	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) Gabriela APELLIDOS: Jácome Angarita

NOMBRE(S): \_\_\_\_\_ APELLIDOS: \_\_\_\_\_

FACULTAD: Ingenierías

PLAN DE ESTUDIOS: Ingeniería Industrial

DIRECTOR:

NOMBRE(S): Cesar Orlando APELLIDOS: Vargas Mantilla

NOMBRE(S): Sonia Maritza APELLIDOS: Mendoza Lizcano

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): Estudio comparativo de características técnicas de minerales arcillosos de los municipios de Zulia y Ocaña, Norte de Santander y sus potenciales aplicaciones en la industria cerámica.

En el departamento Norte de Santander, Colombia, se encuentran arcillas con características y propiedades únicas que pueden ser aprovechadas en la producción cerámica, pero, debido al desconocimiento de las mismas se ha vuelto una limitante en la innovación en el diseño y creación de productos cerámicos. En este proyecto se estudian dos arcillas de dos puntos del departamento, como lo es Ocaña y el Zulia. Los análisis realizados concluyen que la arcilla de Ocaña no es adecuada para la fabricación de mampostería estructural, mientras que la arcilla del Zulia es ideal para este uso. Apuntando el aprovechamiento de los materiales arcillosos en el potenciamiento de otras industrias.

PALABRAS CLAVES: (ESCRIBIR MÁXIMO 5)

- Arcilla – Caracterización de arcillas – Análisis comparativo

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 99

ILUSTRACIONES: NO

PLANOS: NO

CD ROOM: NO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MINERALES  
ARCILLOSOS DE LOS MUNICIPIOS DE ZULIA Y OCAÑA, NORTE DE  
SANTANDER Y SUS POTENCIALES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA  
CERÁMICA**

GABRIELA JÁCOME ANGARITA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, UNIVERSIDAD FRANCISCO DE

PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

2023

**ESTUDIO COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MINERALES  
ARCILLOSOS DE LOS MUNICIPIOS DE ZULIA Y OCAÑA, NORTE DE  
SANTANDER Y SUS POTENCIALES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA  
CERÁMICA**

GABRIELA JÁCOME ANGARITA

DIRECTOR, LICENCIADO CESAR ORLANDO VARGAS MANTILLA

CODIRECTOR, DOCTORA SONIA MARITZA MENDOZA LIZCANO

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, UNIVERSIDAD FRANCISCO DE

PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROYECTO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

2023



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

**FECHA:** 6 de septiembre, 2023  
**HORA:** 10:00 a.m.  
**LUGAR:** Salón SC- 302  
**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERIA INDUSTRIAL

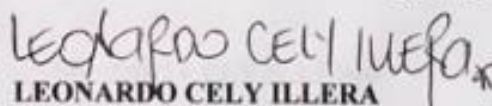
**TÍTULO DE LA TESIS:** "ESTUDIO COMPARATIVO DE CARACTERISTICAS TECNICAS DE MINERALES ARCILLOSOS DE LOS MUNICIPIOS DE ZULIA Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER Y SUS POTENCIALES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CERÁMICA".

**JURADOS:** LEONARDO CELY ILLERA  
PEDRO ANTONIO GARZÓN AGUDELO

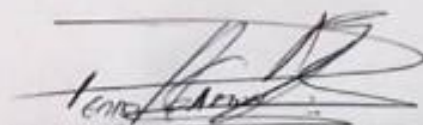
**DIRECTOR:** CESAR ORLANDO VARGAS MANTILLA  
**CODIRECTOR:** SONIA MARITZA MENDOZA LIZCANO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACIÓN LETRA	NÚMERO
GABRIELA JÁCOME ANGARITA	1192656	cuatro, cero	4,0

**APROBADA**

  
LEONARDO CELY ILLERA

  
PEDRO ANTONIO GARZÓN AGUDELO



Vo.Bo **PEDRO ANTONIO GARZÓN AGUDELO**  
Coordinador Plan de Estudios  
Ingeniería Industrial

## Tabla de contenido

Introducción	10
Capítulo 1	13
El problema	13
1.1 Título	13
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Formulación del problema	16
1.4 Justificación	16
1.5 Objetivos	17
1.6 Alcances y limitaciones	18
Capítulo 2	19
Marco referencial	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Marco teórico	24
2.3 Marco conceptual	34
2.4 Marco contextual	40
2.5 Marco legal	47
Capítulo 3	50
Diseño metodológico	50
3.1 Tipo de investigación	50

3.2 Población y muestra	50
3.3 Instrumentos o técnicas para la recolección de la información	51
3.4 Etapas del proceso	51
3.5 Análisis de información	54
3.6 Metodología	54
Capítulo 4	58
Desarrollo del proyecto	58
4.1. Descripción general de las materias primas	58
4.2 Formulación y mezclas	60
Capítulo 5	62
Análisis	62
5.1 Análisis comparativo de los materiales arcillosos del Zulia y Ocaña, Norte de Santander	62
5.2 Innovación a partir de las materias primas en el sector productivo	72
5.3 Innovación en productos cerámicos	73
Capítulo 6	76
Conclusiones	76
Capítulo 7	78
Recomendaciones	78
REFERENCIAS	79
BIBLIOGRAFÍA	88



## **Lista de figuras**

Figura 1. Arcillas

Figura 2. Estructura de las arcillas

Figura 3. Ubicación del departamento, Norte de Santander

Figura 4. Ubicación del municipio el Zulia, Norte de Santander

Figura 5. Ubicación de la extracción de la muestra, mina la Alejandra, Zulia

Figura 6. Ubicación del municipio de Ocaña, Norte de Santander

Figura 7. Ubicación de la extracción de la muestra del Agua de la Virgen, Ocaña

Figura 8. Diagrama de etapas

Figura 9. Contracción dimensional en seco y cocido

Figura 10. Porcentaje de pasantes y retenidos en lavado sobre tamiz malla 230

Figura 11. Contenido de humedad

Figura 12. Triángulo de Winkler



## **Lista de fórmulas**

Fórmula 1. Pasante en malla

Fórmula 2. Índice de plasticidad

Fórmula 3. Contenido de humedad

## **Lista de tablas**

Tabla 1. Marco legal

Tabla 2. Difracción de rayos X DRX

Tabla 3. Comparación FRX por elemento químico

Tabla 4. Comparación FRX por compuesto químico

Tabla 5. Límites e índice de plasticidad

Tabla 6. Hidrometría de las arcillas

## Introducción

La arcilla ha sido considerada un material de alta nobleza y un insumo muy importante en los procesos cerámicos lo cual ha impulsado el desarrollo de la humanidad a través del tiempo y facilitado la vida de los antepasados y actualmente sigue haciéndolo; material que es definido por (Pablo, 1964) como: “La arcilla es una asociación de silicatos complejos hidratados de aluminio, de fino tamaño de partícula que húmeda, es plástica y seca, es dura”, teniendo en cuenta las características que presentan (Landinez et al., 2018) al describirlo como: “un mineral natural complejo constituido, principalmente por una mezcla de aluminio - silicatos cristalinos a los que se denominan minerales arcillosos y de otros silicatos y minerales de Hierro, Calcio, Titanio, etc., acompañados frecuentemente por materia orgánica”; su propiedad plástica, permite que ésta sea maleable y se logre obtener un producto final completamente útil, ya sea para uso doméstico, industrial, clínico, entre otros, debido a que su campo de aplicación no tiene límites.

La industria cerámica en el departamento de Norte de Santander, Colombia, presenta una diversidad de productos elaborados en las diferentes ladrilleras y empresas de este sector productivo, las cuales aprovechan la bondad natural de poseer una materia prima de buena calidad con características interesantes; pero a su vez, y a través del tiempo, estos productos continúan siendo estáticos en diseño, desarrollo y procesos productivos, lo cual nos presenta una necesidad del sector cerámico regional, donde los procesos aunque son efectivos, siguen siendo tradicionales al igual que sus productos, siendo esto un reflejo de la incipiente innovación en los procesos productivos y por ende los productos que se pueden lograr por medio de la arcilla; pero claro está, que no es totalmente estático, ya que el mismo sector propende por buscar mejorar continuamente los procesos como lo indica (Peñaranda & Pérez, 2021): “El sector de arcillas y cerámica en Colombia está orientado hacia la Innovación Tecnológica buscando ser más

eficiente en los procesos”; en Colombia se busca innovar en cuanto a procesos de producción, y muchos de estos cambios se han generado pero en algunas ocasiones se ha dejado a un lado la innovación del producto como tal; es decir, mejoran sus procesos pero perpetúan muchos de sus productos, sin modificaciones de estructuras o diseños que apunten a las necesidades cambiantes de los mercados. La gran mayoría de los complejos industriales se centran en la explotación y transformación de la materia prima sin tener en cuenta la importancia y relevancia que puede aportar un estudio previo que pueda determinar el uso más adecuado para un material y poder visionar procesos y así garantizar que no se presentarán dificultades en el desarrollo productivo.

Puede ser recurrente que por desconocimiento del material se inicien procesos productivos que puedan generar algunos problemas o inconvenientes que afecten de manera significativa una producción deseada o luego de la transformación puedan afectar la calidad del producto mismo; es por ello que es importante realizar una caracterización de las arcillas y posteriormente efectuar un análisis para ver cuáles de ellas son las más indicadas para ser utilizadas en el proceso según las características esperadas del producto, qué propiedades debe tener esta materia prima a utilizar, qué características especiales se pueden alcanzar y cómo estas se puede mejorar de ser necesario por medio de formulaciones y mezclas. De esta manera se podría asegurar aún más el proceso para evitar gastos adicionales por la no inversión en estos estudios los cuales terminan representando muchas veces pérdidas económicas significativas para la empresa.

La arcilla Norte Santandereana posee excelentes propiedades que permiten el desarrollo de la industria cerámica en el departamento, ya que se encuentra arcillas de varios tipos y que pueden ser aprovechadas en el proceso productivo para lograr productos terminados de calidad con características especiales, los cuales por medio de estudios mineralógicos, químicos y físicos

de las arcillas de los municipios del Zulia y Ocaña, Norte de Santander, con el objeto de conocer las propiedades, diferencias a identificar, caracterizarlas, compararla e identificar sus potenciales aplicaciones en la industria cerámica, desde una óptica innovadora.

Algunas intervenciones necesarias para la investigación se realizaron en el laboratorio de formación cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander, tales como el método casa grande, contracción lineal en seco y cocido, análisis granulométricos y pérdidas de humedad. De igual manera, otros estudios de importancia como los análisis DRX (difracción de rayos) y FRX (Fluorescencia de rayos X) fueron efectuados en los laboratorios de rayos X de la Universidad Industrial de Santander sede Guatiguará; así mismo Mintec Ceramic LTDA aportan mediante la realización del estudio de método de Bouyoucos. Estos estudios buscaron determinar el tipo de arcilla, su composición y características técnicas.

Por medio de los análisis realizados a las muestras de arcilla del Zulia y Ocaña, Norte de Santander se logró determinar que la arcilla de Ocaña es muy plástica y según el triángulo de Winkler, esta se sitúa en la zona netamente arcillosa, lo que no permite que sea utilizada para la fabricación de productos de mampostería estructural; además, posee fases cristalinas más predominantes caolinitas y montmorillonitas. Por otra parte, la arcilla del Zulia se encuentra ubicada en la zona prominente para la producción de bloques y piezas de gran formato, lo que corrobora su uso para la mampostería estructural; esta posee fases cristalinas caolinitas y moscovitas. Se recomienda el uso industrial de formulaciones y mezclas de ambas arcillas para la creación de nuevos productos innovadores con propiedades y características especiales.

## Capítulo 1

### El problema

#### 1.1 Título

Estudio comparativo de características técnicas de minerales arcillosos de los municipios de Zulia y Ocaña, Norte de Santander y sus potenciales aplicaciones en la industria cerámica.

#### 1.2 Planteamiento del problema

Las arcillas de Norte de Santander en su mayoría son utilizadas para la fabricación de ladrillos, bloques, tejas, cerámica, baldosa, entre otros materiales, que hacen parte de la edificación de casas, hoteles, centros comerciales y demás, que pertenecen al sector secundario de la construcción. Buitrago et al. (2015) comenta que la mayoría de los productos de mampostería que son elaborados en Cúcuta, son destinados para la construcción y no incursionan en la innovación porque son los más demandados, lucrando de esta manera a empresas exportadoras, pues dichas empresas tampoco son motivadas para incursionar en la exportación de nuevos insumos.

Debido a la demanda del mercado y a la insuficiencia de fondos con los que cuentan las empresas, no se incursiona en la innovación constante de procesos y productos derivados de la arcilla, en muchos de los casos se argumenta que estos productos aún se comercializan en este sector y son muy pocas las empresas que toman la decisión de hacer la respectiva inversión y esfuerzo para la innovación; un estudio realizado indica que los obstáculos para las empresas arcilleras innoven en sus productos, se debe a:

29,93% por fondos financieros insuficientes, 32,65% por costos elevados para la innovación, 16,33% por falta de personal calificado, 5,44% por mínimos conocimientos

en avances tecnológicos, 5,44% por demanda incierta de productos innovadores y un 10,20% por falta de organismos de apoyo para las actividades de innovación. (Hurtado & Yáñez, 2021, p.105)

No innovar en procesos y productos hace que se continúe dentro del margen conocido de mercado y por consiguiente hace que se estanque la economía del sector debido a que solo se limitan a comparaciones netamente comerciales; aclarando que, aún es un mercado que genera margen de utilidades; pero de igual manera, presenta una posible alternativa potencial, la de poder incursionar con innovación y diferenciación; esto podría abrir las posibilidades de explorar nuevos mercados que a su vez apuntan a mejorar la economía regional.

Posiblemente una de las problemática existente en el sector productivo cerámico regional y que podría ser un común denominador de estas, es el desconocimiento de las características propias de los materiales arcillosos debido a que no realizan estudios pertinentes que permitan conocer la calidad de materia prima que poseen o adquieren y que son utilizadas en los procesos de fabricación de los productos que manejan; esto podría verse reflejado en la calidad de los productos que luego serán comercializados, causando posiblemente pérdidas considerables que pueden evitarse o una sub valoración de la materia prima en relación al producto desarrollado. Esto puede suceder por varios motivos; entre ellos se pueden enunciar, no poseer el capital de inversión para realizar estos estudios debido a que son empresas que se pueden considerar como pequeñas; el pretender ahorrar algún dinero, sustentando que no existe ningún problema ni en el proceso productivo, ni en el producto terminado, o en algunas ocasiones por desconocimiento del potencial uso que se podría dar a esta información técnica; es allí donde posiblemente podrían generar problemas más adelante y esto puede terminar incluso en casos extremos con la liquidación de la empresa.

Según García, (2019) las características finales de un producto son aportadas durante su producción, iniciando desde la selección de materias primas hasta su última etapa de producción, por lo que sus características se relacionan, de allí radica la toma de decisiones en cuanto a la materia prima que se utilizara, debido a que, dependiendo de ésta, el producto final obtiene las propiedades deseadas. Es relevante saber que las características físicas pueden ser modificadas a lo largo del proceso ya que dependen de la composición de la arcilla; os autores (Braun, 1983; Bronitsky, 1986; Rice, 1987 como se citó en García, 2019, p.11) afirman que se debe tener en cuenta las características químicas, mineralógicas, granulométricas y la cantidad relativa de arcillas y arenas ya que estas son el pilar de la variabilidad de las propiedades físicas, traducidas en las propiedades funcionales que tendrán los productos cerámicos.

Es debido a esto que radica la importancia de un estudio de la materia prima utilizada para la fabricación de un producto, García, (2019) afirma que llevar a cabo un estudio del suelo es esencial para comprender la composición de los minerales presentes en productos cerámicos, las propiedades que tiene cada producto pueden ser modificadas por medio de las mezclas que se realicen en el proceso productivo, las cuales consisten en agregar aditivos que mejoren la calidad del producto; también permiten que se eviten inconvenientes en la producción; complementan Alviset y Arle, (1967) que los aditivos sugieren que la industria cerámica tiene un potencial cuantioso para adaptar y mejorar los productos y ajustarlos a las demandas del mercado cambiante.

En Ocaña, Norte de Santander, existen unas pequeñas empresas que se dedican a la fabricación de bloque, ladrillo y teja, pero, no son fuertes en la industria; por lo tanto, este estudio sirve como herramienta para todas aquellas personas interesadas en conocer a detalle las tierras arcillosas con la que cuenta y se motiven a explorar e innovar en la industria cerámica



local, contando con un insumo de gran importancia como lo es la industria cerámica de Cúcuta y su área metropolitana.

La investigación tuvo por objeto conocer las características comunes y diferentes de minerales arcillosos de dos puntos geográficos distintos, como lo son, el área metropolitana de Cúcuta, específicamente el municipio del Zulia y del municipio de Ocaña a través de estudios mineralógicos, físico-cerámicos y químicos, y de esta forma brindar más información a la comunidad interesada, de modo que se amplíe el conocimiento y se despierte interés respecto a las características y aplicación de la arcilla para el fomento de la industria cerámica.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cuál es la importancia de realizar un estudio comparativo de características técnicas de materiales arcillosos de los municipios de Zulia y Ocaña, Norte de Santander y sus potenciales aplicaciones en la industria cerámicas?

### **1.4 Justificación**

#### ***1.4.1 A nivel de la institución***

La universidad Francisco de Paula Santander precisa de un apoyo informativo, que permite a los estudiantes ampliar sus conocimientos acerca de dos tipos de arcillas de Norte de Santander y servir como antecedente para proyectos posteriores.

#### **1.4.2 A nivel sector económico**

A las industrias arcilleras en Norte de Santander, se le proporciona un insumo técnico como un apoyo del conocimiento obtenido a partir de los estudios realizados, lo que permite conocer qué características pueden encontrar en cada una de estas arcillas y, por lo tanto, cómo

usarse para el mejoramiento de la calidad de los productos e incluso los procesos, por medio de adiciones y mezclas que den pie a la simplificación de los mismos.

