacío entre sus partículas. En cambio, cuando el índice de vacíos es alto, significa que el suelo contiene una mayor proporción de vacíos, lo que generalmente se traduce en una mayor compresibilidad. Este parámetro es esencial para evaluar la capacidad de carga y la estabilidad de un suelo, influye directamente en la forma en que el suelo se comportará bajo esfuerzos y en su capacidad para soportar estructuras

(ALTAMIRANO, 2020).

$$n (\%) = \frac{Vv}{Vm} * 100$$

Donde:

Vv = Volumen de Vacíos

Vm = Volumen de masa

- **Granulometría**

La granulometría de los suelos permite determinar el porcentaje de partículas que componen un suelo, clasificado según su tamaño. Para obtener estos porcentajes, se toma una muestra representativa que se pasa a través de tamices de diferentes aperturas, permitiendo que el material se retenga o pase dependiendo del tamaño de las partículas. Este análisis es crucial para predecir cómo se moverá el agua a través del suelo. Además, los sistemas de clasificación de suelos utilizan como punto de referencia el tamiz N°200 para diferenciar los suelos gruesos de los finos. (SAIT, 2022)

Existen varios parámetros importantes que se deben considerar al realizar un análisis granulométrico, los cuales se describen a continuación:

Diámetro efectivo (D10): Corresponde al tamaño de las partículas de material que pasan el 10% del tamiz. Este valor se expresa en milímetros (Materials, 2019).

Diámetro equiparable (D30): Representa el tamaño de las partículas que pasan el 30% del tamiz, y también se mide en milímetros (Materials, 2019).

Diámetro dimensional (D60): Es el tamaño de las partículas que pasan el 60% del tamiz, y se mide en milímetros (Materials, 2019).

Coefficiente de uniformidad (Cu): Este coeficiente se calcula como la relación entre el diámetro dimensional (D60) y el diámetro efectivo (D10). Si el valor de Cu es menor que 5, el suelo se considera muy uniforme; si se encuentra entre 5 y 20, es

poco uniforme; y si supera los 20, el suelo es bien graduado (Materials, 2019).

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

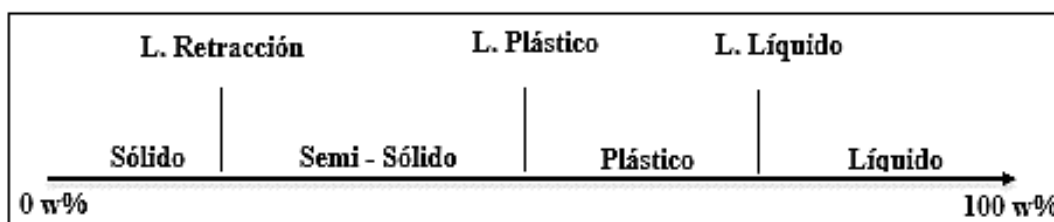
Coeficiente de curvatura (Cc): Este indicador cualitativo ayuda a determinar si un suelo está bien o mal graduado. Si el valor de Cc está entre 1 y 3, el suelo se considera bien graduado; si está fuera de este rango, se clasifica como mal graduado (Materials, 2019).

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

- **Límites de Atterberg**

También conocidos como límites de consistencia, estos límites definen los diferentes estados en los que un suelo fino puede encontrarse, según su contenido de humedad. Los suelos pueden estar en uno de los siguientes estados: sólido, semisólido, plástico, líquido o viscoso. Estos estados son esenciales para entender el comportamiento del suelo en función de su contenido de agua (Albert Atterberg, 1911).

Ilustración 1: Límites de Atterberg



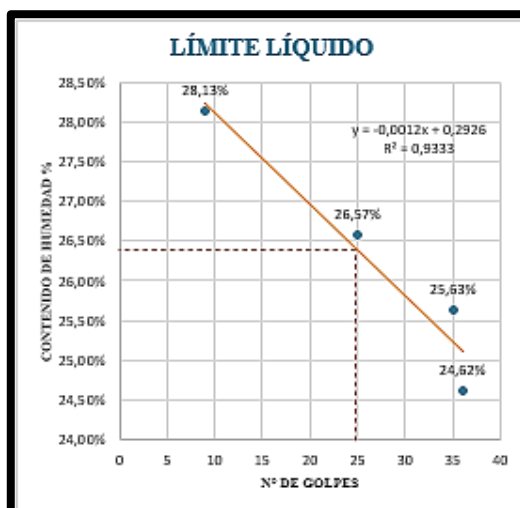
Fuente: J. Suriol.

1. Límite líquido:

El límite líquido se determina utilizando una gráfica que se construye a partir de cuatro puntos de datos, los cuales se proyectan en las abscisas a partir de 25 golpes. Al realizar esta proyección, se obtiene el porcentaje de humedad correspondiente al límite líquido del suelo. Este parámetro es esencial en la clasificación de suelos, indica el contenido de humedad en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. El límite líquido es un indicador clave para

evaluar la capacidad de retención de agua y el comportamiento de los suelos finos bajo diferentes condiciones de humedad (Albert Atterberg, 1911).

Ilustración 2: Gráfica para determinar LI



Fuente: Autor

2. Límite plástico (LP):

El límite plástico se refiere al mínimo porcentaje de humedad que un suelo puede tener para ser moldeado sin que se rompa o se agriete. Los suelos que no presentan un límite plástico se consideran no plásticos (VILEMA, 2020).

3. Índice plástico:

El índice plástico se calcula como la diferencia entre el límite líquido (LI) y el límite plástico (Lp), y refleja el rango de humedad en el cual un suelo se encuentra en su estado plástico semisólido. Sin embargo, en algunos tipos de suelos, como los finos o muy arenosos, no es posible determinar el índice de plasticidad. Es importante destacar que, si el límite plástico es mayor o igual al límite líquido, el suelo se considera no plástico (VILEMA, 2020).

$$I_p = LI - L_p$$

- **Gravedad específica (Gs)**

La gravedad específica se define como la relación entre el volumen de los sólidos del suelo y el volumen del agua, tomando en cuenta que ambos deben mantenerse a una temperatura constante y sin la presencia de aire. Este parámetro es crucial para determinar la densidad relativa del suelo y su comportamiento en diversas aplicaciones geotécnicas (Claudio, 2020).