### ***1.4.3 A nivel del estudiante***

Esta investigación permitió ampliar el conocimiento del investigador dado que en el desarrollo del presente proyecto aplica un gran cúmulo de conocimientos adquiridos a través de las diferentes asignaturas cursadas durante su proceso de formación como futuro Ingeniero Industrial y de igual manera, para aquellos investigadores que pretendan abarcar estos temas y necesiten una sustentación, apoyándose en él como antecedente basándose en los estudios de caracterización técnicos, físico-cerámicos y químicos y las características comunes o diferentes de cada uno de los materiales.

## **1.5 Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo general***

Realizar un análisis comparativo de las características técnicas de minerales arcillosos de los municipios del Zulia y Ocaña, Norte de Santander y sus potenciales aplicaciones en la industria cerámica.

### ***1.5.2 Objetivos específicos***

Realizar un estudio del arte de las características de los materiales a partir de los estudios físicos-cerámicos y químicos de las dos muestras de arcillas propuestos para el estudio.

Analizar los datos obtenidos por medio de las diferentes técnicas experimentales de los estudios y análisis previamente realizados.

Evaluar los resultados de las características de las arcillas en estudio y generar un análisis comparativo de los mismos.

Identificar los potenciales usos y aplicaciones en la industria cerámica del material arcilloso del Zulia y Ocaña, Norte de Santander.

## **1.6 Alcances y limitaciones**

### ***1.6.1 Alcances***

Por medio de los estudios técnicos, físico-cerámicos y químicos, se determinaron, clasificaron y compararon las propiedades de las arcillas con el fin de determinar aquellas características comunes y diferentes existentes en los dos tipos de arcillas del Zulia y Ocaña, Norte de Santander y de esta manera divisar los potenciales usos en la industria cerámica.

### ***1.6.2 Limitaciones***

El presente estudio de investigación no estuvo sujeto a un tiempo de seis meses de acuerdo a lo planificado; puesto que, inicialmente por la toma de muestras y las respuestas de los laboratorios con los resultados de los ensayos para su respectivo análisis no correspondieron con los tiempos fijados; de igual manera, algunos de los ensayos se desarrollaron en el laboratorio de formación cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander y el uso de éstos estuvo sujeto a una previa aprobación del Departamento de Procesos Industriales teniendo en cuenta el calendario académico universitario para la ejecución de los estudios propuestos.

El pilar de este proyecto se estructuró en la información consultada en bases de datos, repositorios, bibliografías, revistas y artículos por lo que puede estar limitado a los aportes hallados. Así mismo, la fidelidad de los resultados en los equipos utilizados en la caracterización de las muestras dependió del estado de algunos de los equipos del laboratorio de formación cerámica, por lo que se vio en la necesidad de realizar algunas pruebas con otros entes.

## Capítulo 2

### Marco referencial

#### 2.1 Antecedentes

Con el propósito de enriquecer el desarrollo del proyecto, se consideraron un compendio de artículos que abarcan los ámbitos regional, nacional e internacional respecto a características y aplicaciones de la arcilla, los cuales se enuncian a continuación:

Cely y Bolívar, (2015) en su investigación llamada “Materia prima para la industria cerámica de Norte de Santander. II. Evaluación del comportamiento térmico y su incidencia en las propiedades tecnológicas” en la cual examinan arcilla proveniente de la región del Zulia, Norte de Santander, específicamente de la formación guayabo, y comentan que ésta posee tono rojizo y una textura maleable donde las propiedades tecnológicas juegan un papel relevante en la calidad de los productos finales; la falta de estas se traduce en bajos rendimientos y como consecuencia de ello, costos elevados, que se reflejan al final del proceso; las propiedades dependen de la composición mineralógica, física y química de las materias primas pudiendo ser alteradas al someter el material a altas temperaturas.

En esta investigación los autores refieren sobre la importancia de la arcilla para la industria cerámica del Zulia, Norte de Santander a través del análisis de materia prima propias de la región y como el comportamiento térmico incide en las propiedades tecnológicas, en los costos de producción y en los procesos finales de los productos al igual que los cambios de la composición de la materia cuando esta es sometida a altas temperaturas, es de utilidad como referencia ya que permite tener una vista previa de las posibles características que hacen parte de esta arcilla.

Los autores Afanador et al. (2013) en su artículo “Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander” comenta que la estructura química y mineralógica de las arcillas, es usada comúnmente en mezclas para la producción de productos de construcción, pues, impacta directamente en las propiedades mecánicas y físicas de las piezas logradas. Obtuvo como resultado un alto nivel de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) que pudo ser identificado en el análisis químico, y que debido a su baja plasticidad obtendrá una baja contracción en los ladrillos manufacturados, así mismo identifica un alto nivel de cuarzo y de material desgrasante (arena).

Permite conocer unas de las propiedades que se pueden encontrarse en algunas de las arcillas del municipio de Ocaña, y cómo ellas influyen en el proceso de la fabricación de las piezas de mampostería, recalando así la importancia de hacer estudios, que permitan que se conozca un poco más acerca de las características presentes en la materia prima de la industria cerámica y cómo intervienen estas en el producto elaborado.

García y Bolívar, (2017), mencionan que, en Ocaña, Norte de Santander existe variedad de yacimientos arcillosos, que se pueden utilizar para fabricar productos de mampostería, pero, debido a la falta de análisis tecnológicos que permitan pronosticar el comportamiento de las pastas, las empresas obtienen demasiados desperdicios, lo que imposibilita la obtención de piezas de primera.

El desconocimiento de la composición y características de la arcilla en Ocaña, impide en gran medida el desarrollo de la industria, ya que, por falta de los mismos, se ocasionan problemas en el proceso productivo, lo cual hace que existan desperdicios de la misma. En este artículo científico, se realizaron estudios físicos por hidrometría, con el fin de conocer mejor su

comportamiento. Este sirve como referencia, ya que aporta información de valor en cuanto a las características de la materia prima presentes en ese municipio.

Mora, (2015) “Caracterización de arcillas provenientes de la mina Murano del municipio del Zulia, Norte de Santander, Colombia” Trabajo de grado, indica que caracterizó las arcillas provenientes de la mina Murado del Zulia, Norte de Santander, recolectando cinco muestras extraídas de sitios distintos, donde su propósito fue determinar la composición química y mineralógica, realizando análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) y de difracción de rayos X (DRX), caracterizando los grupos funcionales de los minerales mediante un (FTIR), el comportamiento térmico (TGA) y análisis térmico diferencial (DTA), determinando así mismo las propiedades físico-cerámicas como la distribución granulométrica, los límites de plasticidad, la contracción lineal en secado y cocido y la absorción de agua, determinando en el análisis químico que los principales componentes fueron  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , indicando que todas las muestras contenían cuarzo, caolinita, hematita y anatasa.

La información suministrada, permitió conocer acerca de la caracterización de arcillas presentes en una mina del municipio Zulia, aquella conocida como murano, y de sus principales hallazgos dentro de la investigación, lo que aproxima al conocimiento de datos que se obtuvieron en los estudios realizados en este proyecto de investigación.

Cáceres et al. (2017) menciona que realizó una caracterización química, mineralógica, térmica y físico cerámica, con la finalidad de determinar la estructura, composición y comportamiento del material, obteniendo muestras de dos puntos de la formación, uno en el Zulia y otro en Villa del Rosario, Norte de Santander.

A través de la caracterización de arcillas realizada en el municipio de Zulia y Villa del Rosario, se buscó identificar componentes, estructura, comportamientos, entre otros factores, con los cuales se busca potenciar el uso en la fabricación de materiales de construcción, compitiendo en el mercado internacional, gracias a la mejora de las pastas cerámicas.

En la región de Supía Caldas Colombia Zuluaga et al. (2016) efectúa un estudio de la composición y las fases cristalinas de una muestra de arcilla roja y su respectiva distribución granulométrica, y análisis térmicos para determinar la densidad y los límites de Atterberg y se determinan algunas propiedades físicas de las muestras como el color, la porosidad y densidad específica propios de la materia prima de esta región.

El estudio realizado en esta zona de la región Andina evidencia la importancia de un método utilizado para determinar el grado de plasticidad de la arcilla inorgánica y la viabilidad de la misma para ser usada en la fabricación de ladrillo comercial. Lo que aporta valor a este proyecto, ya que permite conocer el método utilizado y cómo llegaron a la conclusión.

El autor León et al. (2018) aporta que en la utilización de la materia prima arcillosa es desperdiciado mucho material debido al desconocimiento o falta de análisis y puesta en práctica de la parte tecnológica en la producción de bloques H-10, en la región de Ocaña, Norte de Santander.

Se desperdicia mucha materia prima a causa de no realizar estudios para poder predecir el comportamiento de las pastas cerámicas; por lo tanto, se realiza una caracterización térmica por el método de moldeo, que ayuda a que se conozca más acerca de la materia prima tratada, lo que permite que este sirva de referente para el estudio que fue realizado.

Santos et al. (2009) “el objetivo de este trabajo fue caracterizar química, mineralógica, granulométrica, plástica y térmicamente tres arcillas, denominadas “Cascajo” (C), “Roja” (R) y “Amarilla” (A), procedentes de Barichara, Santander. Así como obtener pastas cerámicas aptas para la fabricación de ladrillos y tejas” se denota que en la industria de fabricación de ladrillos y tejas se puede utilizar variedad de arcillas y que cada una de estas comprenden características y usos que le son propias y el conocimiento de las mismas se revierten en un mejor uso. Por la caracterización y comparación de arcillas, se busca mejorar las pastas cerámicas a partir del conocimiento de la información.

Para el autor Guzmán et al. (2002) Es relevante caracterizar y cuantificar los yacimientos de arcilla en el estado de Guanajuato México por el potencial significar en el fomento de la industria de esa región por lo que el centro de investigación en química inorgánica y la dirección de fomento minero del estado de Guanajuato proyectan estudios que pueden revertir en la disposición de material arcilla a bajo costo, lo que puede incentivar campos importantes para el desarrollo como la construcción, contemplando los siguientes aspectos: caracterización de las arcillas, evaluación de sus propiedades cerámicas, y cálculo de las reservas existentes.

En Guanajuato México, no ha sido completamente caracterizado la materia prima perteneciente al lugar, pero, ya que es reconocido como de importancia que tiene la misma para la industria cerámica, por lo tanto, realizan una caracterización y evaluación de las propiedades cerámicas, que suministró información de métodos distintos para la respectiva caracterización.

El desarrollo del conocimiento de las características geológicas, mineralógicas y tecnológicas de las arcillas de la provincia de Buenos Aires, puede impulsar el desarrollo de la industria y el crecimiento del volumen de extracción de arcillas y producción de materias primas



que generan diversos productos tales como cerámica roja, refractarios, lozas, azulejos y cemento que impulsan el sector de la construcción, siendo las analizadas propensas a mayores variaciones mineralógicas y químicas que inciden en el aprovechamiento industrial.

Con este proyecto, buscaron dar un inicio al conocimiento de las características geológicas, mineralógicas y tecnológicas de Buenos Aires, Argentina, con el fin de dar pie al desarrollo de la industria, lo que permite extraer información de las características presentes en la tesis, para su posterior aprovechamiento en este proyecto de investigación.

## **2.2 Marco teórico**

Con el propósito de nutrir el fundamento de este proyecto, se llevó a cabo una búsqueda que implica la consulta y el análisis crítico de contribuciones, que arrojan una visión diversa de temáticas que construyen el núcleo del proyecto. En busca de una comprensión, se recurre a diferentes autores con aportes que enriquecen la misma.

### ***2.2.1 Caracterización de arcillas***

Las características es una cualidad de un elemento, cosa, persona, animal, entre otros, que permite se diferencien entre sí, según la RAE, (2001) una caracterización es determinar los atributos distintivos de los demás, por lo tanto, la caracterización de arcillas consiste en analizar los elementos y cualidades que permiten diferenciar una arcilla de otra y clasificarla.

### ***2.2.2 Comparación de características arcillosas***

La comparación es aquella que permite analizar el comportamiento de dos o más variables, y generar un paralelo que recopila todas estas para definir cada variable e identificarlas. Como

indica (significados, s.f). “Comparación es la acción y efecto de comparar, es decir, de observar las diferencias y las semejanzas entre dos elementos, sean personas, objetos, lugares o cosas” con la comparación de arcillas, se buscó identificar las características, diferentes, propiedades químicas, semejanzas, entre otros factores, que permitieran caracterizar y comparar las arcillas.

### ***2.2.3 Caracterización mineralógica***

La mineralogía implica el estudio e identificación de los minerales que están presentes en la muestra de estudio; se involucran técnicas microscópicas para determinar las propiedades de cada mineral. Esta es usada para identificar la geología de la región y así mismo para conocer la calidad presente y la utilidad de los mismos. Ingeoexpert, (2022) define la mineralogía como la ciencia que se encarga del estudio de la estructura, forma y composición de las propiedades que conforman los minerales y las rocas. Las propiedades varían según la ubicación geográfica, lo cual permite a los geólogos saber cómo fueron formadas las rocas y continentes. Son utilizados varios equipos para realizar la caracterización mineralógica, tales como, microscopio óptico, electrónico de Barrido (SEM), difractómetro de Rayos X (XRD), espectrómetro de infrarrojo (FTIR), difracción de Rayos X de polvo (XRPD), Análisis térmico (TG-DTA), Análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF), microscopio petrográfico, preparación de secciones delgadas, análisis de espectroscopía de reflectancia en infrarrojo (NIR). La elección de los análisis a realizar es determinada por la necesidad según los resultados que se desea obtener.

### ***2.2.4 Caracterización química***

Conocer las propiedades químicas, permite identificar los compuestos químicos y elementos presentes en la arcilla, determina las impurezas o contaminantes que puedan existir en las muestras, lo que asegura los estándares necesarios para la fabricación de un producto y así

mismo el control de calidad y la optimización de los procesos. La caracterización química, va muy relacionada con la caracterización mineralógica, ya que permite conocer las propiedades químicas de los minerales. Como indica (BSDI, 2021) “Las propiedades químicas de los materiales son todas aquellas características que pueden ser alteradas al poner en contacto un material con otras sustancias”

### ***2.2.5 Caracterización físico cerámica***

Permite comprender cómo los materiales se comportan bajo condiciones diferentes, permitiendo evaluar que los productos que se fabriquen cuenten con la calidad deseada, accediendo determinar las propiedades mecánicas, como la dureza, y así mismo, como se comportan los materiales a lo largo del tiempo, siendo expuestos a la abrasión, la humedad, el calor, entre otros factores; determina también cómo es su comportamiento térmico, eléctrico, su porosidad y densidad. Como indica el autor “Las propiedades físicas de los materiales son características que pueden ser medibles y observables sin alterar la identidad del material o sustancia” (BSDI, 2021). Conocer las características físicas, abre el panorama de conocimiento del material que se está trabajando, y cómo estas pueden incidir en el producto.

### ***2.2.6 Análisis químicos***

Los análisis químicos, son estudios que se realizan a una muestra con el fin de determinar de qué está compuesta químicamente. Según la (consumoteca, s.f) un análisis químico es un conjunto de técnicas y procedimientos que es empleado en campos de la ciencia y permite identificar y cuantificar la composición química de una sustancia, pero es de gran importancia definir que es un análisis químico de materiales.

Como menciona infinitia, (2021) los análisis químicos consisten en una variedad de métodos aptos para identificar las características de los materiales, en el desarrollo de aleaciones, revestimientos, polímeros y materiales compuestos innovando en el diseño y fabricación de productos, por lo que esto es fundamental en cada etapa de producción.

La escuela (politécnica nacional, s.f) agrega que analizan estos estudios “Determinación de la concentración de óxido de silicio, óxido de aluminio, óxido férrico, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de sodio y óxido de potasio mediante la desmineralización con fluoruro de hidrógeno” Es por esto, que es de gran importancia realizar un análisis químico, ya que con ellos se pudo determinar la composición que es clave para el proceso productivo.

### ***2.2.7 Preparación de materias primas por kg***

“Una preparación es un proceso que se hace antes de realizar una actividad concreta” (Materano, 2022). Las materias primas deben ser sometidas a un proceso de preparación de las mismas, ya que es indispensable para poder comenzar cualquier proceso, sea dentro o fuera de la industria, incluso cuando se realizaron estudios pertinentes, como en este caso.

### ***2.2.8 Análisis granulométrico***

Avendaño, (2021) comenta que en un análisis granulométrico es posible obtener información importante del origen, propiedades mecánicas y la cantidad de cada grano dependiendo de su tamaño en la escala granulométrica.

#### **2.2.8.1 Cálculo de porcentaje de material pasante lavado en malla.**

$$\% \text{ Pasante} = \frac{Mm - Mr}{Mm} \times 100\% \text{ Fórmula 1.}$$

Teniendo en cuenta que,

$M_m$  = Corresponde al peso de la masa de la muestra en gramos

$M_r$  = Corresponde al peso de la masa de retenido en gramos

El cálculo de retenido se realiza mediante diferencia, al 100% de la muestra se le resta el porcentaje pasante de la misma.

### ***2.2.9 Análisis físico cerámico***

Los análisis físicos cerámicos como lo define la Escuela Politécnica Nacional, (s.f), son usados para determinar la plasticidad, la gravedad específica, el índice de absorción de agua la contracción de secado, la composición mineralógica y la quema, esto con el fin de conocer cómo se transforma, la materia prima que es el objeto de estudio, incluyendo los colores de quema, entre otros.

### ***2.2.10 Índice de plasticidad***

Según Blog Fao (s.f) el índice de plasticidad expresa un porcentaje de peso seco del suelo, indicando el tamaño de intervalo de variación con el que el suelo por su humedad contenida, mantiene el suelo plástico, este depende sólo de la cantidad de arcilla correspondiente a la fracción fina y su capacidad para alterar su composición sin alterar su volumen, siendo un IP alto el indicativo de un exceso de arcilla o de coloides en el suelo. Si LP es superior o igual al LL, entonces su valor es cero. Por lo tanto, el índice de plasticidad se calcula con la diferencia del límite líquido con el límite plástico.

$$\mathbf{IP = LL - LP} \text{ Fórmula 2.}$$

**2.2.10.1 Límite líquido (LL).** Blog Fao, (s.f) define el límite líquido como el porcentaje de humedad que contiene el suelo, que cambia de una consistencia líquida a plástica.

**2.2.10.2 Límite plástico (LP).** Sugiere Blog Fao, (s.f) que el límite plástico se trata del porcentaje de contenido de humedad que está presente en el suelo y que varía disminuyendo la humedad presente de consistencia plástica a semisólida o al aumentarla de semisólida a plástica.

### ***2.2.11 Contenido de humedad***

El contenido de humedad busca determinar el contenido de humedad que tiene el material y se determina según (Toledo, s.f) “el contenido de humedad se determina mediante un método termogravimétrico, es decir, por pérdida por secado, mediante el cual se calienta la muestra y se registra la pérdida de peso debida a la evaporación de la humedad” para esto, la muestra debe ser previamente pesada, y luego de exponerla al método termogravimétrico, nuevamente se pesa y se determina por medio de diferencia, cuál es su porcentaje de humedad.

$$\%CH = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100\% \text{ Fórmula 3.}$$

Teniendo en cuenta que:

CH = Contenido de humedad

Mh = Masa húmeda en gramos

Ms = Masa seca en gramos

### ***2.2.12 Innovación de productos a base de materiales arcillosos***

En la actualidad a nivel internacional la arcilla no es solamente utilizada para la mampostería estructural, como afirman Cerdán, M. (2023), QuimiNet. (2012), Martínez

Stagnaro, S. Y. (2017), Urquiza, E. A. F., & Rulduà, M. L. M. (2009) también posee otros usos de gran importancia como lo es en el área de la salud, cosmética, automotriz, textil, entre otros. Esto se debe a sus propiedades permiten que las arcillas tengan un uso amplio y que estas sean de gran importancia.

**2.2.12.1 Industria cosmética y el sector salud.** Las propiedades cosméticas de los minerales están determinadas por sus propiedades físicas y fisicoquímicas, así como por su composición química. Algunas de ellas que hay que destacar son: la alta capacidad de adsorción, el área superficial específica, la solubilidad en agua, la reactividad frente a ácidos, el alto índice de refracción, la alta capacidad de retención de calor, la opacidad, la baja dureza, la astringencia y la alta reflectancia.

La industria cosmética selecciona diversas arcillas para obtener múltiples beneficios por medio de formulaciones; pero antes de iniciar con la producción, la arcilla es sometida a procesos de limpieza que garantizan que la arcilla sea segura para ser usada en la piel. Estas mismas luego de formularlas, son utilizadas para elaborar exfoliantes, mascarillas faciales, jabones, geles limpiadores, tratamientos para el cabello, entre otros, ofreciendo beneficios como desintoxicación, eliminación de impurezas y limpiezas profundas. Siendo la arcilla un aliado excelente para la piel, debido a su alto contenido en minerales que aportan preeminencia y lucidez.

Es de importancia recalcar que las arcillas son usadas de distintas maneras y tienen usos distintos según las propiedades que la conformen, esto se debe a los tipos de pieles existentes como las secas, grasas y mixtas, entre otros factores, determinan cuáles pieles pueden usar estos productos elaborados con arcillas caoliníticas, montmorillonitas e illitas.

Cerdán, (2023) habla acerca de las aplicaciones de la arcilla roja, siendo esta utilizada para el tratamiento del acné, la cuperosis, la transpiración excesiva, los edemas y los pruritos, destacando en gran medida su acción estimuladora en el riego sanguíneo y linfático. Agrega que la arcilla también puede encontrarse en la cosmética natural en productos para los diferentes tipos de piel y el cabello.

Teniendo en cuenta lo mencionado se puede concluir que las arcillas están presentes también en la industria cosmética y salud, ya que sus propiedades favorecen en tratamientos médicos que mejoran la calidad de vida de las personas. Las arcillas son bases importantes en la elaboración de productos cosméticos, que aparte de su principal objetivo que es resaltar la belleza, también va más allá, y es el uso de sus características obtenidas a partir de la materia prima base o de mezclas, mejoran la textura y el aspecto de la piel.

En el sector salud, es usada para aliviar dolores musculares, reducir la inflamación, y desintoxicar, por medio de compresas elaboradas en arcilla, y por sus propiedades absorción y retención es usado como activo de absorbentes estomacales, lo que hace que la arcilla del municipio de Ocaña sea idónea para ello, ya que al ser altamente arcillosa, tiene una capacidad de absorción más elevada que la del municipio del Zulia, sin embargo, la medicina convencional no acepta mucho este concepto, por lo tanto, es recomendable acudir con un profesional antes de utilizarla con fines terapéuticos. Ambas arcillas estudiadas son arcillas rojas, por lo tanto, son de gran utilidad en el área de la salud.

**2.2.12.2 Industria papelera.** De acuerdo con (QuimiNet, 2012) son utilizadas para “La fabricación de papel dándole a éste su acabado, en la producción de cerámicas, en la producción de pinturas se le utiliza como carga” la arcilla ha permitido mejorar las características del papel y con ello su calidad misma, esta es mezclada con otros aditivos y aplicada como una capa,



logrando una superficie más y uniforme, que hace que la tinta tenga mejor adherencia, opacidad, y control de porosidad, logrando con esto que el papel absorba menos cantidad de tinta, lo que optimiza y hace más longeva la vida útil de la tinta. En conclusión, la arcilla es muy valiosa para la producción de papel, ya que mejora las características propias y, por lo tanto, también su calidad.

**2.2.12.3 Industria agrícola.** La arcilla posee varios usos en la industria agrícola, esto se debe a sus propiedades como la retención de agua, mejorando la estructura del suelo, especialmente cuando se trata de suelos arenosos, aportando mejor textura, cohesión y previene la erosión, así mismo libera lentamente sus nutrientes, lo que es beneficioso para las plantas, corrigiendo el pH del suelo y favoreciendo a su crecimiento. Indica el autor Ibáñez, (2006). La arcilla posee capacidad de absorber el agua existente entre las láminas, produciendo dilatación en su estructura, estando extendido en la industria como agente gelificante usado también para sellar escapes de suelos y diques.

**2.2.12.4 Industria textil.** Actualmente se sigue buscando innovar con estos materiales arcillosos, por lo que se evidencian estudios para la absorción de colorantes utilizados en la Industria Textil, debido a su capacidad de absorción, como indica (Martínez ,2017) “Colorantes aniónicos pueden ser removidos por arcillas bentoníticas constituidas por esmectitas modificadas con catión orgánico” según experimento casero realizado, la arcilla del Municipio de Ocaña demuestra retener más el colorante utilizado en la industria textil, mientras que la del Zulia, puede ser usada, pero, tendrá menos capacidad de absorción, ya que la suma entre arenas y limos, es superior a su fracción arcillosa, lo que genera más baja retención del colorante.

También es usado para brindar acabados mejorando las propiedades del tejido, suavizando su textura, y mejorando su resistencia al desgaste, entre otros, es utilizada como

pigmentante textil, aportando tonos suaves y cálidos o como agente de fijación de colores en sus fibras. Se exploran aplicaciones de la arcilla por sus propiedades antimicrobianas, y antibacterianas, lo que puede prevenir el crecimiento de bacterias u hongos en los textiles.

**2.2.12.5 Industria automotriz.** También estas son utilizadas en gran medida para el modelado de automóviles de alta gama a escala real, debido a su trabajabilidad y costos comparados con otros materiales, lo que hace de la arcilla un gran aliado en la industria automotriz, que no sólo permite el modelado de diseño en el exterior del auto, sino también en el interior, explorando texturas y detalles realistas, incursionando entre curvas y modelos lineales hasta estar completamente seguros del resultado para ser llevado a un plano real.

Saint-Gobail, (s.f) comenta que en la industria automotriz la arcilla es mezclada con cera y pequeñas cuentas de vidrio, siendo usada para realizar modelos, aunque la formulación varía según la compañía. Ford utiliza alrededor de 100 toneladas en el año. El proceso es realizado untando de material arcilloso un modelo previamente realizado en una estructura de aluminio ligero.

La materia prima de Ocaña, facilita aún más el proceso de modelado, ya que es más plástica y permite ser moldeada mejor, ya que adquiere menos dureza y el secado de la misma es más lento, por lo que proporciona más espacio de tiempo para modelarla sin estar humedeciendo cada vez más la arcilla.

**2.2.12.6 Industria polimérica.** Las arcillas rojas son utilizadas en la fabricación de nanocompuestos poliméricos, “La mezcla física polímero/arcilla no otorga a priori un nanocompuesto, por lo que es necesario el uso de agentes compatibilizantes, los cuales favorecen la interacción molecular entre las fases” (Urquiza & Ruldua, 2009). Como indican los autores, para la fabricación de nanocompuestos poliméricos, se debe conocer la interacción molecular

entre las fases, ya que, en la mezcla de los componentes, es donde surgen la mayoría errores para que estos puedan ser fabricados.

Los nanocompuestos de arcilla, mejoran las propiedades mecánicas, mejorando la resistencia, dureza y una menor inflamabilidad, donde se busca incorporar las partículas de arcilla en matrices de polímeros, en su mayoría es usada la arcilla montmorillonita para tal fin. Al elaborar envases, mejora la barrera para la retención de líquidos y gases, lo que aumenta la vida útil de los productos.

Los usos de la arcilla en la industria trascienden a través del tiempo y así mismo se busca una constante innovación que permita por medio de formulaciones mejorar las propiedades y características de materiales, haciendo uso específico de su mineralogía, elaborando productos mejorados y en gran parte cuidando el medio ambiente. Es por esta razón que los usos de la arcilla no se encuentran limitados, y se sigue apostando cada vez más en su desarrollo.

## **2.3 Marco conceptual**

En el desarrollo del proyecto, se atribuye una tarea importante definir los conceptos fundamentales. Esto se adopta con el fin de brindar al lector la claridad conceptual necesaria para establecer la comprensión del contenido presentado, ya que el proyecto exige que los términos claves enmarcados sean comprendidos. Reconociendo la variabilidad de las perspectivas de los potenciales lectores.

### **2.3.1 Arcilla**

(Domínguez & Schiffler, 1992) apunta que “las arcillas son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años y que reúnen características peculiares de composición y

formación relacionadas con el curso de la evolución de la tierra” complementa Díaz y Torrecillas, (2002) que las arcillas son el resultado de la meteorización físico-químico, que interactúan en la roca madre y que se consideran acumulaciones naturales, de tamaño de grano fino < 1 micra según químicos, < 2 micras según los mineralogistas del suelo, y < 4 micras como indican los sedimentólogos, siendo la arcilla compuesta por silicatos aluminicos hidratados con iones de K, Mg, Na y Fe, acompañado de más minerales como el cuarzo, carbonatos, feldespatos, etc.

### Figura 1.

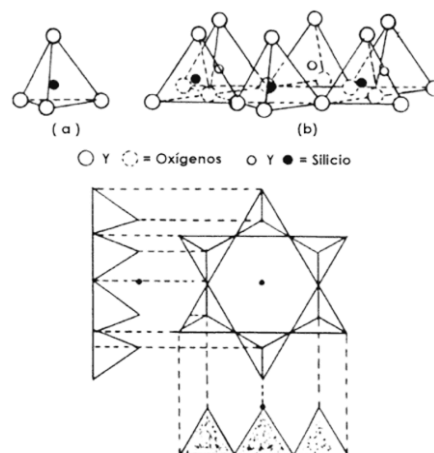
#### Arcillas



*Nota:* Tomado de (Geotechnical consulting , s.f.)

### Figura 2.

#### Estructura de las arcillas



*Nota:* Tomado de (La ciencia para todos, s.f.)

Siendo el departamento Norte de Santander un territorio rico en minerales arcillosos, se considera importante que más allá de la elaboración de diversos productos, se reconozcan ciertas características que puedan marcar pautas futuras de intervención del mismo material.

La arcilla en sus diferentes procesos ya sean artesanales e industriales presentan ciertas particularidades como la absorción de agua, que permite la maleabilidad de la misma, siendo un material que posee nobleza en su conformación; esto hace que éste se convierta en un material versátil y con diversas aplicaciones, que van desde los procesos artesanales y ancestrales hasta los procesos actuales de producción masiva industrial, situación que favorece de manera significativa el desarrollo de muchos sectores económicos regionales y de manera más global siendo un aporte de alto compromiso en el desarrollo de la humanidad, como indican los autores, González et al. (1983) las arcillas se reparten en la corteza terrestre, formando masas plásticas el ser mezclados con agua, éstas poseen una variedad de granulometría que en edafología y sedimentología, hablan de fracción arcillosa o fina de un suelo, entendiéndose como fracción el conjunto de minerales con diámetro esférico equivalente o menor a 2 micras.

En muchas ocasiones se han desarrollado procesos y productos donde no se tiene en cuenta las diferencias y particularidades; y casi que de manera regional se puede observar que, en su mayoría, en Colombia la arcilla es utilizada en un porcentaje significativo para fabricar productos de mampostería estructural, todo lo anterior como lo indica Buitrago et al., (2015)

### ***2.3.2 Materiales arcillosos***

En términos comunes, se puede afirmar que las arcillas son materiales naturales que se encuentran muy fácilmente y están repartidos en gran parte de la superficie de la corteza terrestre y que, al ser mezclados con agua, pueden generar masas plásticas, que facilitan la fabricación de

productos cerámicos. Se debe tener en cuenta que dichos materiales arcillosos presentan una gran variedad de características que lo hacen interesante, por ejemplo, la granulometría que puede marcar de manera rotunda y detallada algunas significancias desde los conceptos de Edafología y Sedimentología, se puede considerar que la arcilla está conformada de una "fracción fina" de los diferentes suelos o sedimentos. Normalmente se entiende que esta fracción es el conjunto de partículas minerales que tienen un diámetro esférico equivalente o inferior a 2 micras como indicó González et al. (1983)

### ***2.3.3 Temperatura***

“La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro” (Significados, s.f.)  
complementa “La temperatura es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa” (Etecé, 2022)

### ***2.3.4 Retenido en tamiz***

“Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz” (Inacap, s.f).

### ***2.3.5 Pasante en tamiz***

“Porcentaje en masa de todas las partículas (granos) de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz” (Inacap, s.f).

### **2.3.6 Cocción**

Cardona, (s.f) define la cocción como una serie de transformaciones físico químicas que varían la estructura química y cristalina del material, que se traduce en resistencia mecánica y durabilidad, complementa el autor “La cocción de los productos cerámicos, es una de las etapas más importantes del proceso de elaboración de una pieza. De ella depende gran parte de sus características; como son su resistencia física, a los agentes químicos, a la intemperie, a las altas temperaturas, etc.” (Ruíz G, s.f)

### **2.3.7 Secado**

“En cerámica se entiende generalmente por "secado" la eliminación del agua contenida en un producto cerámico moldeado o no” (Estrada & Espinosa, s.f), H2O TEK, (2016) complementa al definir que el secado es un mecanismo por el cual se produce la eliminación de agua que se encuentra en las partículas arcillosas para garantizar una correcta cocción de las piezas. Factores como la velocidad del secado generan efectos característicos en las piezas al depender de la naturaleza química, granulométrica, la naturaleza cristalográfica y los tratamientos que recibe en otras etapas antes del secado.

### **2.3.8 Medición**

Keyence, (s.f) define la medición como la comparación de un objeto que es contrastado con el objeto de referencia, siendo éste el instrumento de medición. Existen variedad de instrumentos que ofrecen propósitos distintos de medición y niveles de precisión. Significados, (s.f) agrega que la medición es la acción de medir con instrumentos dentro de un parámetro seleccionado.

### **2.3.9 *Peso***

El peso según Pérez y Gardey, (2013) es la fuerza que ejerce la tierra para atraer un cuerpo, siendo usado el término peso como sinónimo de masa, que hace referencia a la cantidad de materia que está presente en un cuerpo.

### **2.3.10 *Composición***

“Es la aparición de ciertas sustancias que forman un compuesto, o que se hallan en una muestra” (Concepto definición, 2021)

### **2.3.11 *Plasticidad***

La plasticidad según Propiedades, (s.f) es la propiedad atada a la elasticidad sin llegar a ser opuesta de ella. Cuando un material se estira, este puede recuperar su forma, pero, al pasarlo del límite propio, éste quedará deformado.

### **2.3.12 *Conformado***

“Consiste en la aplicación de presión en una única dirección hasta conseguir la compactación de los polvos cerámicos. La pieza así conformada tendrá la forma de la matriz y las superficies con las que se aplica la presión” (Cera Wiki, s.f).

### **2.3.13 *Granulometría***

“Así se denomina al tamaño de las partículas (granos, piedras, etc.) que forman parte del polvo o de los áridos” (Pérez Porto J, 2021) otra definición de granulometría según La colina, (2020) es la cuantificación de los granos que son formados por la sedimentación y que su cálculo



corresponde a los tamaños estructurados en la escala granulométrica, con la finalidad de analizar su origen y propiedades mecánicas.

## 2.4 Marco contextual

La presente investigación se situó en el Zulia y en Ocaña pertenecientes al departamento de Norte de Santander, específicamente en el corregimiento del Agua de la Virgen perteneciente al municipio de Ocaña. Norte de Santander, es un departamento situado en Colombia, que cuenta con 40 municipios; como afirma la Gobernación de Norte de Santander, (s.f) se ubica en la región nororiental de Colombia, sobre la cordillera Oriental, limitando con Venezuela entre los  $6^{\circ} 58'$  y  $9^{\circ} 18'$  latitud N y los  $72^{\circ} 03'$  y  $73^{\circ} 35'$  de longitud O, y al sur con los departamentos de Santander y Boyacá y al occidente con el Cesar.

### Figura 3.

*Ubicación del departamento Norte de Santander*



*Nota:* Tomado de (Wikipedia, 2011)

Cucutanuestra, (s.f) comenta que el municipio del Zulia tiene una superficie de 449.07 Km<sup>2</sup>, equivalente al 0.22% del área total del departamento y se sitúa en la subregión oriental del departamento, en el área metropolitana y es frontera con la República de Venezuela, con un clima promedio de 30°C, encontrándose a 220 metros sobre el nivel del mar.