Tabla 5: Gravedad Específica (G)

	Tipo de Suelo	Gravedad específica (G)
Inorgánico	Grava	2,65
	Arena gruesa a media	2,65
	Arena fina (limosa)	2,65
	Loess, polvo de piedra y limo arenoso	2,67
Inorgánico	Arena algo arenosa	2,65
	Limo arenoso	2,66
	Limo	2,67 – 2,70
	Arena arcillosa	2,67
	Limo arcillo arenoso	2,67
	Arcilla arenosa	2,70
	Arcilla limosa	2,75
	Arcilla	2,72 – 2,80
Orgánico	Limos con trazos de materia orgánica	2,30
	Lodos aluviales orgánicos	2,13 – 2,60
	Turba	1,50 – 2,15

Fuente: Djoenaidi, Apud Bardet.

Investigaciones sobre agregados finos en el contexto nacional e internacional

En el ámbito internacional, numerosos estudios han evaluado los agregados finos en la construcción. Un estudio significativo realizado por Pérez y Martínez (2020) en Chile destacó que las fuentes de agregados finos de ríos y canteras son las más consistentes en términos de propiedades físico-químicas, mientras que los agregados provenientes de minas sin un control adecuado de calidad presentan una mayor variabilidad. Este hallazgo subraya la importancia de un control exhaustivo en la extracción y selección de los agregados, así como la necesidad de realizar pruebas específicas de calidad antes de su uso en proyectos de

construcción. (Pérez, 2020)

A nivel nacional, Ramírez et al. (2019) estudiaron los agregados finos provenientes de diferentes minas en la provincia de Tungurahua. Los resultados mostraron una considerable variabilidad en la granulometría y el contenido de finos, lo que afectaba la resistencia final del concreto. Este estudio destacó la importancia de realizar un análisis exhaustivo de los agregados en el contexto local, dado que las características del suelo y las condiciones climáticas de la región influyen en la calidad del material. (Ramírez, 2019)

En comparación con estos estudios, González et al. (2018) en Ecuador analizaron el comportamiento de los agregados provenientes de las minas de la provincia de Azuay, concluyendo que los agregados con un mayor contenido de impurezas orgánicas presentaban un rendimiento inferior en la producción de concreto. (González, 2018)

Estos resultados son similares a los hallazgos de Pérez y Martínez (2020) en Chile, lo que resalta la necesidad de establecer estándares más estrictos para la evaluación de los agregados finos en Ecuador. (Pérez, 2020)

Metodologías empleadas para la evaluación de agregados finos

Las metodologías para la evaluación de los agregados finos incluyen diversas pruebas físico-químicas, siendo las más comunes el análisis granulométrico, la determinación de la densidad, la medición de la absorción de agua, y la prueba de resistencia a la abrasión. Estas pruebas permiten determinar la aptitud del agregado para su uso en la construcción, asegurando que cumple con los estándares establecidos en las normativas internacionales y nacionales.

La granulometría, evaluada mediante la ASTM C136, proporciona una distribución de tamaños de las partículas del agregado, lo que permite determinar su aptitud para el diseño de mezclas de concreto. La densidad, determinada por ASTM C127, es crucial para evaluar la estabilidad y la resistencia potencial del agregado,

mientras que la absorción de agua (medida por AASHTO T11) determina el comportamiento del material en condiciones de alta humedad. La resistencia a la abrasión mide la durabilidad del agregado bajo condiciones de desgaste, lo que es esencial para garantizar la longevidad del concreto. (ASTM, ASTM C136-19: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, 2019).

CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Generalidades

En este capítulo se enmarca en el ámbito de la ingeniería civil, específicamente en el análisis de materiales para la construcción. El enfoque principal de este estudio es cuantitativo, busca recolectar datos numéricos relacionados con las propiedades físico-químicas de los agregados finos provenientes de dos minas del cantón Ambato. A través de un enfoque cuantitativo, se pretende establecer una comparación objetiva y precisa entre los dos tipos de agregados finos en base a mediciones estándar, lo cual es esencial para determinar su idoneidad para su uso en la construcción de concreto.

El análisis cuantitativo se justifica principalmente por la naturaleza del estudio, que se basa en la medición y comparación de características físicas específicas, tales como la granulometría, la densidad aparente, la absorción de agua y el contenido de impurezas orgánicas de los agregados. Estos parámetros son fundamentales para evaluar la calidad de los materiales y, por lo tanto, para decidir cuál de los dos agregados es más adecuado para ser utilizado en la producción de concreto, conforme a las normativas nacionales e internacionales.

El estudio se basará en un diseño experimental controlado, en el cual se someterán las muestras de los dos agregados a pruebas estandarizadas siguiendo los protocolos establecidos por las normas ASTM C136, ASTM C127, AASHTO T11, AASHTO T29 y otras que rigen las especificaciones de calidad para materiales de construcción en Ecuador. La recolección de datos permitirá generar un análisis estadístico robusto, proporcionando resultados que serán utilizados para tomar decisiones fundamentadas en la industria de la construcción.

2.2. Población y muestra

En el contexto de este estudio, la población estará constituida por todos los agregados finos extraídos de las minas de Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz,

ubicadas en el cantón Ambato. Estos materiales son comúnmente utilizados para la producción de concreto y otros elementos de construcción en la región, lo que hace que sean representativos de los agregados utilizados en la construcción en esta área geográfica.

La muestra será seleccionada de manera aleatoria estratificada para garantizar la representatividad y minimizar posibles sesgos en la recolección de datos. De cada mina, se tomarán al menos 6 submuestras de agregados finos en diferentes puntos y momentos de extracción. Esta técnica asegura que las muestras sean representativas de las variaciones naturales que pueden existir en los materiales extraídos de las minas debido a factores como la profundidad de la extracción, las condiciones geológicas y las variaciones en el proceso de extracción.

Cada muestra será procesada por separado en el laboratorio para obtener los resultados de las pruebas de granulometría, densidad, absorción de agua y contenido de impurezas orgánicas. De este modo, se asegurará que los resultados sean fiables y representen adecuadamente las características de los agregados de ambas minas.