**Figura 4.**

*Ubicación del municipio del Zulia*



*Nota:* Tomado de (Wikipedia, 2012)

En la geología del municipio de Zulia, son prominentes dos formaciones arcillosas, que son considerados relevantes y corresponden a la formación León y Guayabo. Formaciones que juegan un papel importante en la evolución de este territorio, aportando características

geológicas particulares. Siendo el Zulia más incidente a la hacer parte de la formación Guayabo, como indica el autor:

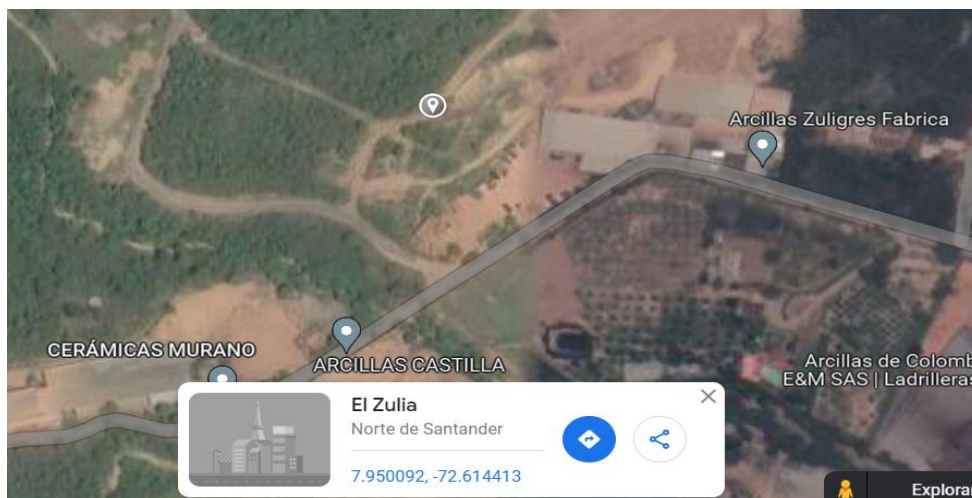
Hacia la parte centro oeste, el cuadrante 87 revela la información geológica de los municipios del Zulia y San Cayetano, allí se aprecia la formación León únicamente en el sector occidental de El Zulia, constituido por shales de color gris a verdes, especialmente arcillosos en la base y el techo, mientras, el grupo Guayabo se presenta en una gran área al este del mismo municipio, y hacia la parte norte de San Cayetano, su litología está compuesta de arenas lodosas, lodolitas arenosas, lodolitas arcillosas y arcillolitas vari coloreadas (Ochoa A., 2016).

El municipio del Zulia, Norte de Santander, el sector cerámico es muy desarrollado en la zona, por lo tanto, existen grandes minas de extracción de material cerámico, entre ellas, la mina Alejandra, donde se extrajo el material arcilloso que se fue evaluado en este estudio.

Específicamente extraído de las coordenadas 9.950092, -72.614413, como se muestra en la siguiente la figura 5.

### **Figura 5.**

*Ubicación de la extracción de la muestra, mina la Alejandra, Zulia*



*Nota:* Tomado de (Google Maps, s.f.)

Las características de los materiales arcillosos pueden variar según factores geológicos, condiciones climáticas y ambientales, que generan diferencias significativas de estos materiales a pocos kilómetros de ubicación unas de otras. Cada arcilla según estas condiciones, genera su propia composición que proporciona características únicas para cada una, y las cuales de manera técnica se pueden desglosar en composición mineral, tamaño de partícula, propiedades físicas, color, textura, capacidad de intercambio iónico, retención de agua, capacidad de expansión y contracción, propiedades químicas y comportamiento en cocción, entre otras. El Zulia es un municipio líder del Norte de Santander en la producción de productos a base de arcilla, como indica el autor:

Los municipios de Cúcuta, los Patios, Villa del Rosario, el Zulia y San Cayetano, representan el 10% de la extensión del departamento de Norte de Santander, y el 6,85% de su territorio lo ocupa la industria cerámica, la cual produce todo tipo de productos derivados de la arcilla. (Sánchez et al., 2016)

La Industria cerámica en el Zulia, es desarrollada ampliamente, debido a las materias primas propias del municipio, las cuales poseen características que permiten la trabajabilidad de las mismas para productos de mampostería estructural, pero, así mismo sus propiedades varían según el tipo de arcilla, lo que hace indispensable realizar análisis químicos, físicos y mineralógicos que muestran un panorama más amplio de las arcillas con las que se está trabajando. Lo que permite que los productos finales tengan las propiedades adecuadas y también la calidad necesaria para sus fines.

El municipio de Ocaña, Norte de Santander, despliega una extensión 672,3 km<sup>2</sup>. Esta área alberga riquezas geológicas, estableciendo así un escenario para esta investigación, cuenta con 18

corregimientos, entre ellos el agua de la virgen. Nuestra región, (s.f) comparte que esta ciudad se encuentra a una altura de 1.202 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio corresponde a 22°C, ubicada sobre la cordillera oriental que cuenta con una extensa área de influencia.

### **Figura 6.**

*Ubicación del municipio de Ocaña, Norte de Santander*

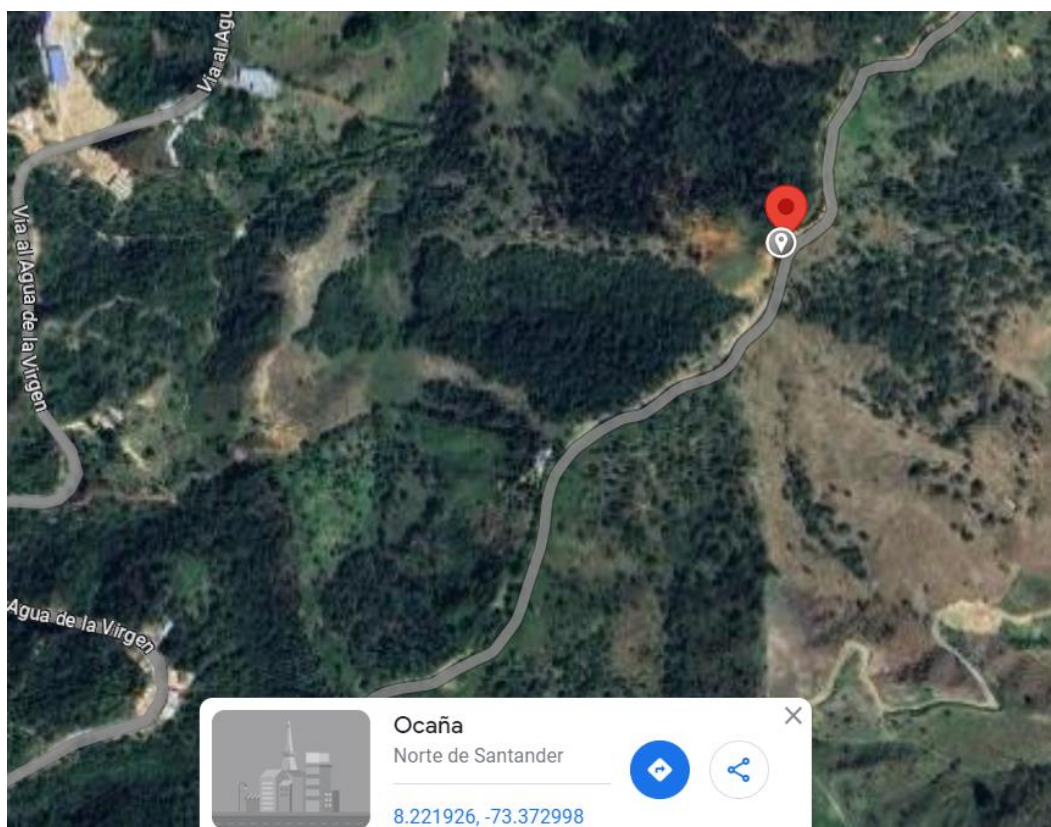


*Nota:* Tomado de (Wikipedia, 2012)

El municipio de Ocaña, Norte de Santander, la muestra objeto de estudio fue extraída del camino al Agua de la Virgen, área rural ubicada en zona montañosa, elegida como punto de muestreo por su nula transitabilidad transporte terrestre, por lo que podría ser seleccionada con mayor pureza en relación con el área urbana. Su ubicación geográfica corresponde a 8.221926° N, -73.372998 °W respectivamente, como se muestra en la figura 7.

**Figura 7.**

*Ubicación de la extracción de la muestra, Agua de la Virgen, Ocaña*



*Nota:* Tomado de (Google Maps, s.f.)

La industria cerámica en Ocaña, no es muy fuerte, esto se debe a que los productos y procesos son desarrollados de manera tradicional, indica Afanador et al. (2012) que en el municipio de Ocaña se encuentran 16 chircales activos que se ubican en las diferentes zonas urbanas y que alcanzan una producción de 352.000 ladrillos/mes, fabricados en procesos manuales y rudimentarios en varias de las etapas del proceso productivo en la producción de mampostería estructural. A pesar de que existe cierta cantidad de chircales, con producción activa, emplean procesos manuales y rudimentarios, lo cual indica que la selección de materias primas también es realizada de formas ajenas a las normas que rigen la extracción de las mismas en Colombia, del mismo modo, fabrican sus productos sin conocer las propiedades específicas de

los materiales utilizados, viéndose afectada en gran medida la calidad de los productos finales como lo comenta el autor “Los tejares o “chircales” se encuentran en la zona rural y allí la selección de las arcillas y el control de calidad son nulos” (Afanador, et al., 2013) continua el autor “Debido al fisura miento temprano de paredes solicitadas por efectos gravitacionales, principalmente en viviendas de estratos 1 y 2, y al peligro al que estarían expuestas si se presentara un evento telúrico” Según lo mencionado, los controles de calidad son inexistentes, lo que pone en riesgo la vida de los consumidores de estos productos, pues, los que se ven más afectados son las personas de escasos recursos económicos ya que estos productos son vendidos a bajo costo, lo que permite que sean los precios más bajos y accesibles del mercado, incumpliendo con las normas para la venta de los mismos. Los consumidores confían en el producto que les ofrece, esto se debe al desconocimiento de cómo las propiedades de la materia prima en bruto sin mezclarse o que fueron mezcladas sin conocimiento de las características apropiadas para la elaboración del mismo, inciden en el comportamiento del producto al pasar el tiempo.

García y Bolívar, (2017) comenta que las empresas obtienen grandes desperdicios debido a la falta de análisis tecnológicos que pronostiquen el comportamiento de las pastas cerámicas para mejorar la calidad del producto final. Existen también desperdicios excesivos en las etapas del proceso productivo, las cuales son ocasionadas por ignorar las propiedades de las materias primas, ya que al ser procesadas sin haber realizado previos análisis tecnológicos, no se puede predecir el comportamiento de los materiales a lo largo de las etapas del proceso productivo, debido a que varían según las materias primas, pues, depende en gran medida de su composición mineralógica y los tratamientos especiales según la composición de los lotes de producto.

## 2.5 Marco legal

Es crucial presentar la normatividad que se encuentra en vigor y que influyen en los estudios enmarcados en este proyecto, siendo directrices reglamentarias que garantizan la solidez de los procesos, ofreciéndole soporte y viabilidad a la investigación. Las normas en mención fueron recopiladas y consideradas como un papel fundamental que dispone un marco legal, estas son nombradas a continuación:

**Tabla 1.**

*Marco legal*

<b>NORMA</b>	<b>DISPOSICIÓN QUE REGULA</b>
<b>NTC 4113-2:1997</b>	Gestión ambiental. Calidad del suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo
<b>NTC 2401:1987</b>	Arcillas grasas para la industria cerámica
<b>NTC 4630:1999</b>	Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.
<b>NTC 1522:1979</b>	Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.



<b>NTC 1495:2013</b>	Suelos. Método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa.
<b>NTC 6299:2018</b>	Calidad del suelo. Determinación de la textura por Bouyoucos.
<b>ASTM C326:2018</b>	Método de prueba estándar para la contracción por secado y cocción de arcillas cerámicas para porcelana blanca.
<b>INVE 122:2012</b>	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo – agregado.
<b>INVE 123:2013</b>	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.
<b>INVE 125:2013</b>	Determinación del límite líquido de los

	suelos.
<b>INVE 126:2013</b>	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

En ausencia de un marco normativo más extenso que regule los estudios y análisis realizados, se opta por aplicar métodos internos que garanticen la obtención de datos pertinentes, asegurando la validez y calidad de la información presentada con un enfoque riguroso y planificado cuidadosamente, adoptando procedimientos específicos que se ajustan a los objetivos y así mismo a la temática planteada.

## Capítulo 3

### Diseño metodológico

#### 3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación aplicada en el desarrollo del proyecto es de tipo experimental, ya que permitió manipular una o varias variables, observarlas, compararlas, determinar lo que ocurre antes y después, cuantificar y obtener resultados objetivos del estudio de los tipos de arcilla extraídas de dos puntos distintos de la geografía nortesantandereana donde se identificaron las características similares o diferentes de las mismas.

Murillo, (s.f) define el enfoque experimental como el suceso donde el investigador manipula variables de estudio para obtener el control del aumento o la disminución de las mismas donde se le permita ser observadas estas conductas. Consiste en cambiar una variable independiente y examinar el efecto causado en la variable dependiente.

#### 3.2 Población y muestra

##### 3.2.1 Población

La población objeto de estudio son las arcillas de Norte de Santander, orientadas por el factor geológico distintivo de la región, siendo considerado foco de la investigación por sus potenciales y diversas aplicaciones industriales.

##### 3.2.2 Muestra

Para el desarrollo de los análisis comparativos se consideraron dos objetos de estudio seleccionados intencionalmente según criterios del investigador. Una de las muestras de material arcilloso es propia de la zona del Zulia y la otra específicamente del corregimiento del Agua de

la Virgen perteneciente al municipio de Ocaña, ambas con una totalidad de 50Kg, seleccionados según las exigencias de cada prueba a realizar en los laboratorios involucrados en el desarrollo del proyecto, donde se contemplaron cantidades adicionales para ser usadas en caso de error.

### **3.3 Instrumentos o técnicas para la recolección de la información**

#### ***3.3.1 Fuentes primarias***

La información se recaudó de los estudios desarrollados en los laboratorios pertinentes, tales como: los análisis DRX (difracción de rayos) y FRX (Fluorescencia de rayos X) análisis granulométrico por lavado en tamiz malla 230, índice de plasticidad, determinación del contenido de humedad y la comparación de las características de las muestras.

#### ***3.3.2 Fuentes secundarias***

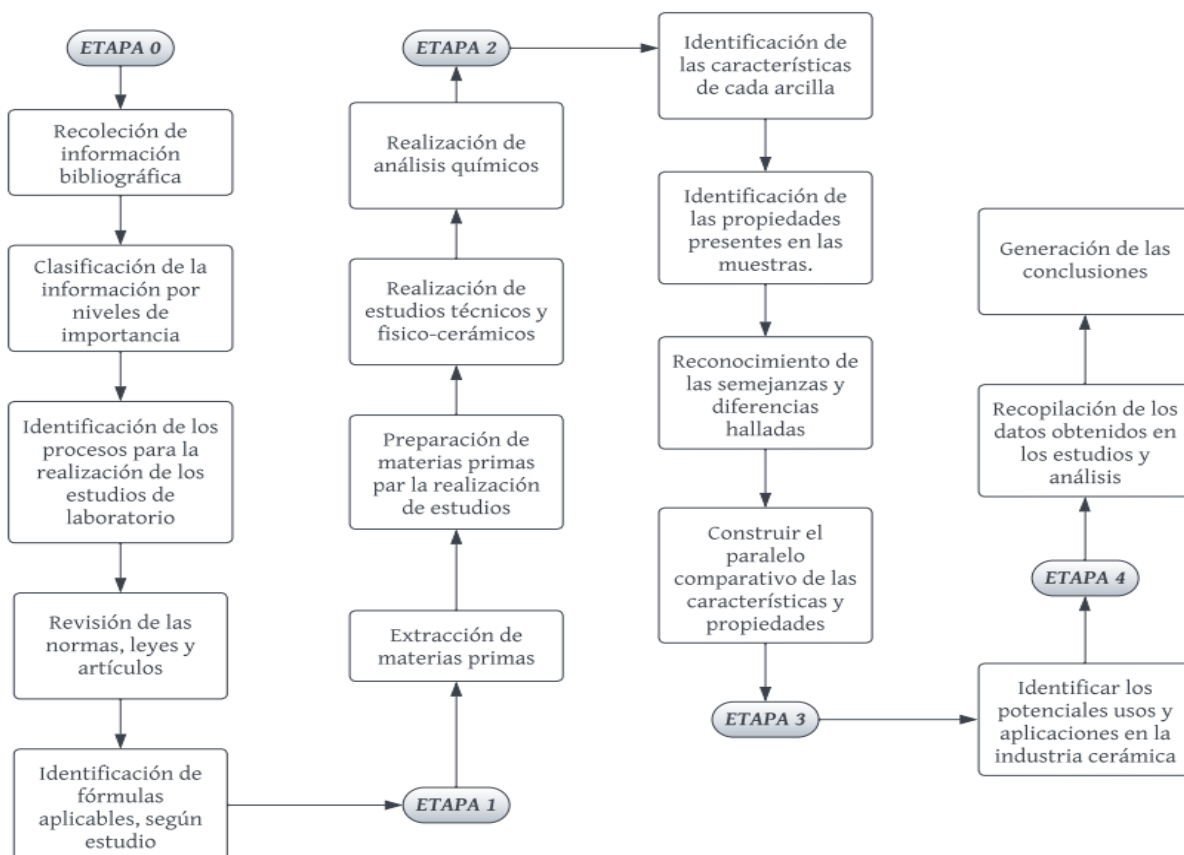
La información suministrada por medio de revistas, libros de texto, proyectos de grado, blog, diccionarios, la RAE, la Norma Técnica Colombiana y los repositorios de la universidad Francisco de Paula Santander, se constituyen en aportes que robustecen la investigación.

### **3.4 Etapas del proceso**

El siguiente diagrama, permite entender de forma simplificada, la información contenida en las etapas que se enuncian a continuación:

#### **Figura 8.**

*Diagrama de etapas*



### 3.4.1. Etapa 0: Recolección de información de valor

Se recolectó la información bibliográfica pertinente que sustenta el proyecto contenido en artículos científicos, proyectos de grado, revistas científicas, blogs, entre otros, que permitieron ampliar el campo de conocimiento y la posterior clasificación de la información en niveles de importancia según propósito de la investigación. Posteriormente se establecieron las normas, artículos y leyes que regularon la aplicación de los estudios para determinar las características, propiedades, análisis, entre otros aspectos importantes de composición de las arcillas.

### ***3.4.2. Etapa 1: Extracción de muestras, realización de estudios y análisis***

En esta etapa se realizó la extracción del material arcilloso mediante un riguroso proceso que buscó extraer la materia prima lo más pura posible; por lo tanto, se cavó una parte de la capa superficial según lo indica la norma y se extrajo las muestras a 30 centímetros de profundidad. La preparación de las materias primas, se realizó molturando, tamizando y separando las cantidades necesarias según el estudio a realizar, considerando el margen de error posible existente por lo que se dispone una porción adicional que se encontró a la disposición del investigador cuando este lo requiriera.

### ***3.4.3 Etapa 2: Análisis de resultados, caracterización, identificación de propiedades y comparación de las arcillas***

Al contar con los resultados de los estudios y análisis, se procedió a identificar las características de cada una de las arcillas de los lugares en estudio, las propiedades que poseen, sus semejanzas y diferencias, las características con las que cuentan; luego se procedió a comparar y caracterizar las arcillas con base en cada uno de los estudios realizados.

### ***3.4.4 Etapa 3: Identificación de sus usos potenciales en la industria cerámica de la región***

Al tener el paralelo, describiendo cada una de las características específicas con las que cuentan las muestras, se procedió a identificar los usos potenciales en los distintos tipos de industrias, buscando innovar y aportar al desarrollo de la industria cerámica regional y nacional.

### ***3.4.5 Etapa 4: Recopilación de datos y conclusiones***

La recopilación de los datos consistió en agrupar la información recaudada teniendo en cuenta las etapas anteriores que comprenden la recolección de información, la extracción de

material, los análisis y estudios, la identificación de características, propiedades de cada materia prima, el paralelo de comparación de las dos arcillas y la identificación de las aplicaciones y usos en la industria cerámica y la generación de conclusiones que permitieron entender el proceso de una forma más simplificada y que sirva de referente para futuros estudios y aportes al desarrollo y fortalecimiento de la industria cerámica en los ámbitos regional y nacional.

### **3.5 Análisis de información**

La información analizada se efectuó con base en la extracción de material de arcilla en los municipios del Zulia y de Ocaña, Norte de Santander, se realizó el estudio de cada muestra y se determinaron las características propias de las muestras y así mismo las similitudes y diferencias, las propiedades químicas y los usos potenciales para el fortalecimiento de la industria cerámica a nivel regional y nacional.

### **3.6 Metodología**

#### ***3.6.1 Caracterización mineralógica***

Para este proyecto se realizó un análisis DRX-12 en el laboratorio de rayos X de la Universidad Industrial de Santander, correspondiente a un análisis cuantitativo por DRX con análisis de fracción arcillosa, cuantificación de fases cristalinas por Difracción de Rayos X, Bulk, separación por decantación: normal, etilenglicol para comprobar la presencia de material expandible, calcinada a 550°C. Lo que permitió identificar o corroborar la presencia de minerales arcillosos a partir de un tratamiento químico y térmico.

#### ***3.6.2 Caracterización química***

Se realizó un análisis FRX-02 en el laboratorio de rayos X de la Universidad Industrial de Santander, correspondiente a un análisis elemental cuantitativo WXRf (Na-U) por fluorescencia

de Rayos X, de longitud de onda dispersiva en el rango de Na-U, determinación de muestras minerales e inorgánicas. Lo que permitió conocer las propiedades químicas de las arcillas y sus características.

### 3.6.3 Caracterización físico – cerámica

**3.6.3.1 Determinación del límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad.** Para este proyecto la muestra de arcilla del Zulia y la de Ocaña, son trabajadas pasantes malla 8, y se utilizó un total de 100g de cada una, por lo que se procede a agregar 5ml de agua progresivamente siendo mezclada de forma homogénea, hasta alcanzar el límite plástico del material.

Al ser encontrado el límite plástico, se utilizaron otros 100g de cada muestra y se le agregaron 5ml de agua hasta alcanzar el límite líquido de las arcillas. Con los datos obtenidos se halló el índice de plasticidad aplicando la formula correspondiente.

$$IP = LL - LP \text{ Fórmula 2.}$$

**3.6.3.2 Contenido de humedad.** Se determina el contenido de humedad del material en bruto con muestras de 100g pasantes malla 8, que aseguran la homogeneización de las partículas estudiadas y éstas fueron secadas a una temperatura constante de 100°C +/- 5°C, óptima para la evaporación de la humedad presente en las muestras.

$$\%CH = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100\% \text{ Fórmula 3.}$$

Siendo,

CH = Contenido de humedad

Mh = Masa húmeda en gramos



Ms = Masa seca en gramos

**3.6.3.3 Material lavado pasante en tamiz.** Se realizó un análisis granulométrico por medio del lavado del material pasante tamiz N°230, donde se emplearon 3 muestras de 50g de cada material y se procedió a realizar el lavado de las mismas hasta conseguir que la muestra se desprenda de gran parte de su fracción arcillosa, donde se procede a recolectar los retenidos, siendo introducidos al secadero a una temperatura constante de 100°C+/- 5°C y se toma su peso seco. la diferencia corresponde al porcentaje de retenido.

$$\% Pasante = \frac{Mm - Mr}{Mm} \times 100\% \text{ Fórmula 1.}$$

Teniendo en cuenta que,

Mm = Corresponde al peso de la masa de la muestra en gramos

Mr = Corresponde al peso de la masa de retenido en gramos

El cálculo de retenido se realiza mediante diferencia, al 100% de la muestra se le resta el porcentaje pasante de la misma.

**3.6.3.4 Contracciones lineales en seco y cocido.** La arcilla seca fue humectada hasta su límite plástico hasta conseguir una pasta homogénea y se conformaron las probetas de ambas muestras, a las cuales se les realizó un marcaje inicial de 5cm con el calibrador y se dejaron secando al natural, tomando mediciones de contracción y peso en días distintos hasta ser llevadas al secadero a 100°C+/- 5 °C y posteriormente introducidas a cocción, recolectando sus datos mientras éstas fueron sometidas a distintas condiciones. Es importante recalcar, que algunas de las muestras presentaron dificultades al ser medidas, por lo tanto, estas consideran un margen de

error, ya que se vieron afectadas por la fragilidad de las probetas, especialmente luego del ser sacadas del secadero, así mismo algunos equipos de medición presentan una posible descalibración.

## Capítulo 4

### Desarrollo del proyecto

#### 4.1. Descripción general de las materias primas

Se entiende por materia prima de un proceso productivo todo aquel material que es transformado de una forma u otra; desde el concepto cerámico los materiales arcillosos toman gran relevancia, pues son estos, la mayor parte constituyente ya sea del producto en proceso o del producto terminado. Para proporcionar una descripción detallada de las arcillas objeto de estudio presentes los municipios del Zulia y Ocaña, Norte de Santander, es relevante entender que las características de las materias primas pueden variar según su geología y condiciones locales.

##### *4.1.1 Arcilla del municipio del Zulia*

La muestra de arcilla de la mina La Alejandra, de coloración roja y textura dura, es en gran medida usada para la elaboración de productos de mampostería estructural y de baldosas cerámicas. Esta arcilla desde sus características facilita su proceso de elaboración porque es de fácil compactación y poco absorbente, lo que facilita el proceso de secado sin que se deforme la pieza. Al realizar los análisis por el triángulo de Winkler figura 12, se puede corroborar que estas arcillas se encuentran en el área óptima de trabajo de las arcillas para la producción de mampostería estructural; esta información se sustenta con los análisis por hidrometría, que por el posicionamiento de sus componentes (arenas, arcillas y limos) lo ubica en este cuadrante, lo que indica que posee propiedades determinantes que favorece aún más el crecimiento de la industria cerámica en este municipio, siendo analizada principalmente desde un punto de vista de innovación.

En base a los resultados obtenidos esta arcilla contiene fases cristalinas de Caolinita y Moscovita. La Caolinita es un mineral de arcilla que es una subclase de los minerales de silicatos de aluminio esta se presenta como placas hexagonales, como indica el autor “Mineral arcilloso común con una composición química de  $AL_2Si_2O_5(OH)_4$  a diferencia de muchas otras arcillas, no cambia de dimensiones bajo diferentes condiciones de humedad y no intercambian iones con líquidos adyacentes” (Geology, s.f). La Moscovita es un mineral común en la familia de las micas, es un mineral que favorece la formación de las rocas, siendo láminas transparentes, por lo que al estar en contacto con la luz se puede ver su transparencia, esta se clasifica químicamente dentro de los silicatos. Sus propiedades permiten ampliar su campo de uso Industrial, ya que ambas fases cristalinas, son de gran importancia en la elaboración de diversos productos.

#### ***4.1.2 Arcilla del municipio de Ocaña***

La muestra de arcilla extraída del camino Agua de la Virgen perteneciente al municipio de Ocaña, es de coloración naranja, y textura suave y ligera, comúnmente utilizada para la fabricación de productos de mampostería estructural. Es de importancia recalcar que dentro de este sector no solamente existe arcilla con esta coloración, sino que se encuentra diversidad de tonalidades y texturas. La arcilla tiene una capacidad de absorción de agua elevada, y es frágil al momento de realizar el secado, se debe manipular con gran cuidado, ya que esta se desmorona con facilidad.

Al caracterizarla según el triángulo de winkler figura 12, se pudo observar que la arcilla del municipio de Ocaña, es en gran medida arcillosa, por lo que no es recomendada para la fabricación de productos de mampostería estructural, ya que esta materia prima en bruto ocasiona serios problemas de rotura en las etapas de proceso productivo.

Por hidrometría se pudo determinar que contiene un alto porcentaje de arcillas y niveles bajos de arenas y limos. Teniendo en cuenta el análisis, se puede determinar que esta arcilla contiene fases cristalinas caolinitas y montmorillonitas. Como indica Academia Lab, (s.f.) a caolinita es uno de los minerales que se caracteriza por sus propiedades físicas, químicas y su estructura cristalina, es formada por la descomposición de minerales de aluminosilicatos, con presencia de átomos de aluminio, silicio, oxígeno e hidrógeno. Compuesto por capas de tetraedro de silicio y octaedros de aluminio, con estructura laminar.

Según EcuRed, (s.f.) La montmorillonita, es perteneciente al grupo de las esmectitas, siendo un silicato de aluminio y magnesio, es muy común y además se conforma de una estructura laminar delgadas, pero son estas mismas quienes aportan propiedades únicas, como su capacidad de expandirse al retener demasiada agua, es por ello que trascienden a usos industriales para absorber variedad de líquidos.

#### **4.2 Formulación y mezclas**

Desde el concepto de la elaboración de mampostería lo más común hasta el momento, las formulaciones deben ser utilizadas para mejorar las propiedades de los productos finales o de los proceso productivo, adaptándolos a diferentes condiciones deseadas aplicando los conceptos de la mejora continua que impacte lo ya existente, pero, sería ideal que su uso vaya más allá, ya que al realizar mezclas entre arcillas, se pretende desde la investigación del presente documento encontrar si es posible usos distintos. En las muestras trabajadas provenientes del Municipio del Zulia y Ocaña, en base a su baja presencia de material inerte, y buscando un enfoque distinto al tradicional, se recomienda la mezcla de ambas, con la finalidad de buscar nuevas características

interesantes; si se diera el caso de generar productos dentro de la tradición de productos estructurales.

Las formulaciones hacen referencia a la mezcla de varios tipos de arcilla y aditivos con la finalidad de crear materiales con características y propiedades específicas que permitan el aprovechamiento de la materia prima para la elaboración de productos deseados; las formulaciones pueden variar dependiendo de las propiedades finales que se desee lograr, como el color, textura, resistencia, entre otras. Cada arcilla tiene propiedades únicas, ya que, dependiendo de la elección, influirá en el resultado final, por esto, estas deben ser formuladas cuidadosamente para poder de manera calculada y controlada y obtener el producto deseado. García, et al. (2018) define las formulaciones como una mezcla que se compone por dos o más aditivos con proporciones independientes.

Las formulaciones son utilizadas para mejorar las propiedades de la materia prima y garantizar las características especiales que se le suministrarán al producto final. Este paso es de gran importancia ya que las arcillas en bruto poseen características variables las cuales no son favorables para los productos a elaborar, por lo tanto, se recomienda realizar formulaciones y mezclas según la necesidad de calidad que se desea alcanzar.

## Capítulo 5

### Análisis

Los análisis representan un papel importante ya que proporcionan una base sólida respaldada por estudios que permiten comprender y validar los resultados esperados, examinando los componentes del tema de estudio, relacionando y comparando los datos obtenidos y aumentando la confiabilidad de los resultados, para ser aplicados potencialmente a un contexto industrial.

#### 5.1 Análisis comparativo de los materiales arcillosos del Zulia y Ocaña, Norte de Santander

Para los diferentes análisis realizados a las arcillas de estos dos sectores de la geografía Norte Santandereana, se tomaron las respectivas muestras con los apliques necesarios para lograr aproximadamente 50 kg de cada material. Los cuales fueron homogeneizados y preparados para el desarrollo de cada uno de los diferentes ensayos.

##### 5.1.1 Análisis mineralógicos

**Tabla 2.**

*Difracción de rayos X (DRX)*

<b>DRX (Fases cristalinas identificadas)</b>			
<b>Ocaña</b>		<b>Zulia</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cuantitativo</b>
<b>Bulk</b>			
Cuarzo	24,76%	Cuarzo	59,30%
Crisotilo	5,25%	Rutilio	2,13%
Albita cálcica	4,52%	Hematita	2,09%
Magnesio-ferri-hornblenda	2,60%	Anatasa	1,24%
Anatasa	1,79%		
Goethita	1,26%		
<b>Arcillas</b>			

Caolinita-1A	58,55%	Caolinita-1A	18,45%
Montmorillonita	1,27%	Moscovita	16,79%

*Nota:* Elaboración laboratorio de rayos X, Universidad Industrial de Santander

Después de observar los resultados obtenidos se pueden destacar situaciones puntuales como las siguientes. Los dos materiales poseen porcentajes considerables de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), pero con mayor relevancia se puede evidenciar que las arcillas del zulía poseen mayor cantidad de este material que las de Ocaña; ya que el cuarzo reduce de manera significativa la plasticidad y tiende a aumentar la refractariedad de los materiales arcillosos o de las pastas cerámicas que se elaboran con ellas. Por lo cual, la arcilla del Zulía por presentar mayor cantidad de cuarzo libre, exigen procedimientos de enfriamiento controlados para evitar roturas motivadas por las tensiones de los materiales que se pueden generar por la transformación alotrópica del cuarzo  $\alpha$  en cuarzo  $\beta$  que ocurre a los 573 °C.

Otra situación que caracteriza a los materiales que poseen cuarzo, es que se cuecen a temperaturas relativamente bajas (entre 850 y 1050 ° C), el cuarzo a bajas temperaturas apenas interviene químicamente en la cocción, aportando a las arcillas o mezclas de ellas la disminución de la plasticidad y de la resistencia mecánica en seco; aumentando considerablemente la compacidad y el coeficiente de dilatación: pero se debe tener en cuenta que a medida que aumenta la temperatura de cocción, el cuarzo presenta reacciones con los demás componentes de la arcilla, constituyendo aluminosilicatos que otorgan al producto una mayor resistencia química y de igual manera, la variación en el concepto de ser mayor o menor en su influencia en la característica caolinita de los materiales, se puede observar que las arcillas de Ocaña presentan mayor influencia caolinita que las del municipio del Zulía.

Es importante reconocer en los dos materiales la presencia de minerales que generan características interesantes y posibilidades potenciales para diferentes aplicaciones industriales;



la presencia de crisotilo como un hidroxil-silicato de magnesio en las arcillas de Ocaña pueden aportar características específicas, así como la presencia de rutilio como resultado del óxido de titanio aporta características interesantes en su coloración a las arcillas el Zulia, como es posible corroborar en la tabla 3 y 4.

### 5.1.2 Análisis químicos

**Tabla 3.**

*Comparación FRX por elemento químico*

<b>COMPARACIÓN POR ELEMENTO QUÍMICO</b>		
<b>FRX</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Ocaña</b>	<b>Zulia</b>
Si	23,43%	28,93%
Al	9,61%	9,62%
Fe	11,42%	5,24%
K	1,01%	1,78%
Ti	0,95%	0,90%
Ca	0,56%	0,24%
Mg	0,39%	0,30%
P	0,24%	0,29%
Na	0,13%	0,05%
Zr	0,05%	0,07%
Mn	0,04%	0,02%
V	0,02%	0,02%
Cl	0,02%	-
S	0,02%	0,03%
Zn	0,01%	0,03%
Ba	-	0,07%
Sr	-	0,02%
Rb	-	0,01%
<b>Elementos minoritarios</b>		
Ni	67 PPM	93 PPM
Cu	100 PPM	81 PPM
Nb	21 PPM	32 PPM
As	-	26 PPM
Ga	41 PPM	25 PPM
Ba	87 PPM	-

Rb	75 PPM	-
Sr	66 PPM	-
Sc	57 PPM	-

*Nota:* Elaboración laboratorio de rayos X, Universidad Industrial de Santander

**Tabla 4.**

*Comparación FRX por compuesto químico*

<b>COMPARACIÓN POR COMPUESTO QUÍMICO</b>		
<b>FRX</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>	
<b>Compuesto</b>	<b>Ocaña</b>	<b>Zulia</b>
SiO <sub>2</sub>	50,12%	61,89%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,15%	18,18%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,33%	7,48%
K <sub>2</sub> O	1,22%	2,14%
TiO <sub>2</sub>	1,58%	1,50%
CaO	0,78%	0,34%
MgO	0,64%	0,51%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,56%	0,67%
Na <sub>2</sub> O	0,17%	0,07%
ZrO <sub>2</sub>	0,06%	0,09%
MnO	0,06%	0,03%
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04%	0,04%
Cl	0,02%	-
SO <sub>3</sub>	0,04%	0,08%
ZnO	0,02%	0,04%
BaO	-	0,08%
SrO	-	0,02%
Rb <sub>2</sub> O	-	0,02%
<b>Elementos minoritarios</b>		
NiO	86 PPM	0,01%
CuO	0,01%	0,01%
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30 PPM	46 PPM
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	34 PPM
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55 PPM	33 PPM
BaO	97 PPM	
Rb <sub>2</sub> O	82 PPM	
SrO	78 PPM	
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	88 PPM	

*Nota:* Elaboración laboratorio de rayos X, Universidad Industrial de Santander

Teniendo en cuenta los datos anteriores por compuesto químico, se puede afirmar que:

La relación existente entre los compuestos  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , en la arcilla de Ocaña arroja un resultado de 4,63 y en la del Zulia 5,71, lo que indica que ambas arcillas poseen cuarzo libre; situación que las marca como arcillas fundentes que necesitan temperaturas de cocción inferiores a las caoliníticas puras, pero que se debe tener un considerable cuidado en las etapas de secado y cocción.