La selección de la muestra se justifica por el hecho de que no se cuenta con datos previos sobre las propiedades específicas de los agregados finos en estas minas, y es esencial obtener muestras diversas que representen la variabilidad de los materiales en el proceso de extracción.

2.3. Tipo de Recolección de la información

La recolección de información se llevará a cabo utilizando una combinación de métodos experimentales y métodos de análisis teóricos para obtener los datos necesarios y garantizar la calidad de la investigación. A continuación, se describen los métodos y técnicas específicas que se emplearán para recolectar y procesar la información:

- **Estudios preliminares**

Extracción de muestras

Se extrajo arena de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz a continuación imágenes panorámicas de las minas.

Ilustración 3:Mina Playa Llagchoa



Fuente: Autor

Ilustración 4:Mina Alvarado Ortiz



Fuente: Autor

- **Métodos experimentales:**

Proceso para la determinación de propiedades índices de los agregados:

Contenido de humedad (w%)

La determinación de la relación entre el contenido de humedad y las características del agregado es crucial para entender su contribución a la humedad total en el suelo. Este análisis permite identificar si el agregado contribuye naturalmente con humedad o si, por el contrario, no influye en la cantidad de agua presente en el material. El contenido de humedad es una de las propiedades más relevantes para establecer las interacciones entre las diversas fases del suelo (aire, agua y sólidos). Además, este parámetro es fundamental para analizar el comportamiento del suelo, refleja la cantidad de agua disponible en relación con el volumen del suelo, lo que afecta directamente la estabilidad, la compactación y las propiedades físicas del mismo (Smith et al., 2021).

El procedimiento para determinar el contenido de humedad natural, según la norma ASTM D2216-19, establece un método estandarizado para medir la cantidad de agua contenida en suelos, rocas o materiales similares a través de la relación de masa. Existen dos enfoques principales para llevar a cabo este ensayo: el Método A, en el que el contenido de humedad se registra con una precisión de 1%, y el Método B, que ofrece una mayor precisión, registrando el contenido de humedad al 0.1%.

En este caso, se llevó a cabo el ensayo para las muestras de agregado fino, siguiendo el procedimiento especificado. Para la arena, se utilizó una muestra mínima de 100 gramos, de acuerdo con las indicaciones de la Tabla 5, que es la cantidad requerida para materiales que pasan a través del tamiz No. 4 (4.75 mm), utilizando el Método B para obtener una mayor precisión en los resultados. (ASTM, ASTM C136-19: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, 2019)

Tabla 6: Requisitos mínimos prueba y legibilidad de equilibrio

Tamaño máximo de Partícula (100% de paso)		Método A		Método B	
		Contenido de agua Registrado a +- 1%		Contenido de agua registrado a +- 0.1%	
Tamaño del tamiz	Tamaño de tamiz alternativo	Masa mínima de muestra	Legibilidad de equilibrio (g)	Masa mínima de muestra	Legibilidad de equilibrio (g)
75,0 mm	3 in	5kg	10	50 kg	10
37,5 mm	1 ½ in	1kg	10	10kg	10
19,0 mm	¾ in	250 g	0,1	2,5 kg	0,1
9,5 mm	3/8 in	50 g	0,1	500 g	0,1
4,75 mm	No.4	-	-	100 g	0,01
2,00 mm	No.10	-	-	20 g	0,01

Fuente: (ASTM, ASTM C136-19: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, 2019)

Ilustración 5: Ingreso de muestras al horno



Fuente: Autor

Ilustración 6: Muestras



Fuente: Autor

- **Límites de Atterberg**

El índice de plasticidad es una medida que indica el intervalo de contenido de humedad en el cual un suelo mantiene su comportamiento plástico. Este índice es fundamental para evaluar la trabajabilidad del suelo en función de su contenido de

agua. En cuanto al procedimiento para determinar los límites de Atterberg, según la norma INEN 691/692, este ensayo se llevó a cabo en la arena, se utilizan dos métodos: el método multipunto y el de un punto. El procedimiento para seguir debe ser determinado por la autoridad correspondiente; en ausencia de una especificación, se emplea el método multipunto.

Para este ensayo, se utilizó el método multipunto, para el cual se requería una muestra de 200 gramos de material que pasara por el tamiz No. 40 (425 micras). La muestra fue humedecida con agua de manera controlada en un mortero y mezclada cuidadosamente con un pistilo o espátula. Luego, la mezcla se colocó en la Copa de Casagrande, asegurándose de que no quedaran residuos de suelo ni agua, como se ilustra en la figura 6.A. Utilizando un acanalador, se creó un surco en el centro de la muestra, siguiendo las indicaciones de la figura 6.B., con un máximo de seis pasadas, donde solo la última debe llegar al fondo de la copa.

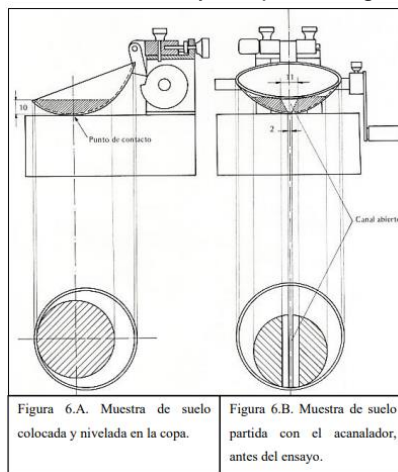
Se procedió a golpear la copa hasta lograr que el surco se cerrara con 25 a 35 golpes, conforme a lo especificado en la figura 7. Posteriormente, se añadió agua progresivamente para alcanzar el número de golpes requerido en el Anexo 2. Es importante realizar al menos tres repeticiones de este proceso dentro de los rangos establecidos, con un margen de error de ± 1 golpe. Finalmente, se extrajeron aproximadamente 10 gramos de la zona donde se unieron los bordes del surco para la determinación del contenido de humedad (ASTM2018)

Límite líquido:

Atterberg definió el límite líquido como la transición entre el estado semilíquido y el plástico de un suelo. Este límite establece el contenido máximo de humedad que un suelo puede tener para mantener su capacidad de ser moldeado y comportarse como un material plástico. El ensayo para determinar este límite se realiza utilizando la copa de Casagrande, conforme a la norma AASHTO T-90-70, que establece una relación entre el número de golpes dados sobre la muestra y el contenido de humedad. Para llevar a cabo este ensayo, se requieren al menos cuatro muestras con diferentes niveles de humedad, abarcando un rango de entre 1 y 40 golpes (Aldas, 2023) (Smith, 2021) (ASTM, STANDARD TEST METHODS

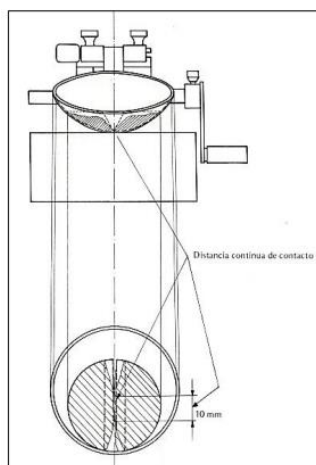
FOR LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT, AND PLASTICITY INDEX OF SOILS (ASTM D4318-17), 2021).

Ilustración 7: Ensayo copa Casagrande



Fuente: Copa Casagrande, INEN.

Ilustración 8: Muestra después del ensayo



Fuente: INEN.

- **Análisis Granulométrico:**

Este es uno de los métodos más importantes en la evaluación de agregados finos, permite determinar la distribución del tamaño de las partículas en las muestras de agregado. Se realizará según el procedimiento estipulado en la norma ASTM C136 (2018), utilizando tamices con diferentes tamaños de malla. Los resultados se expresarán en forma de curvas granulométricas que compararán las distribuciones de tamaño de las partículas en los agregados de ambas minas.

Ilustración 9: Ensayo de granulometría

Autor: Leonardo Pérez

Se utilizó una muestra de 1000 gramos de material previamente secado en un horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C durante un período de 24 ± 4 horas. Posteriormente, se organizó una serie de tamices de acuerdo con las especificaciones detalladas en la Tabla 7. Con el debido cuidado para evitar derrames, se introdujo la muestra en los tamices, asegurándose de que las partículas se distribuyeran de manera uniforme. Luego, la torre de tamices que contenía la muestra se colocó sobre una tamizadora eléctrica, la cual genera vibraciones que permiten una mejor separación de las partículas. Este proceso facilita el tamizado y asegura que todas las partículas entren en contacto con las mallas del tamiz, favoreciendo así un análisis más preciso de las diferentes fracciones del material.

Tabla 7: Abertura en milímetros de tamices

#Tamiz	Abertura (mm)
4	4.75
8	2.36
10	2
16	1.18
30	0.6
40	0.425
50	0.3
60	0.25
100	0.15
200	0.075

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM)

Ilustración 10: Ensayo de granulometría

Autor: Leonardo Pérez

Ilustración 11: Pesaje de lo que retiene el tamiz #200

Fuente: Autor

- **Determinación de la densidad relativa**

La densidad de los agregados finos es una propiedad crítica para determinar el peso unitario del material, lo que influye en la cantidad de cemento y agua necesarios para obtener una mezcla de concreto de calidad. Esta prueba se realizará conforme a la norma ASTM C127 (2018). Se emplearán balanzas de alta precisión para medir el volumen y el peso de las muestras de agregado.

En el caso de la arena (ASTM C128-15), se utilizó una muestra de aproximadamente 1000 gramos que fue secada previamente. Esta muestra se sumergió en agua durante un período de 24 ± 4 horas. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión, se retiró la muestra del agua y se dejó secar de manera controlada, extendiéndola sobre una bandeja y agitándola periódicamente para asegurar un secado uniforme. Además, se permitió la circulación de aire mediante un agitador para lograr la condición SSS (saturado superficialmente seco). Para verificar la humedad superficial de la muestra, se colocaron dos capas de arena en la campana, golpeándolas 25 veces con el pistón por acción de la gravedad. Si al retirar la campana el material se derramaba, se confirmaba que se había alcanzado la condición SSS, lo que permitía continuar con el ensayo.

El procedimiento continuó con el método gravimétrico, en el cual se llenó un picnómetro con agua hasta la marca de aforo y se pesó. Luego, se retiró aproximadamente tres cuartas partes del agua y se añadieron entre 50 ± 10 gramos de árido, para luego completar el aforo con más agua. Para eliminar los vacíos de aire presentes en la muestra, el picnómetro se colocó en un baño maría durante unos 15 minutos. Después de este tiempo, se retiró, se secó con una franela y se giró para eliminar cualquier burbuja de aire residual. Finalmente, se permitió que el picnómetro y su contenido se enfriaran hasta alcanzar una temperatura de 21°C . Si fuera necesario, se ajustó nuevamente el aforo y se registraron tanto la temperatura del agua como el peso final del picnómetro.

Ilustración 12: ensayo método gravimétrico







Autor: Leonardo Pérez



- **Técnicas e instrumentos:**

La recolección de los datos se realizará con instrumentos de precisión como tamices de malla metálica, balanzas de alta precisión, cilindros medidores y termómetros. Además, se emplearán softwares estadísticos como Excel para organizar y analizar los resultados de las pruebas. Estos programas facilitarán el cálculo de promedios, desviaciones estándar, y el análisis de variancia de los resultados obtenidos.

Tabla 8: Materiales

EQUIPOS	MARCA	GRÁFICO
Pala	Bellota	
Flexómetro	Stanley fatmax 16'	
Balanza	Sartorius M- power	
cuaderno de apuntes.	Norma	
Recipiente	SM	
Horno	Lt OF-105	

Granulometría AASHTO T 88 2013		
Juego de Tamices	Humboldt	
Brocha	Wilson	
Limite Líquido (Copa Casagrande) AASHTO T88 2013		
Copa Casagrande	Humboldt	
Espátula		
Acanalador		
Pistillo	Porcelana	
Mortero		

Bandeja cuadrada Metálica	SM	
Probeta graduada	SM	

Fuente: Autor

Validación y confiabilidad:

La validez de los instrumentos será garantizada mediante la calibración periódica de los equipos de medición, siguiendo las directrices de las normas internacionales. Además, se utilizarán procedimientos estandarizados en todas las pruebas de laboratorio, asegurando que las mediciones sean precisas y consistentes.