Indica (Idarraga et al, 2020) “Los refractarios de alúmina pueden clasificarse de acuerdo al contenido de este material. Por ejemplo, los refractarios de arcilla típicamente tienen un rango de contenido de alúmina entre 25 % y 45 % en peso” por lo que ambas arcillas contienen un porcentaje de  $\text{Al}_2\text{O}_3 < 25\%$ , lo que las catalogadas como fundentes, es decir que sus características pueden ser aprovechadas para reducir curvas de cocción y por ende consumo energético.

Tanto la arcilla de Ocaña, como la del Zulia, muestran ser arcillas de cocción rojas. y por su contenido de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), poseen alta pigmentación; es decir que luego de algunos tratamientos térmicos resalta el color rojo o de la gama de estos en su presentación final.

Otra situación importante de resaltar es que según los análisis realizados y los resultados obtenidos se puede observar que la relación entre  $\text{CaO} + \text{MgO}$ , en los dos materiales arcillosos es relativamente bajo; en la Arcilla Ocañeras, arroja un valor de 1,42%, mientras que la del Zulia 0,85%, este resultado nos muestra de manera inequívoca que la presencia de sales como los carbonatos son bajas. Y la presencia de sales solubles como el vanadio, estroncio y bario presentan bajas incidencias que no afectará considerablemente los aspectos superficiales luego de una cocción. De igual manera y en relación a los datos obtenidos no hay evidencia de la existencia de feldespatos sódicos en ninguna de las muestras.

### 5.1.3 Análisis físico-cerámicos

Estos estudios se centran en las propiedades físicas y estructurales de los materiales cerámicos, ya que abarcan técnicas que determinan características propias del material, permitiendo una comprensión profunda entre la relación existente entre su estructura interna y el comportamiento de estos materiales cerámicos.

**5.1.3.1 Método casagrande.** Cómo es posible corroborar en la tabla 5, la arcilla de Ocaña es mucho más plástica que la arcilla del Zulia, por lo que es posible caracterizar la plasticidad del suelo, indica el autor que el índice de plasticidad es:

El tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico. En general, el índice de plasticidad depende sólo de la cantidad de arcilla existente e indica la finura del suelo y su capacidad para cambiar de configuración sin alterar su volumen. Blog Fao, (s.f)

Por lo que se puede determinar que la arcilla de Ocaña en comparación con la del Zulia posee un exceso de arcilla o de coloides, lo que indica que este material debe ser tratado con mayor cuidado dentro del proceso productivo, esto se debe a que es ampliamente absorbente, por lo que la eliminación de exceso de contenido de humedad puede generar problemas de rotura y deformaciones dimensionales en la pieza.

**Tabla 5.**

*Límites e índice de plasticidad*

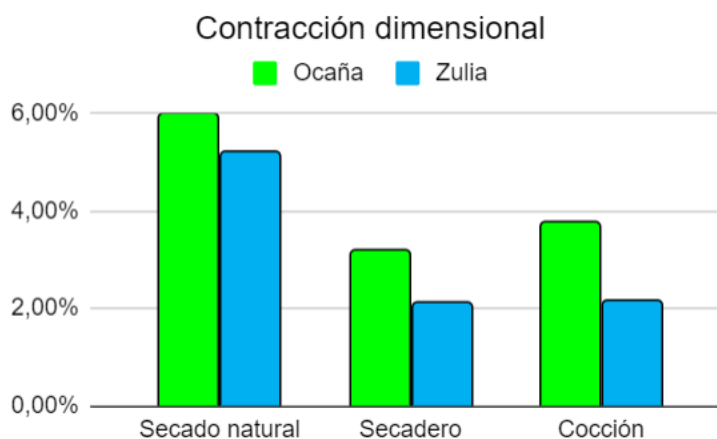
LUGAR	%LP	%LL	%IP
OCAÑA	44	63	19
ZULIA	25	34	9

**5.1.3.2 Contracción lineal en seco y cocido.** Es posible observar que las probetas de Ocaña se contraen más a nivel dimensional y pierden mayor porcentaje de peso en relación a las

del Zulia, por lo que la arcilla de Ocaña al eliminar el agua superficial en la etapa de secado generará incumplimiento dimensional, por lo que los productos elaborados no cumplirán con las dimensiones acordadas, causando problemas de rotura en las piezas y exigiendo más control en el manejo de las curvas de secado y cocción.

**Figura 9.**

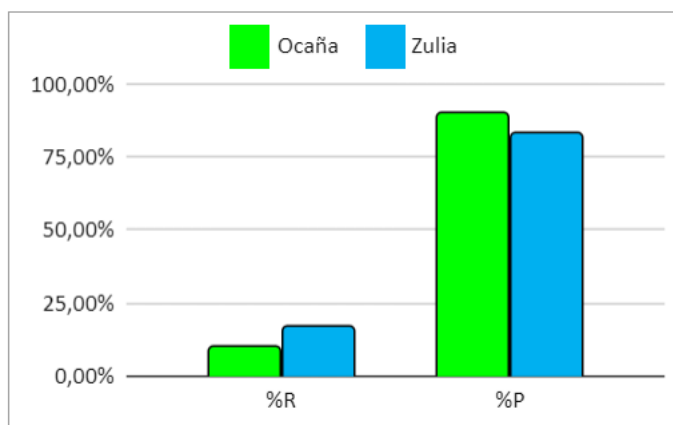
*Contracción dimensional en seco y cocido*



**5.1.3.3 Análisis granulométricos, retenidos malla 230.** Permitió determinar cuál suelo contiene mayor porcentaje de arenas y limos, según lo encontrado en la figura 10 el porcentaje de retenidos de Ocaña, se encuentra en un promedio de 10,13% y el Zulia en un 16,6%, lo que soporta el resultado obtenido por el método de Bouyoucos, lo que indica que la muestra Zuliana posee mayor cantidad de arenas y limos, en comparación con la de Ocaña, lo que la hace apta para elaborar productos de mampostería estructural.

**Figura 10.**

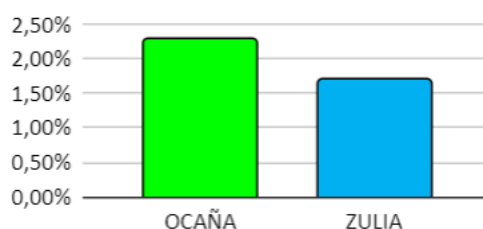
*Porcentaje de pasante y retenidos en lavado sobre tamiz malla 230*



**5.1.3.4 Contenido de humedad.** La arcilla de Zulia indicó un contenido de humedad más bajo en relación a la arcilla de Ocaña y como puede ser observado en la figura 11, lo que permite tener más control de las curvas de secado y cocción ya que ésta debe eliminar menor cantidad de agua superficial, lo que ocasiona menor incidencia a presentar problemas de rotura en los productos elaborados.

**Figura 11.**

*Contenido de humedad*





#### **5.1.4 Planteamiento del comparativo de los dos materiales arcillosos**

**5.1.4.1 Hidrometría de Arcillas de Norte de Santander.** Las lecturas hidrométricas encontradas en la tabla 6, proporcionan información de las propiedades hidrológicas de la zona,

estas están relacionadas con el contenido de agua en el suelo. En las lecturas por hidrometría, se logró determinar el porcentaje de arenas, arcillas y limos presentes en las muestras.

**Tabla 6.**

*Hidrometría de las arcillas*

<b>MUESTRA</b>	<b>%ARENA</b>	<b>%ARCILLA</b>	<b>%LIMOS</b>	<b>ICONO</b>
Ocaña	12	69	19	
Zulia	21	44	35	

*Nota:* Elaborado por Mintec Ceramic LTDA

Es posible identificar que el %Arcilla de muestra de arcilla de Ocaña es del 69%, lo cual marca una diferencia a comparación del %Arcillas de la muestra del Zulia, la cual corresponde a un 44%, lo que indica una diferencia de 25% que incide en el comportamiento del material. La suma entre el %Arenas y %Limos en la arcilla de Ocaña, proporciona un total de 31%; este resultado no supera la cantidad de fracción arcillosa que se encuentra en su composición; mientras que, si se suma el %Arenas y %Limos de la arcilla del Zulia, que es igual a 56, supera el porcentaje de arcilla presente en la muestra, lo que permite concluir que la Arcilla de Ocaña en su mayoría es fracción Arcillosa, mientras que la arcilla del Zulia en mayormente representada por arenas y limos.

Con la información obtenida anteriormente, se graficó en el Triángulo de Winkler, que es una herramienta gráfica, utilizada para clasificar visualmente los tipos de suelos obtenidos según su granulometría. Este cuadro está conformado en cada vértice por un tipo de suelo, encontrando en su parte superior las arcillas, en su parte inferior derecha los limos y en su parte inferior izquierda las arenas. Allí se encuentran áreas marcadas correspondientes a 1. Ladrillos comunes, 2. Ladrillos perforados verticalmente, 3. Tejas y pisos, 4. Bloques y piezas de gran formato; estas 4 áreas mencionadas, corresponden a aquellas materias primas que pueden ser utilizadas para fabricar mampostería estructural; las que se encuentren fuera de allí, se clasifican como suelos





*Nota: Elaborado por Mintec Ceramic LTDA*

## **5.2 Innovación a partir de las materias primas en el sector productivo**

La innovación en el sector productivo representa un avance en la competitividad del mercado, siendo manifestada en mejoras significativas en características y funcionalidades de los productos, optimizando los procesos de producción y aumentando la eficiencia operativa en general, implementando ya sea en la incorporación de nuevos materiales, diseños, calidades, aumento, durabilidad y rendimientos.

### **5.2.1 Productos**

Por medio de formulaciones y mezclas, pueden ser desarrollados productos con propiedades y características mejoradas, estas pueden lograrse al definir qué es lo que se quiere lograr con el producto, para de esta manera identificar cuáles serán aquellas propiedades mejoradas a las que se desea llegar, tales como elevar la resistencia mecánica, la conductividad térmica, resistencia a las altas temperaturas, entre otras características importantes que marcaran un factor de diferenciación en el mercado que se desea abordar. Pero, para ello, es indispensable realizar análisis químicos, mineralógicos y físico cerámicos en las arcillas que se deseen trabajar para realizar las respectivas formulaciones en base a las características que posee el material y en la búsqueda de las que quieren adquirir según el producto buscado. Así mismo se puede innovar en revestimiento y tratamientos especiales, con propiedades como elevada resistencia a la fricción, propiedades antimicrobianas y características que modifiquen la fragilidad para lograr productos con mayor durabilidad.

### **5.2.2 Procesos**

Cuando se busca modificar las propiedades o características de un producto cerámico para darle unas especiales, se modifica también el proceso, esto se traduce en subida o baja de temperaturas, aumento o disminución en tiempos de cocción, complejidad de manejo de las curvas de secado y cocción, cambios en el proceso de secado y cocción, entre otros, ya que las propiedades adquiridas pueden facilitar la eficiencia de los procesos ya existentes o en otros casos, es necesario implementar tecnologías que permitan abordar las características proporcionadas. Al hablar de tecnología dentro del proceso cerámico, se habla de implementar técnicas avanzadas como la nanotecnología, fabricación aditiva e impresión 3D, así mismo como la automatización robótica dentro de los procesos.

### **5.2.3 Eficiencia general**

No sólo es importante hablar de los beneficios que trae innovar en productos y procesos cerámicos, sino también de la eficiencia de los mismos, cumpliendo las obligaciones industriales como la sostenibilidad ambiental para reducir las emisiones de gases efecto invernadero, la reutilización de residuos y la optimización de los recursos naturales. Con la eficiencia de cumplimiento y responsabilidad ambiental se puede innovar en diseños únicos y estéticos que respondan a las tendencias del mercado.

## **5.3 Innovación en productos cerámicos**

Con las arcillas estudiadas en este proyecto, provenientes del municipio de Ocaña y el Zulia Norte de Santander, puede ser posible estudiar las formulaciones teniendo en cuenta las características y propiedades de cada materia prima, ya que ambas pueden ser un buen complemento para fabricar productos con características mejoradas.

La arcilla de Ocaña, Norte de Santander, contiene fases cristalinas caoliníticas y montmorillonitas; esto se traduce en su capacidad de absorción de agua, usados en gran medida la fabricación de productos cosméticos, ya que la hace ideal para las personas con pieles grasas, siendo muy relevante debido a su suficiencia para absorber exceso de aceites e impurezas. En la industria farmacéutica es usada como agente de estabilización de fórmulas, también en la industria del papel, mejorando la retención de pigmentos. En la agricultura se utiliza como agente de retención de agua, mejorando su estructura; es un excelente aliado dentro de la en la industria petrolera “Las arcillas han sido tradicionalmente los viscosificantes más usados en lodos de perforación. Entre ellos sobresalen la bentonita -rica en montmorillonita, que presenta gran capacidad de intercambio catiónico” (Sierra & Salazar, 1999), ya que es parte de los fluidos de perforación que mantienen la estabilidad del pozo de explotación, por lo que esta arcilla puede estar involucrada ampliamente en sectores diversos como el automotriz facilitando el moldeo y trabajabilidad de diseño en exterior e interior del automóvil.

No menos importante, esta arcilla puede favorecer en gran medida el desarrollo de nuevos productos innovadores que requieran gran plasticidad en sus características, así como elevar su resistencia mecánica, absorción de líquidos, entre otros, siendo un material ampliamente versátil.

La arcilla del Zulia es utilizada para la mampostería estructural por sus características propias, pero esta también puede ser formulada aprovechando sus características y logrando productos innovadores con características mejoradas, debido a sus fases cristalinas caoliníticas y moscovitas. La moscovita se caracteriza por aportar brillo y opacidad a los productos, es por esto que es usada para la fabricación de vidrios, así como también se faculta en industrias como la eléctrica y electrónica, ya que es ideal para la fabricación de aislantes térmicos, gracias a su

propiedad de refractariedad, así mismo, es utilizada en la industria cosmética, como pigmento proporcionando brillo, siendo un mineral valioso para diversas aplicaciones, como indica el autor Ayuso, (2017), la mica molida es utilizada en la industria cosmética, debido a el nacarado de ésta, lo que permite que sea un ingrediente importante en la elaboración de delineadores de ojo, sobras, brillo de labios, rímel, labial y esmalte para uñas. En España se encuentra la mayor explotación de este material, precisamente en Garcirrey (Salamanca) y a nivel mundial se destaca Pakistán, India, Estados Unidos y Brasil.

Con las características halladas en las materias primas objeto de estudio, es posible afirmar que sus usos pueden trascender en la industria por medio de la exploración y explotación de las propiedades específicas de sus minerales, innovando en nuevos productos mejorados con factores diferenciales en el mercado.

## Capítulo 6

### Conclusiones

La arcilla extraída en Ocaña, Norte de Santander, presenta características no adecuadas para su utilización en estado bruto en la producción de productos de mampostería estructural, esto se debe a su alto contenido arcilloso que le aporta alto grado de plasticidad, acarreando desafíos físico-cerámicos pues afecta la calidad de las piezas resultantes, generando deformaciones excesivas durante el secado y cocción, quedando expuesta a incidencia de grietas, fisuras y afectando la precisión dimensional.

Las arcillas del Zulia, Norte de Santander, usadas tradicionalmente en la producción de mampostería estructural, poseen un potencial sin explorar en la innovación de productos cerámicos tales como: revestimientos cerámicos resistentes al desgaste, cerámicas técnicas como piezas aislantes, componentes eléctricos y refractarios, cerámicas de alta calidad, filtros cerámicos y cerámica sanitaria, con características mejoradas, su versatilidad mineralógica brinda oportunidades para la exploración de aplicaciones más allá de las convencionales, exigiendo de esta manera investigación para el fortalecimiento de la industria.

El incumplimiento de las normas de calidad en los tejares ubicados en Norte de Santander, son ocasionados por problemas de rotura en los productos de mampostería, debido al desconocimiento de las propiedades de la materia prima que utilizan dentro de sus procesos, por esta razón es de vital importancia conocer las características y propiedades de cada una de ellas y cómo se pueden mejorar por medio de formulaciones para lograr productos que cumplan con los estándares de calidad del mercado.

La industria cerámica de Norte de Santander tiene un potencial prometedor en sus materias primas, capaz de lograr productos innovadores con atributos mejorados, más allá de la

mampostería estructural, la industria puede ser expandida a cerámicos avanzados, siendo útil en áreas como la electrónica, biomédica, la salud, la cosmética e incluso en la exploración de contribuciones especiales a nivel ambiental.

Es importante recalcar los usos potenciales dentro de otras industrias, tales como la cosmética en la producción de productos cosméticos, en la industria papelera en la producción de papel con mejor porosidad, resistencia y absorción de tintas, en la industria automotriz en apoyo al diseño por modelado, en la industria textil como agente de retención de tintes, en la industria polimérica en la elaboración de nanocompuestos poliméricos, en la industria agrícola como agente de absorción de agua, en la industria petrolera como parte de los lodos de perforación y estabilización de los pozos de excavación; usando las arcillas estudiadas como potenciadores de las propiedades de los productos ya existentes o la innovación en nuevos productos e industrias.

## **Capítulo 7**

### **Recomendaciones**

Se sugiere explorar el potencial de estas dos arcillas estudiadas mediante el desarrollo de formulaciones y mezclas que impulsen la innovación en la creación de nuevos productos, en la optimización de los procesos productivos y en la mejora de la eficiencia de las empresas del sector industrial.