La confiabilidad de los resultados se logrará mediante la repetición de las pruebas en diferentes muestras de cada mina. Cada muestra será analizada al menos dos veces para verificar que los resultados sean consistentes. Además, se emplearán técnicas de control de calidad, como la revisión periódica de los procedimientos experimentales y la documentación detallada de cada paso del proceso.

2.4. Procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de la información obtenida en las pruebas de laboratorio se llevará a cabo utilizando métodos estadísticos adecuados para analizar la variabilidad y las diferencias entre las propiedades de los agregados finos de las dos minas. Los datos de cada prueba se organizarán en tablas.

CAPÍTULO III. PROPUESTA

Propiedades índices de los agregados finos

Al realizarse los estudios correspondientes de las muestras en laboratorio y siguiendo los parámetros necesarios se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9: Nomenclatura propiedades índices

Nomenclatura	Descripción
%w	Contenido de humedad
G _s	Grado de saturación
G _w	Grado de saturación del agua
G _a	Grado de saturación del aire
C _c	Coefficiente de curvatura
C _u	Coefficiente de uniformidad
%W _{opt}	Contenido de humedad óptima
γ _d	Densidad seca
γ _{dmax}	Densidad seca máxima
n%	Porosidad
E	Relación de vacíos

Fuente: Autor

3.1. Contenido de humedad

Se llevó a cabo una evaluación del contenido de humedad natural en las muestras de arena antes de su mezcla para la fabricación de materiales de construcción. El propósito de esta evaluación fue determinar la cantidad de agua presente de manera natural en los agregados, lo que permitirá calcular la cantidad exacta de agua que debe ser añadida durante el proceso de fabricación de los diferentes materiales. Solo se incorporará una porción de la humedad óptima, dado que tanto el agregado grueso como el fino ya contienen un porcentaje de humedad. De este modo, se busca optimizar el uso del agua en el proceso de conformación del material (Garzón, 2020). Hay que tener en cuenta que el contenido de humedad

natural va a variar dependiendo el estado climático, en donde predomina en temporada de lluvias intensas (invierno) que, en verano, al ser el clima un factor importante las muestras fueron recolectadas en condiciones óptimas.

En su publicación "Humedad en agregados y control de inventarios", el Ing. Garavito sugiere que la humedad de los agregados, tanto finos como gruesos, debe ser inferior al 8% para la arena y al 3% para las gravas. Para lo cual teniendo en cuenta esta publicación se obtuvo los siguientes resultados representados en el siguiente cuadro de valores de contenido de humedad. (E.Garavito)

Tabla 10: Resultados de contenido de humedad natural

CONTENIDO DE HUMEDAD					
MINA	#MUESTR A	VALOR %	PROMEDIO %	LÍMITE RECOMENDADO	OBSERVACIÓ N
PLAYA LLAGCHO A	1	8.52	7.42	< 8%	El promedio de las muestras de las dos minas está dentro del límite recomendado
	2	7.52			
	3	7.84			
	4	7.92			
	5	6.46			
	6	6.29			
ALVARAD O ORTIZ	1	0.97	0.94	< 8%	
	2	1.03			
	3	0.84			
	4	0.82			
	5	0.79			
	6	1.2			

Fuente: Autor

Como se observó en los resultados obtenidos de las muestras recolectadas de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz, el contenido de humedad varió entre un 0.94% y un 8.52%. En el caso de las muestras de la mina Playa Llagchoa, la humedad fue más alta, con un promedio de 8.09%, que se encuentra dentro del límite recomendado (<8%), según las recomendaciones del Ing. Garavito. Esto es fundamental para la optimización de la mezcla y el proceso de fabricación, dado que, aunque el agua debe ser controlada, su presencia natural en los agregados puede influir en la cantidad de agua que se debe añadir a la mezcla.

3.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son fundamentales para determinar la plasticidad de los suelos finos. Sin embargo, al analizar el comportamiento de la arena, se observó que tanto las muestras de la mina Playa Llagchoa como las de la mina Alvarado Ortiz no presentaban plasticidad significativa, lo cual es típico de los suelos arenosos no cohesivos.

Tabla 11: Resultados de contenido de humedad natural

MINA	PLAYA LLAGCHOA	ALVARADO ORTIZ	LÍMITES (INEN)
MATERIAL	ARENA	ARENA	
LIMITES ATTERBERG DE	VALOR	VALOR	VALOR
LÍMITE LÍQUIDO	15.22	11.13	≤ 25
LÍMITE PLÁSTICO	25.12	20.31	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE	-4.32	-1.6	< 6

Fuente: Autor

En el caso de las muestras analizadas, el índice de plasticidad fue negativo, lo que confirma que las arenas obtenidas no poseen una plasticidad definida. Este tipo de suelo se clasifica como no plástico, lo cual es consistente con el comportamiento esperado en los materiales para construcción, que deben tener una mínima capacidad de deformación plástica. La ausencia de plasticidad es beneficiosa en aplicaciones como la fabricación de concreto, facilita una mejor compactación y control del comportamiento de la mezcla (Altamirano, 2020).

3.3. Granulometría

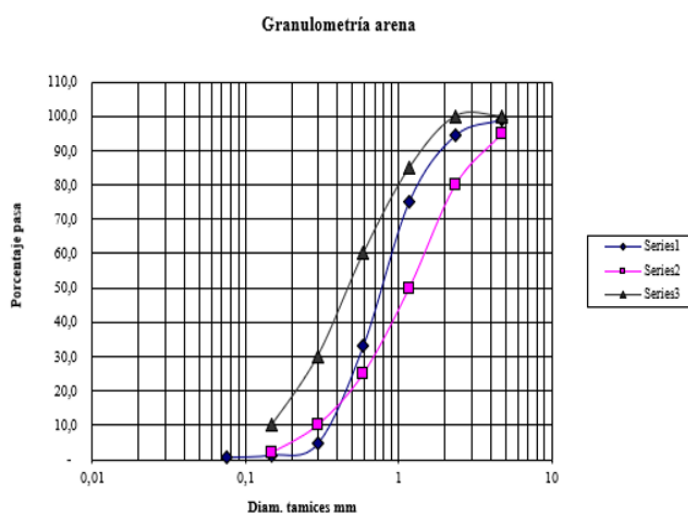
Al tener conocimiento del tipo de suelo estudiado se realizó la granulometría para comprobar si se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ASTM. En la siguiente imagen se observa el porcentaje de suelo que pasa por cada tamiz, siendo esta muestra perteneciente a la mina Alvarado Ortiz.

Serie 1: Representa el material de estudio, es decir, la muestra de arena obtenida de la mina Alvarado Ortiz.

Serie 2 y serie 3: curvas Límites

Al observar la imagen se determinó el módulo de finura de 2.93 por lo tanto su clasificación pertenece a una arena mal graduada SP según clasificación ASTM.

Ilustración 13: Granulometría mina Alvarado Ortiz

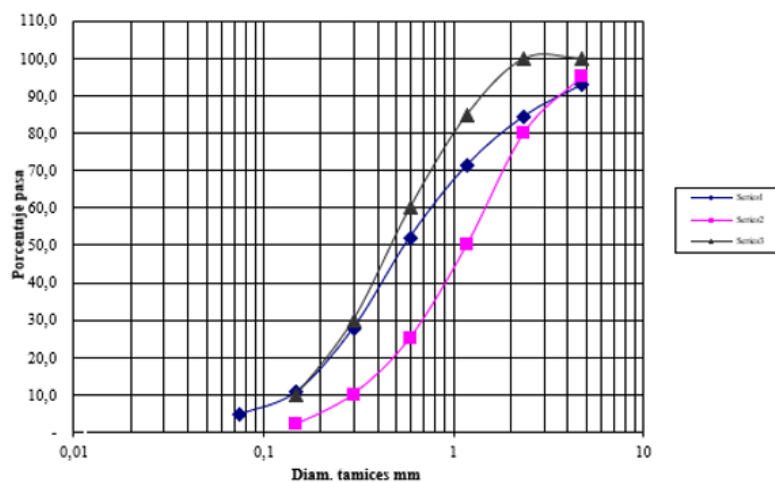


Autor: Leonardo Pérez

Serie 1: Representa el material de estudio, es decir, la muestra de arena obtenida de la mina Playa Llagchoa.

Serie 2 y serie 3: curvas Límites

Al observar la imagen se determinó el módulo de finura de 2.61 por lo tanto su clasificación pertenece a una arena bien graduada SW según clasificación ASTM.

Ilustración 14: Granulometría mina Playa Llagchoa**Granulometría arena**

Autor: Leonardo Pérez

Tabla de resumen de resultados de ensayos realizados**Tabla 12:**Tabla resumen Resultados Mina Playa Llagchoa

NOMBRE DE ENSAYO	MINA PLAYA LLAGCHOA						
#MUESTRA	1	2	3	4	5	6	TOTAL
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.52	7.52	7.84	7.92	6.46	6.29	7.42
GRANULOMETRÍA	SW	SW	SW	SW	SW	SW	ARENA BIEN GRADUADA
PESO UNITARIO	1.468	1.485	1.513	1.481	1.475	1.511	1.489
PESO ESPECÍFICO	2.665	2.668	2.661	2.663	2.664	2.655	2.663

Fuente: Autor

Para la mina Playa Llagchoa después de realizar el análisis de 6 muestras se determinó el tipo de material siendo esta arena bien graduada, con un contenido de humedad de 8.09%, un peso unitario de 1.489 y finalmente un peso específico de 2.663 que se encuentran dentro de los rangos requeridos por las normativas establecidas.

Tabla 13:Tabla resumen Resultados Mina Alvarado Ortiz

NOMBRE DE ENSAYO	MINA ALVARADO ORTIZ						
#MUESTRA	1	2	3	4	5	6	TOTAL
CONTENIDO DE HUMEDAD	0.97	1.03	0.84	0.82	0.79	1.2	0.94
GRANULOMETRÍA	SP	SP	SP	SP	SP	SP	ARENA MAL GRADUADA
PESO UNITARIO	1.550	1.553	1.551	1.549	1.557	1.545	1.551
PESO ESPECÍFICO	2.746	2.755	2.742	2.739	2.749	2.758	2.749

Fuente: Autor

En la mina Alvarado Ortiz se determinó después del estudio de 6 muestras correspondientes, dando como resultado según SUCS una arena mal graduada con un contenido de humedad de 0.94%, un peso unitario de 1.551 y finalmente un peso específico de 2.766.

3.4. Análisis comparativo

- **Contenido de humedad:**

La MINA PLAYA LLAGCHOA tiene un contenido de humedad más alto, lo cual puede ser un factor importante dependiendo de la aplicación. Si el uso de la arena requiere poca humedad o un secado rápido, la MINA ALVARADO ORTIZ sería preferible. Sin embargo, en aplicaciones donde la humedad no sea un inconveniente (como en ciertos tipos de mezclas o en zonas donde la humedad sea un beneficio), la MINA PLAYA LLAGCHOA podría ser adecuada.

- **Granulometría:**

La MINA PLAYA LLAGCHOA tiene una arena bien graduada (SW), lo que es ventajoso para muchas aplicaciones, especialmente la construcción. La MINA ALVARADO ORTIZ, con su arena mal graduada (SP), podría ser menos versátil en aplicaciones que requieren una distribución más uniforme de tamaños de partículas, como en concreto de alta resistencia.

- **Peso unitario y peso específico:**

Los valores de la MINA PLAYA LLAGCHOA son un poco más bajos, lo que puede reflejar una mayor porosidad o contenido de partículas finas. Esto no necesariamente es un inconveniente, pero puede influir en aplicaciones específicas donde la densidad y la resistencia son factores clave.

En el caso de las muestras de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz, los módulos de finura fueron 2.61 y 2.93, respectivamente. El módulo de finura de la muestra de la mina Playa Llagchoa indica que se trata de una arena bien graduada (SW), lo que es favorable para muchas aplicaciones de construcción debido a su capacidad para formar mezclas más estables y resistentes.

Por otro lado, la muestra de la mina Alvarado Ortiz, con un módulo de finura de 2.93, está clasificada como una arena mal graduada (SP). Este tipo de arena no tiene una distribución tan uniforme de tamaños de partículas, lo que puede afectar negativamente la cohesión en mezclas de concreto.