Es necesario abordar cada uno de los posibles usos mencionados de manera individual y ser respaldados por exhaustiva investigación especializada, que permita ampliar el conocimiento acerca de las propiedades inherentes de estos materiales arcillosos y su aplicación en los diversos sectores industriales.

## REFERENCIAS

- Afanador García, N., Ibarra J., Carolina A., & López Durán, C.A. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon*: No. 20, Article 6. Disponible en:  
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1178&context=ep>
- Alviset, L., & Arle, G. (1967). Modificación de las propiedades de las arcillas por medio de aditivos. *Materiales de construcción*, (126), 55-66. Obtenido de:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2977770>
- Avendaño Pizarro K. (2021). CFTPUCV. *Qué es el análisis granulométrico*. Obtenido de:  
<https://cftpucv.cl/que-es-el-analisis-granulometrico/#:~:text=La%20granulometr%C3%ADa%20permite%20conocer%20la,part%C3%ADculas%20presentes%20en%20una%20muestra.>
- Buitrago, J. V., Rubio, M. B., Mojica, J. G., & Corredor, A. G. (2015). Nuevos mercados y nuevos productos para los arcilleros de Norte de Santander. *Revista Convicciones*, 2(3), 32-37. Obtenido de:  
<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/convicciones/article/view/211>
- Cardona Benavides G, s.f. *Arcillas*. Obtenido de: <https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2017/03/ARCILLAS.pdf>
- Cely-Illera, L., & Bolívar-León, R. (2015). Materia prima para la industria cerámica de Norte de Santander. II. Evaluación del comportamiento térmico y su incidencia en las propiedades tecnológicas. *Respuestas*, 20(1), 84–94. <https://doi.org/10.22463/0122820X.260>:



- Díaz Rodríguez, L., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41(5), 459-470. Obtenido de:  
<http://boletines.secv.es/upload/20090429105008.200241459.pdf>
- Domínguez, J. M., & Schifter, I. (1992). Las arcillas: el barro noble (pp. 30-35). México: Fondo de Cultura Económica. Obtenido de:  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec\\_6.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.html)
- Estrada D.A, Espinosa J, (s.f). El secado de los productos cerámicos. Instituto de cerámica y vidrio. Obtenido de: <http://boletines.secv.es/upload/198221327.pdf>
- Flórez-Vargas, A.O.; Sánchez-Molina, J.; Blanco-Meneses, D.S. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. *Revista EIA*, 15(30), julio-diciembre, pp. 133-150. [Online].  
Disponible en: <https://doi.org/10.24050/reia.v15i30.1219>.
- García León, R y Bolívar León, R. (2017). Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander. Corporación Universidad de la Costa. Obtenido de: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/2481>
- García X. C, (2019). Tierras, pastas y vasos: algunas cuestiones en torno a la investigación sobre la gestión de las materias primas para hacer cerámica. *Treballs d'arqueologia*, 23, 0013-35. Obtenido de: <https://ddd.uab.cat/record/216099>
- Guzmán, Juan José, & Sandoval, Ma. Carmen, & Gallaga, Yolanda, & Ramos, Esthela (2002). Caracterización de arcillas del Estado de Guanajuato y su potencial aplicación en

- cerámica. *Acta Universitaria*, 12(1),23-30. ISSN: 0188-6266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41612102>
- Hevia, R. (2012). Materias primas: Importancia de su conocimiento para la formulación cerámica. *Cerámica y cristal*, 145, 48-52. Obtenido de: <https://www.ceramicaycristal.com/cc145pdf/materias145.pdf>
- Hurtado Robles, M. F., & Yáñez Sánchez, A. (2021). Diagnóstico del nivel de innovación del sector arcilla de Cúcuta de Norte de Santander. Obtenido de: <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/4135>
- Isel Cáceres, V., Chaparro-García, A. L., & Sánchez-Molina, J. (2017). Evaluación de arcillas caoliniticas-illiticas provenientes de la formación guayabo del Área Metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. *Revista ION*, 30(1), 117–127. <https://doi.org/10.18273/revion.v30n1-2017009>
- Landinez D, Calvo M, & Cárdenas C. (2018). Caracterización de material arcilloso obtenido del río Guaviare, vereda de La Paz, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (44), 31-37. Obtenido de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-36302018000200031&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302018000200031&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- León, R. A. G., Solano, E. F., & Peñaloza, C. A. (2018). Caracterización térmica de mezclas de arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 1(31), 22-30 Obtenido de: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcta/article/view/126/113>

López Parra E., Gonzalez Navarro N., Osobampo S., Cano A., Gálvez R. (s.f). Artículo.

Elementos indispensables para la evaluación de proyectos de inversión. Estudios técnicos. Obtenido de:

<https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/documents/no56/estudiotecnico.pdf>

Mora Basto, R.L. (2015). Caracterización de arcillas provenientes de la mina Murano del

municipio el Zulia, Norte de Santander, Colombia. Trabajo de grado Universidad de Pamplona. Obtenido de:

<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/2346>

Ochoa, A. (2016). Geología de la plancha 87 – Sardinata departamento de Norte de Santander,

Bogotá, Servicio Geológico Colombiano SGC, 196 p. Obtenido de:

<https://recordcenter.sgc.gov.co/B19/23008010028508/Documento/pdf/2105285081101000.pdf>

Pablo, L. (1964). Las arcillas. i. clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales.

*Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 27(2), 49–91. Obtenido de:

<http://www.jstor.org/stable/44173956>

Peñaranda, J. E., & Pérez, N. La innovación en el sector arcillero periodo 2018-2021. Obtenido

de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42521>

Ruíz G, (s.f). Técnicas en cocción en cerámica. Obtenido de:

[https://ruizgilceramica.com/tecnicas-de-](https://ruizgilceramica.com/tecnicas-de-cocion/#:~:text=La%20cocci%C3%B3n%20de%20los%20productos,a%20las%20altas%20temperaturas%2C%20etcw)

[cocion/#:~:text=La%20cocci%C3%B3n%20de%20los%20productos,a%20las%20altas%20temperaturas%2C%20etcw](https://ruizgilceramica.com/tecnicas-de-cocion/#:~:text=La%20cocci%C3%B3n%20de%20los%20productos,a%20las%20altas%20temperaturas%2C%20etcw)

Santos Amado J. D., Malagón Villafrades P. D., Córdoba Tuta E.M. (2009). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. Obtenido de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n167/a06v78n167.pdf>

Zalba, P. E. (1978). *Estudio geológico mineralógico de los yacimientos de arcillas de la zona de Barker, partido de Juárez, provincia de Buenos Aires y su importancia económica* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). Obtenido de:

<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/6131>

Zuluaga Castrillón, D., Henaó Arrieta, A. P., García Palacio, D. F., Rodríguez, J. E., Hoyos Machado, Ángela M., López, M. E., & Gómez Álvarez, C. (2016). Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción. *Revista Colombiana De Materiales*, (9), 53–63. Recuperado a partir de

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/326494>

González, J. L., García, F. H., & Martínez, J. C. (1983). La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 8, 479-490.

<https://revistaseug.ugr.es/index.php/cpag/article/view/1224/1415>

Cáceres, V. I., Sánchez-Molina, J., & Chaparro-García, A. L. (2017). Evaluación de arcillas caoliniticas-illiticas provenientes de la formación guayabo del Área Metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. *Revista Ion*, 30(1), 117-127.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2017000100117&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2017000100117&script=sci_arttext)

Sánchez-Molina, J., Sarabia-Guarin, A., & Alvarez-Rozo, D. C. (2016). Evaluación de materias primas utilizadas en la fabricación de baldosas de gres en el sector cerámico de Norte de Santander (Colombia). *Respuestas*, 21(2), 48-56. Obtenido de:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/776/767>

Afanador García, N., Guerrero Gómez, G., & Monroy Sepúlveda, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 22(1), 43-58. Obtenido de:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702012000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702012000100003&script=sci_arttext)

García León, R y Bolívar León, R. (2017). Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander. Corporación Universidad de la Costa. Obtenido de: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/2481>

Afanador García, N., Ibarra Jaime, A. C., & López Durán, C. A. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Epsilon*, 1(20), 101-119. Obtenido de:

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1178&context=ep>

Ingeoexpert. (2022). ¿Qué es la minería y cuáles son sus aplicaciones?. Ingeoexpert. Obtenido de: <https://ingeoexpert.com/2022/07/12/que-es-la-mineralogia-y-sus-aplicaciones/>

BSDI. (2021). Que son las propiedades de los materiales y cuales son. Obtenido de:

<https://bsdi.es/que-son-las-propiedades-de-los-materiales-y-cuales-son/>

- García-León, R. A., Solano, E. F., & Castilla, M. R. (2018). Diseño de mezclas para la fabricación de productos de mampostería en la industria cerámica. *Revista Politécnica*, 14(26), 19-28.
- Cerdán, M. (2023). La ciencia de la cosmética natural Mentactiva. Arcillas en cosmética natural: origen, tipos, usos y aplicaciones. Obtenido de: <https://www.mentactiva.com/arcillas-en-cosmetica-natural/>
- QuimiNet. (2012). El uso de la arcilla en aplicaciones industriales. Obtenido de: <https://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-la-arcilla-en-aplicaciones-industriales-2703873.htm>
- Martínez Stagnaro, S. Y. (2017). Evaluación sobre el uso de arcillas para la adsorción de colorantes utilizados en la industria textil (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). Obtenido de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/59441>
- Urquiza, E. A. F., & Rulduà, M. L. M. (2009). Estructura general de las arcillas utilizadas en la preparación de nanocompuestos poliméricos. *Ingenierías*, 12(44), 35. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3015926>
- Geology, (s.f). *Kaolinite*. Obtenido de: <https://geology.com/dictionary/glossary-k.shtml>
- Geology, (s.f). *Muscovite*. Obtenido de: <https://geology.com/minerals/muscovite.shtml>
- Ayuso Borrego J, A. (2017). La Moscovita, un mineral apasionante. *Estudios geotécnicos en Madrid Segovia*. Obtenido de: <http://www.informegeotecnico.es/2017/04/la-moscovita-un-mineral-apasionante.html>

Saint-Gobain, (s.f). *Arcilla: El espíritu de los automóviles modernos*. Obtenido de:

<https://www.saint-gobain.com.mx/arcilla-el-espiritu-de-los-automoviles-modernos>

Ibáñez, J, (2006). *Las arcillas en los suelos: Reteniendo Agua y Nutrientes*. Madrid Blogs.

Obtenido de: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/31/17159>

Sierra, M & Salazar, G, (1999). *Principales tipos de lodos empleados en la perforación de pozos de gas, aceite o agua*. Artículo científico. Obtenido de:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/95258>

Idarraga-Giraldo, S., Figueroa-Calle, S., Vargas-Bermúdez, F. A., Mesa-Toro, C. M., & Gil-

Durán, S. (2020). Utilización de chamota posconsumo en la formulación de una pasta refractaria como sustitución de la alúmina. *Revista Ion*, 33(1), 39-45. Obtenido de:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2020000100039&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2020000100039&script=sci_arttext)

Academia Lab. (s.f.). Obtenido de Academia Lab: <https://academia->

[lab.com/enciclopedia/caolinita/](https://academia-lab.com/enciclopedia/caolinita/)

EcuRed. (s.f.). Obtenido de EcuRed.

EcuRed. (s.f.). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Montmorillonita>

Geotechnical consulting . (s.f.). Obtenido de

<https://www.mecanicasuelosabcchile.com/diccionario/>

Google Maps. (s.f.). Obtenido de <https://www.google.com/maps>

La ciencia para todos. (s.f.). Obtenido de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/>

Wikipedia. (2011). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Norte\\_de\\_Santander](https://es.wikipedia.org/wiki/Norte_de_Santander)

Wikipedia. (2012). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Zulia](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Zulia)

Wikipedia. (2012). Obtenido de Wikipedia.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a\\_%28Colombia%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_%28Colombia%29)



## BIBLIOGRAFÍA

(Inacap, s.f). El hormigón y sus materiales componentes. Obtenido de:

<http://www.inacap.cl/web/material-apoyo/cedem/alumno/Construccion/G03Granulometria.pdf>

Arquitecturas y construcción, s.a (2019). El ITC estudia la aplicación industrial de tecnologías innovadoras en procesos de molienda cerámica con Grind Sizer. Obtenido de:

<https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/253637-ITC-estudia-aplicacion-industrial-tecnologias-innovadoras-procesos-molienda-ceramica.html>

Blog Fao (s.a, s.f). Consistencia del suelo. Obtenido de:

[https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=El%20C3%ADndice%20de%20plasticidad%20se,e1%20suelo%20se%20mantiene%20pl%20C3%A1stico%20](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=El%20C3%ADndice%20de%20plasticidad%20se,e1%20suelo%20se%20mantiene%20pl%20C3%A1stico%20)

Blog Fao (s.a, s.f). Permeabilidad del suelo. Obtenido de:

[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)

Cáceres E. (2014). Prezi. Pérdidas por calcinación. Obtenido de:

<https://prezi.com/1t6cxm15v5om/perdidas-por-calcinacion/>

CeraWiki. (s.f). Conformado. Obtenido de:

<https://ceramica.fandom.com/wiki/Conformado#:~:text=Consiste%20en%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de,que%20se%20aplica%20la%20presi%C3%B3n>

Concepto definición (2021). Obtenido de: <https://conceptodefinicion.de/composicion/>.

Construmática (2009). Determinación de la absorción de agua en baldosas cerámicas. Obtenido de: [https://www.construmatica.com/construpedia/AP-\\_004.\\_Determinaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_Absorci%C3%B3n\\_de\\_Agua\\_en\\_Baldosas\\_Cer%C3%A1micas](https://www.construmatica.com/construpedia/AP-_004._Determinaci%C3%B3n_de_la_Absorci%C3%B3n_de_Agua_en_Baldosas_Cer%C3%A1micas)

Cúcutanuestra.com (s.f). El Zulia Norte de Santander. Obtenido de:

<https://www.cucutanuestra.com/temas/geografia/municipios/region-centro/el-zulia/el-zulia.htm>

Escuela politécnica nacional. (s.f). Análisis de materiales cerámicos. Obtenido de:

<https://www.epn.edu.ec/analisis-de-materiales-ceramicos/#:~:text=An%C3%A1lisis%20f%C3%ADsicos%20en%20cer%C3%A1micas,de%20secado%20y%20a%20la%20quema.>

Etecé. (2021). Viscosidad. Obtenido de: <https://concepto.de/viscosidad/>

Etecé. (2022). Temperatura. Obtenido de: <https://concepto.de/temperatura/>

Gobernación de Norte de Santander. (s.f). Información general Norte de Santander. Obtenido de:

<https://www.nortedesantander.gov.co/Gobernaci%C3%B3n/Nuestro-Departamento/Informaci%C3%B3n-General-Norte-de-Santander>

H2O TEK. (2016). Proceso de secado de piezas cerámicas. Obtenido de:

<https://deshumidificador.mx/tips-y-noticias/proceso-de-secado-de-piezas-ceramicas/>

Icontec (1992) NTC 4113 - 2. Gestión ambiental. calidad de suelo. muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo. Obtenido de: <https://tienda.icontec.org/gp-gestion-ambiental-calidad-de-suelo-muestreo-guia-sobre-tecnicas-de-muestreo-ntc4113-2-1997.html>

Icontec (1987). NTC 2401. Arcillas grasas para la industria cerámica. Obtenido de: <https://tienda.icontec.org/gp-arcillas-grasas-para-la-industria-de-la-ceramica-ntc2401-1987.html>

Icontec. (1999). NTC 4630. Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos. Obtenido de: <https://tienda.icontec.org/sectores/medio-ambiente-proteccion-de-la-salud-seguridad/proteccion-del-medio-ambiente/polucion-control-a-la-polucion-y-conservacion/gp-metodo-de-ensayo-para-la-determinacion-del-limite-liquido-del-limite-plastico-y-del-indice-de-plasticidad-de-los-suelos>

Icontec. (1979). NTC 1522. Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado. Obtenido de: <https://tienda.icontec.org/gp-suelos-ensayo-para-determinar-la-granulometria-por-tamizado-ntc1522-1979.html>

Icontec. (2013). NTC 1495. Suelos. método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa. Obtenido de: <https://tienda.icontec.org/gp-suelos-metodo-de-ensayo-para-determinar-en-el-laboratorio-el-contenido-de-agua-humedad-de-suelos-y-rocas-con-base-en-la-masa-ntc1495-2013.html>Icontec.

Icontec (2018). NTC 6299. Calidad del suelo. determinación de la textura por bouyoucos.

Obtenido de: <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-determinacion-de-la-textura-por-bouyoucos-ntc6299-2018.html>

ASTM (2018). C326-09. Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic

Whiteware Clays. Obtenido de: <https://www.astm.org/c0326-09r18.html>

INV E. (2013). 122. Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de

muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -agregado Obtenido de: <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-122-13.pdf>

INV E. (2012). 123. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Obtenido de:

<https://es.scribd.com/document/363328885/INV-E-123-13-pdf>

INV E. (2013). 125. Determinación del límite líquido de los suelos. Obtenido de:

<https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-125-13.pdf>

INV E. (2013). 126. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

<https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-126-13.pdf>

Institut de promoció cerámica. (s.a, s.f). Blog. Resistencia a la flexión. Obtenido de:

[http://www.ipc.org.es/guia\\_colocacion/info\\_tec\\_colocacion/los\\_materiales/baldosas/caract\\_fis\\_qui/resistencia\\_flexion.html#:~:text=Dada%20la%20esbeltez%20de%20la,y%20est%20C3%A1ticas%20rodaduras%20e%20impactos.](http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/los_materiales/baldosas/caract_fis_qui/resistencia_flexion.html#:~:text=Dada%20la%20esbeltez%20de%20la,y%20est%20C3%A1ticas%20rodaduras%20e%20impactos.)