La granulometría también se evalúa a través de los porcentajes de retención en los tamices estándar. Según la norma ASTM C33, los porcentajes de material retenido en los tamices No. 4, No. 8 y No. 16 son parámetros clave para evaluar la calidad del agregado fino. El cumplimiento de estos límites es esencial para garantizar que los agregados sean adecuados para la producción de concreto con las propiedades deseadas.

Los valores de peso unitario de las muestras de arena de la mina Playa Llagchoa variaron entre 1.468 g/cm^3 y 1.513 g/cm^3 , mientras que las muestras de la mina Alvarado Ortiz mostraron valores entre 1.545 g/cm^3 y 1.553 g/cm^3 . Estos valores caen dentro del rango aceptable según las normas, aunque la arena de la mina Alvarado Ortiz muestra una densidad ligeramente mayor. Esto podría implicar una mayor resistencia en ciertos tipos de aplicaciones, pero también podría reflejar una mayor porosidad.

Tabla 14:Tabla resumen peso unitario

PESO UNITARIO					
MINA	#MUESTR A	VALOR (g/cm ³)	PROMEDIO %	LÍMITE RECOMENDAD O (g/cm ³)	OBSERVACIÓ N
PLAYA LLAGCHO A	1	1.468	1.489	1.468 - 1.513 g/cm ³	El promedio de las muestras de las dos minas está dentro del límite recomendado
	2	1.485			
	3	1.513			
	4	1.481			
	5	1.475			
	6	1.511			
ALVARAD O ORTIZ	1	1.550	1.551	1.468 - 1.513 g/cm ³	
	2	1.553			
	3	1.551			
	4	1.549			
	5	1.557			
	6	1.545			

Fuente: Autor

El peso específico de la MINA PLAYA LLAGCHOA varía entre 2.663 y 2.749, lo cual es ligeramente más bajo que el de la MINA ALVARADO ORTIZ (2.761 a 2.769). Un peso específico más bajo puede indicar que la arena de la MINA PLAYA LLAGCHOA es un poco más ligera y menos densa, lo que también podría influir en su comportamiento en ciertos procesos.

Tabla 15:Tabla resumen peso específico

PESO ESPECÍFICO					
MINA	#MUESTR A	VALOR %	PROMEDIO %	LÍMITE RECOMENDADO	OBSERVACIÓ N
PLAYA LLAGCHO A	1	2.665	2.663	2.60 -2.75 g/cm ³	El promedio de las muestras de las dos minas está dentro del límite recomendado
	2	2.668			
	3	2.661			
	4	2.663			
	5	2.664			
	6	2.655			
ALVARAD O ORTIZ	1	2.746	2.749	2.60 -2.75 g/cm ³	
	2	2.755			
	3	2.742			
	4	2.739			
	5	2.749			
	6	2.758			

Fuente: Autor

Cumplimiento según normativas vigentes

- **NORMA ASTM C128**

La norma ASTM C128 especifica los métodos para la determinación de la densidad específica (peso específico) y la absorción de agua de los agregados finos. Los límites para los agregados finos (como la arena) según esta norma son los siguientes

- **Densidad Específica (Peso Específico)**

La densidad específica de los agregados finos (arena) generalmente varía entre 2.60 y 2.75 g/cm³. Este es el rango típico que se observa en los agregados de arena, aunque puede variar dependiendo de la fuente y el tipo de material. Con relación y citando la tabla 11 y 12 que pertenece al resumen de los resultados obtenidos para cada mina se puede observar que tanto la mina Playas Llagchoa y Alvarado Ortiz se encuentran dentro de este rango siendo estos pesos unitarios 2.663 y 2.749 respectivamente.

- **Absorción de Agua y Cumplimiento de Normas ASTM C128**

La absorción de agua de los agregados finos es un parámetro crucial porque afecta la cantidad de agua en la mezcla de concreto.

En términos generales, los límites de absorción para los agregados finos suelen ser:

Absorción menor al 2%: Idealmente, los agregados finos deben tener una absorción baja, esto implica que no absorben grandes cantidades de agua que podrían afectar la consistencia de la mezcla de concreto. (ASTM2018)

Absorción mayor al 2%: Puede ser considerada alta y podría indicar que el material absorbe demasiada agua, lo que afectaría la cantidad de agua disponible en la

mezcla para la hidratación del cemento. (ASTM2018).

Considerando lo expuesto anteriormente con las muestras ensayadas de las minas Playa Llagchoa y Alvarado Ortiz se determina que los rangos de absorción son óptimos se encuentran debajo del límite recomendado teniendo estos porcentajes del 1.37% y 0.843% respectivamente siendo estas menores al 2% expuestos por la norma. Este bajo porcentaje de absorción es ideal para la fabricación de concreto, minimiza la cantidad de agua adicional que se requiere para compensar la absorción del material.

Tabla 16:Tabla resumen % absorción de agua

PESO ESPECÍFICO					
% ABSORCIÓN DE AGUA					
MINA	#MUESTRA	% ABSORCIÓN	PROMEDIO %	LÍMITE RECOMENDADO	OBSERVACIÓN
PLAYA LLAGCHOA	1	1.358	1.370	< 2%	El promedio de las muestras de las dos minas estan dentro del límite recomendado
	2	1.364			
	3	1.356			
	4	1.352			
	5	1.428			
	6	1.358			
ALVARADO ORTIZ	1	0.97	0.843	< 2%	
	2	0.68			
	3	0.74			
	4	0.82			
	5	0.65			
	6	1.2			

Autor: Leonardo Pérez

- **NORMA ASTM C136/ AASHTO T27**

En esta norma se describe el procedimiento para el análisis granulométrico de los agregados. El módulo de finura de los agregados finos debe estar entre 2.3 y 3.1 para ser adecuado para concreto.

Límites de retención en tamices para arena:

La ASTM C33 establece requisitos específicos sobre la distribución granulométrica de los agregados finos para su uso en concreto. Según esta norma, la arena debe cumplir con los siguientes límites en los tamices estándar:

Tamiz No. 4 (4.75 mm): No debe retener más del 5% del material.

Tamiz No. 8 (2.36 mm): La retención debe estar entre 10% y 40%.

Tamiz No. 16 (1.18 mm): El rango de retención debe ser entre 15% y 50%.

Tamiz No. 30 (600 μm): La retención debe estar entre 25% y 60%.

Tamiz No. 50 (300 μm): La retención debe estar entre 30% y 75%.

Tamiz No. 100 (150 μm): El material retenido debe ser entre 50% y 100%.

Después de considerar todos estos parámetros se determina que la granulometría obtenida del producto de los ensayos realizados en las muestras de arena de las minas Playas Llagchoa y Alvarado Ortiz se encuentran dentro del rango establecido siendo el módulo de finura de 2.61 y 2.93 respectivamente, lo que nos permite concluir que se encuentra dentro del rango establecido según la norma ASTM C 136 la cual indica el intervalo de módulo de finura de 2.3 y 3.1.

- **NORMA AASHTO T29.**

Esta norma establece el procedimiento para la ejecución del ensayo para determinar la densidad aparente (Peso Unitario), donde no especifica la densidad aparente de agregados finos, pero usualmente oscilan entre 1.6 a 2.8 g/cm³.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó las muestras de agregado fino que en este caso se lo clasificó como tipo de suelo arena de las minas involucradas tanto en PLAYA LLAGCHOA como en la mina ALVARADO ORTIZ mediante los ensayos correspondientes de granulometría, contenido de humedad y densidad, teniendo como resultado arena bien graduada SW para la mina PLAYA LLAGCHOA y arena mal graduada SP para la mina ALVARADO ORTIZ.
- Se realizó el análisis comparativo entre las dos minas en mención y según los resultados obtenidos en los ensayos realizados se concluye que las muestras están en óptimas condiciones para ser utilizadas en la construcción, especialmente en mezclas de concreto o en aplicaciones que requieren una buena compactación, la MINA PLAYA LLAGCHOA con su arena bien graduada (SW) es probablemente una mejor opción, a pesar de tener un contenido de humedad más alto. La buena graduación de esta arena le da ventajas en términos de resistencia y versatilidad.
- Se verificó el cumplimiento con las normativas vigentes ASTM C128, ASTM C136, AASHTO T27, AASHTO T11, AASHTO T29. Teniendo como resultados que las muestras ensayadas tanto de la mina PLAYA LLAGCHO y ALVARADO ORTIZ se encuentran dentro de los rangos establecidos en las diferentes normativas, donde como resultado se pueden definir como arena de calidad, teniendo solo una variación en la granulometría, siendo un factor que se puede controlar.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso obligatorio de equipo de seguridad adecuado en todo momento al trabajar en el laboratorio de suelos, con el fin de minimizar riesgos y prevenir accidentes. Además, es fundamental mantener los equipos de laboratorio en condiciones óptimas de funcionamiento, realizando revisiones y mantenimiento periódicos.
- Se recomienda que cada equipo debe ser correctamente etiquetado para asegurar que se utilicen los instrumentos adecuados para cada ensayo y evitar errores o alteración de los resultados. También se sugiere almacenar los materiales y herramientas de manera organizada, siguiendo procedimientos estandarizados, lo que garantiza un entorno seguro y eficiente, y asegura que la información obtenida en los ensayos sea confiable y precisa.
- Se recomienda el uso de la arena de la MINA PLAYA LLAGCHOA como material utilizado en la construcción debido a la buena graduación de sus partículas que mejoran la calidad en materiales constructivos. Sin embargo, si se requieren requisitos más específicos o si la humedad es un factor importante, se debería considerar otros detalles adicionales o realizar más pruebas.
- Se recomienda que, si la uniformidad del tamaño de partículas no es tan importante y la arena será usada en aplicaciones menos exigentes en cuanto a compactación, la MINA ALVARADO ORTIZ podría ser una opción adecuada, aunque su mala graduación limita su rendimiento en la mayoría de las aplicaciones de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (2017). Standard method of test for materials finer than 75- μm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Albert Atterberg, U. d. (1911). "International Union of Soil Sciences IUSS," Límites plástico,. Alemania .

Aldas, A. E. (2023). "Análisis comparativo del material proveniente de las minas: "Kumochi", "los muelles" y "cantera el salvador" del cantón Ambato utilizado para la elaboración de base y subbase en la construcción de carreteras.". Ambato.

Altamirano, P. M. (2020). "Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Totoras y Montalvo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Ambato.

Arcos, V. A. (2020). Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Izamba y Picaihua, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Ambato.

ASTM. (2019). ASTM C136-19: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. ASTM International.

ASTM. (2021). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils (Astm d4318-17). Astm international.

- ASTM, (2018). (s.f.). Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. ASTM International.
- Bonilla, C. A. (2020). "correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez, cantón Ambato, provincia de Tungurahua.
- Claudio, K. M. (2020). "Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias pasa y san Fernando, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Ambato.
- E. Garavito. (s.f.). "humedad en agregados y control de inventarios - 360 EN CONCRETO," 2. 2022. Obtenido de [.https://360enconcreto.com/blog/detalle/humedad-en-agregados-y-control-de-inventarios-1/](https://360enconcreto.com/blog/detalle/humedad-en-agregados-y-control-de-inventarios-1/)
- Garzón, L. S. (2019). "correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, cantón Ambato, provincia de Tungurahua ,". Ambato.
- González, X. P. (2018). Análisis del comportamiento de los agregados finos en la producción de concreto: Estudio de caso en la provincia de Azuay, Ecuador. *Revista de Materiales de Construcción*, 45(3), 115-126.
- Materials, A. S. (2019). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," in *Concrete And Aggregates* (Vol. 04.02).
- Pérez, J. &. (2020). Evaluación de las propiedades físico-químicas de los agregados finos en ríos y canteras en Chile. *Journal of Construction Materials*, 55(2), 150-165. .

- Ramírez, P. G. (2019). Estudio de la variabilidad de los agregados finos en la provincia de Tungurahua, Ecuador. . Revista Ecuatoriana de Ingeniería Civil, 12(1), 34-45.
- Sait, G. (02 de NOV de 2022). Universidad Politécnica de Cartagena. Obtenido de <https://www.upct.es/sait/es/reologia-y-granulometria/granulometria/> (accessed)
- Smith, J. R. (2021). Análisis del contenido de humedad y su impacto en la ingeniería civil . Universitaria .
- Vilema, R. (2020). 'correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias huachi grande y santa rosa, cantón Ambato.