Keyence (s.a, s.f). Conceptos básicos de los sistemas de medición. Obtenido de:

<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/measurement-selection/basic/about.jsp>

La luna. (2021). Molienda. Obtenido de: <https://www.lalunamezcal.com/blog/molienda/>

Materano, E. (2022). Definición de Preparación. Obtenido de:

<https://conceptodefinicion.de/preparacion/>

Netzsch (s.f). Blog. Prueba de refractarios. Obtenido de: [https://analyzing-](https://analyzing-testing.netzsch.com/es/productos/prueba-de-refractarios/hmor-422-d-3)

[testing.netzsch.com/es/productos/prueba-de-refractarios/hmor-422-d-3](https://analyzing-testing.netzsch.com/es/productos/prueba-de-refractarios/hmor-422-d-3)

Nuestra región (s.f). Así es nuestra ciudad: Ocaña. Obtenido de:

<https://sites.google.com/site/ieducativaagustinaferro/nuestraregion>

Pérez Porto J. (2021). Definicion.de: Definición de granulometría. Obtenido de:

<https://definicion.de/granulometria/>

Pérez Porto J., Gardey A. (2013). Actualizado: 2015. Definiciones. Obtenido de:

<https://definicion.de/pesado/>

Pérez Porto J., Gardey A. (2015). Actualizado: 2017. Definiciones. Obtenido de:

<https://definicion.de/agitacion/>

Propiedades. (s.f). Propiedades y ensayos. Obtenido de:

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/11/html/props.html#:~:text=La%20plasti>

idad%20es%20una%20propiedad,ha%20comportado%20de%20forma%20pl%C3%A1stica.

RAE. Real academia española. (2001). Caracterizar. Obtenido de:

<https://www.rae.es/drae2001/caracterizar>

Significados. (s.a, s.f) Medición. Obtenido de: <https://www.significados.com/medicion/>

Significados. (s.a, s.f) Temperatura. Obtenido de: <https://www.significados.com/temperatura/>

Significados. (s.f). Comparación. Obtenido de: <https://www.significados.com/comparacion/>

Universidad politécnica de Zacatecas. (s.f.) Extrusión. Obtenido de:

<https://sites.google.com/site/procesosdefabricacion33/extrusion>

Universidad politécnica de Zacatecas. (s.f.) Prensado. Obtenido de:

<https://sites.google.com/site/procesosdefabricacion33/prensado>

Mineríaenlinea (2023). *Caolinita*. Obtenido de:

[https://mineriaenlinea.com/rocas\\_y\\_minerales/caolinita/](https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/caolinita/)

Venegas, P. N. O., & Cruz, L. E. H. (2014). *El Caolín y sus aplicaciones industriales*. PADI

Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing. del ICBI [en línea], 1(2). Obtenido de:

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e1.html#:~:text=La%20caolinita%20es%20la%20arcilla,cer%C3%A1micos%20y%20a%20los%20productos%20finales.>

Argile du Velay. (s.f). *Illita, caolín o montmorillonita, ¿Cuál arcilla debería elegir?* Obtenido

de: <https://argileduvelay.com/es/illita-caolin-y-montmorillonita-que-arcilla-elegir/>

## ANEXOS

Se presentan los siguientes anexos que aportan solidez a la investigación, al suministrar detalles importantes de los análisis y estudios realizados en el desarrollo del proyecto.

### Anexo A. Identificación de las muestras de suelo

**Tabla A1**

*Identificación de las muestras Ocaña, Norte de Santander*

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL SUELOS			
IDENTIFICACIÓN MUESTRA DE SUELO			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	OC1	FECHA DE MUESTREO:	6 de abril del 2023
FINCA/PREDIO	Camino Agua de la Virgen		
VEREDA	Agua de la Virgen	MUNICIPIO:	Ocaña
DEPARTAMENTO/CIUDAD	Norte de Santander		
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:	50cm		
ASIGNATURA:	Proyecto de grado	GRUPO:	Cerámicos
PROPIETARIOS DE LA MUESTRA:	César Orlando Vargas Mantilla, Gabriela Jácome Angarita		
OBSERVACIONES:	Muestra pasante malla 400um		

**Tabla A2**

*Identificación de las muestras del Zulia, Norte de Santander*

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL SUELOS			
IDENTIFICACIÓN MUESTRA DE SUELO			
NOMBRE DE LA MUESTRA:	Z1	FECHA DE MUESTREO:	10 de abril del 2023
FINCA/PREDIO	Mina la Alejandra		
VEREDA	-	MUNICIPIO:	Zulia
DEPARTAMENTO/CIUDAD	Norte de Santander		
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:	50cm		
ASIGNATURA:	Proyecto de grado	GRUPO:	Cerámicos
PROPIETARIOS DE LA MUESTRA:	César Orlando Vargas Mantilla, Gabriela Jácome Angarita		
OBSERVACIONES:	Muestra pasante malla 400um		


## Anexo B. Análisis mineralógicos realizados por el laboratorio de rayos X de la Universidad Industrial de Santander.


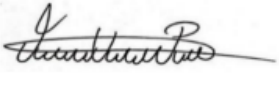
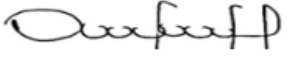
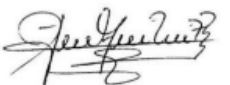
### Informe B1

#### Análisis de difracción de rayos X (DRX)

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER LABORATORIO DE RAYOS X				Código: F-T-21
FORMATO INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DRX CON FÓRMULA QUÍMICA				Versión: 03
				Elaborado: 2023
				Folio No.: _____
<b>Fecha (aaaa-mm-dd)</b>	2023-08-25	<b>INFORME N°</b>	INF-23255-DRX	
DATOS DEL CLIENTE				
<b>Empresa</b>	PERSONA NATURAL			
<b>Nombre</b>	Cesar Orlando Vargas Mantilla			
<b>Dirección</b>	Calle 11 N # 16 E -35 Condominio Alcalá A int D6	<b>NIT o C.C</b>	13507616	
<b>Ciudad</b>	Cucuta-Norte de Santander	<b>Orden de Compra</b>		
<b>e-mail</b>	cesarorlandovm@ufps.edu.co	<b>Teléfono</b>	3003643428	
TIPO DE ENSAYO				
<b>Ensayo</b>	DRX-12	Cuantificación de fases cristalinas por Difracción de Rayos X (BULK, separación por decantación: normal, etilenglicol para comprobar la presencia de material expandible, calcinada a 550 °C)		
<b>Observaciones</b>	Registro y análisis de dos (2) muestras.			
METODOLOGÍA DE TRABAJO				
<b>Condiciones de Registro</b>	El registro de datos se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones:			
	Voltaje (kV)	40		
	Corriente (mA)	40		
	Rendija de Divergencia (mm)	0,6		
	Rendijas Soller Primario (°)	2,5		
	Rendijas Soller Secundario (°)	2,5		
	Tamaño de Paso (° 2Theta)	0,02035		
	Tiempo por paso (s)	0,6		
	Rango de registro (° 2 Theta)	2,0 a 70,0		
	Radiación	CuKα1		
	Filtro	Níquel		
	Uso de Anti-dispersor de Aire	Si		
	Detector	Lineal LynxEye		
Tipo de barrido	A pasos			
Observaciones	Ninguna			
TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS				
<b>Fecha de Recepción de las Muestras</b> (aaaa-mm-dd)	2023-08-09	<b>Fecha de Registro</b> (aaaa-mm-dd)	2023-08-10 2023-08-11	
<b>Tipo de Muestras</b>	Inorgánicas	<b>Fecha de finalización de análisis</b> (aaaa-mm-dd)	2023-08-15	





	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER LABORATORIO DE RAYOS X		Código: F-T-21		
	FORMATO INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DRX CON FÓRMULA QUÍMICA		Versión: 03		
			Elaborado: 2023		
			Folio No.: _____		
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran las fases cristalinas identificadas y cuantificadas en las muestras 23-0935 y 23-0936. Los porcentajes reportados corresponden a la relación entre las fases policristalinas identificadas sin considerar el porcentaje de material amorfo.					
Código interno de laboratorio	Referencia cliente	Descripción o Clasificación Preliminar de la muestra			
23-0935	OC1	Muestra pasante malla 400 um La muestra fue extraída de una montaña no muy transitada, ubicada en agua de la virgen, ocaña norte de santander			
23-0936	Z1	Muestra pasante malla 400 um La muestra fue extraída de la mina Alejandra, Ubicada en el municipio de Zulia, Norte de Santander.			
<b>Muestra N°</b> <span style="float: right;"><b>23-0935</b></span>					
<b>Tabla 1.</b> Fases cristalinas identificadas en la muestra con código interno			23-0935		
		PDF No	NOMBRE	FORMULA QUÍMICA	CUANTITATIVO
	<b>Cristalino</b>	<b>BULK</b>			
		PDF 01-070-3755	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	24,76%
		PDF 01-077-5040	Crisotilo	Mg <sub>3</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> )	5,25%
		PDF 01-076-0927	Albita cálcica	(Na <sub>0,84</sub> Ca <sub>0,16</sub> )Al <sub>1,16</sub> Si <sub>2,84</sub> O <sub>8</sub>	4,52%
		PDF 01-089-7282	Magnesio-ferri-homblenda	(Na <sub>0,31</sub> K <sub>0,01</sub> )(Ca <sub>0,83</sub> Na <sub>0,09</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>2</sub> (Mg <sub>3,47</sub> Fe <sub>1,19</sub> Al <sub>0,28</sub> Ti <sub>0,06</sub> )(Si <sub>7,28</sub> Al <sub>0,72</sub> )O <sub>22</sub> F <sub>0,2</sub> (OH) <sub>1,8</sub>	2,60%
		PDF 01-071-1168	Anatasa	TiO <sub>2</sub>	1,79%
		PDF 01-075-6932	Goethita	(Fe <sub>0,83</sub> Al <sub>0,17</sub> )O(OH)	1,26%
		<b>ARCILLAS</b>			
		PDF 01-078-1996	Caolinita-1A	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> )	58,55%
		PDF 01-076-8291	Montmorillonita	Ca <sub>0,5</sub> (Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> (OH))	1,27%
	Arcillas del grupo de las Micas	Fase más probable: Moscovita	-	N.C	
Nota:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el perfil de difracción experimental se observaron reflexiones que no pudieron ser asignadas a una fase conocida.</li> <li>• N.C. La fase no es cuantificable.</li> </ul>				

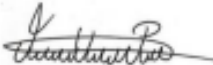
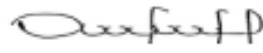

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER LABORATORIO DE RAYOS X			Código: F-T-21	
	<b>FORMATO INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DRX CON FÓRMULA QUÍMICA</b>			Versión: 03 Elaborado: 2023 Folio No.: ____	
<b>Muestra N°</b> 23-0936					
<b>Tabla 2.</b> Fases cristalinas identificadas en la muestra con código interno				23-0936	
		<b>PDF No</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>FORMULA QUÍMICA</b>	<b>CUANTITATIVO</b>
<b>Cristalino</b>	<b>BULK</b>				
		PDF 01-083-2465	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	59,30%
		PDF 01-084-1283	Rutilo	TiO <sub>2</sub>	2,13%
		PDF 01-080-7077	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,09%
		PDF 01-089-4203	Anatasa	TiO <sub>2</sub>	1,24%
	<b>ARCILLAS</b>				
		PDF 01-080-0886	Caolinita-1A	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> )	18,45%
		PDF 01-072-1503	Moscovita	KAl <sub>2</sub> ((AlSi <sub>3</sub> )O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	16,79%
	Arcillas del grupo de las Esmectitas	Fase más probable: Montmorillonita	-	N.C	
<b>Nota:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el perfil de difracción experimental se observaron reflexiones que no pudieron ser asignadas a una fase conocida.</li> <li>• N.C. La fase no es cuantificable.</li> </ul>				
<b>OBSERVACIONES</b>					
Los resultados se relacionan únicamente a los especímenes de las muestras analizadas.					
Si desea expresar su percepción con respecto al presente servicio o ensayo, hágalo por medio del correo electrónico calidadrx@uis.edu.co o al PBX: (57-7) 6344000 extensión: 3512.					
No se debe reproducir el informe de ensayo excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio					
Atentamente:					
<b>Analizó y Elaboró</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>			
					
Juan Sebastian Villarreal Pinzón	Diego Fernando Hernández Pardo	José Antonio Henao Martínez			
Profesional Analista Laboratorio de Rayos X	Supervisor Área de Materiales Laboratorio de Rayos X	Director Laboratorio de Rayos X			
Ingeniero Ambiental 151021-0527580 SDT	MSc. Ingeniería de Materiales SN231-69869	PhD-MSc -Químico PQ-0321			
<b>COPIA CONTROLADA</b>					

## Informe B1

## Análisis de Fluorescencia de rayos X (FRX)

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER LABORATORIO DE RAYOS X		Código: F-T-22
		FORMATO INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FRX		Versión: 03
				Elaborado: 2023
				Folio No.: ____
<b>Fecha (aaaa-mm-dd)</b>	2023-08-25	<b>INFORME N°</b>	INF-23255-FRX	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>				
<b>Empresa</b>	PERSONA NATURAL			
<b>Nombre</b>	Cesar Orlando Vargas Mantilla			
<b>Dirección</b>	Calle 11 N # 16 E -35 Condominio Alcala A int D6	<b>NIT o C.C</b>	13507616	
<b>Ciudad</b>	Cucuta-Norte de santander	<b>Orden de Compra</b>		
<b>e-mail</b>	cesarorlandovm@ufps.edu.co	<b>Teléfono</b>	3003643428	
<b>TIPO DE ENSAYO</b>				
<b>Ensayo</b>	FRX-02	Análisis elemental Cuantitativo por Fluorescencia de Rayos X de longitud de onda dispersiva en el rango de Na-U. Muestras Minerales e inorgánicas.		
<b>Observaciones</b>	• Registro de datos y análisis de dos (2) muestras.			
<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>				
<b>Condiciones de Registro</b>	El registro de datos se realizó en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X marca BRUKER modelo S8 TIGER bajo las siguientes condiciones:			
	Voltaje (kV)	20 kV - 60 kV		
	Corriente (mA)	10 mA - 135 mA		
	Detector (elementos pesados)	Centelleo		
	Detector (elementos livianos)	Flujo		
	Goniómetro	Alta precisión		
	Atmósfera	Helio		
	Mascara	34 mm		
	Radiación	Rh		
	Método de análisis	QUANT EXPRESS		
Elementos analizados	Na al U (según distribución de la tabla periódica)			
Observaciones	Ninguna			
<b>TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS</b>				
<b>Fecha de Recepción de las Muestras</b> (aaaa-mm-dd)	2023-08-09	<b>Fecha de Registro</b> (aaaa-mm-dd)	2023-08-10	
<b>Tipo de Muestras</b>	Inorgánicas	<b>Fecha de finalización de análisis</b> (aaaa-mm-dd)	2023-08-25	

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER LABORATORIO DE RAYOS X		Código: F-T-22	
	FORMATO INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FRX		Versión: 03	
			Elaborado: 2023	
Folio No.: _____				
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>				
De la Tabla 1 a la Tabla 2 se describen los porcentajes elementales y en forma de óxidos de los espécimenes seleccionados de las muestras identificadas con código interno 23-0935 y 23-0936.				
Código interno de laboratorio	Referencia cliente	Descripción o Clasificación Preliminar de la muestra		
23-0935	OC1	Muestra pasante malla 400 um La muestra fue extraída de una montaña no muy transitada, ubicada en agua de la virgen, ocaña norte de santander		
23-0936	Z1	Muestra pasante malla 400 um La muestra fue extraída de la mina Alejandra, Ubicada en el municipio de Zulia, Norte de Santander.		
Muestra N°		23-0935		
Tabla 1. Porcentaje cuantitativo en óxidos y elemental de la muestra identificada con código			23-0935	
	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
	Si	23,43%	SiO <sub>2</sub>	50,12%
	Fe	11,42%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,33%
	Al	9,61%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,15%
	K	1,01%	K <sub>2</sub> O	1,22%
	Ti	0,95%	TiO <sub>2</sub>	1,58%
	Ca	0,56%	CaO	0,78%
	Mg	0,39%	MgO	0,64%
	P	0,24%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,56%
	Na	0,13%	Na <sub>2</sub> O	0,17%
	Zr	0,05%	ZrO <sub>2</sub>	0,06%
	Mn	0,04%	MnO	0,06%
	V	0,02%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04%
	Cl	0,02%	Cl	0,02%
	S	0,02%	SO <sub>2</sub>	0,04%
	Zn	0,01%	ZnO	0,02%
<b>Elementos minoritarios</b>				
	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
	Cu	100 PPM	CuO	0,01%
	Ba	87 PPM	BaO	97 PPM
	Rb	75 PPM	Rb <sub>2</sub> O	82 PPM
	Ni	67 PPM	NiO	86 PPM
	Sr	66 PPM	SrO	78 PPM
	Sc	57 PPM	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	88 PPM
	Ga	41 PPM	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55 PPM
	Nb	21 PPM	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30 PPM
			<b>%LOI</b>	<b>10,15%</b>
Nota:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los compuestos están ordenados según su composición elemental.</li> <li>• Se identifica Pd y Ru pero no son cuantificables.</li> <li>• LOI: Loss On Ignition (La muestra se lleva a calcar en una mufla subiendo la temperatura paulatinamente desde temperatura ambiente hasta 1000 °C durante 5 horas y manteniendo esa temperatura durante 2 horas). Como LOI se utilizó CHO para normalizar los datos.</li> </ul>			

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER LABORATORIO DE RAYOS X		Código: F-T-22	
FORMATO INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FRX		Versión: 03	
		Elaborado: 2023	
		Folio No.: _____	
Muestra N°	23-0936		
Tabla 2. Porcentaje cuantitativo en óxidos y elemental de la muestra identificada con código		23-0936	
ELEMENTO	CONCENTRACIÓN	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
Si	28,93%	SiO <sub>2</sub>	61,89%
Al	9,62%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,18%
Fe	5,24%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,48%
K	1,78%	K <sub>2</sub> O	2,14%
Ti	0,90%	TiO <sub>2</sub>	1,50%
Mg	0,30%	MgO	0,51%
P	0,29%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,67%
Ca	0,24%	CaO	0,34%
Ba	0,07%	BaO	0,08%
Zr	0,07%	ZrO <sub>2</sub>	0,09%
Na	0,05%	Na <sub>2</sub> O	0,07%
S	0,03%	SO <sub>3</sub>	0,08%
Zn	0,03%	ZnO	0,04%
V	0,02%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04%
Mn	0,02%	MnO	0,03%
Sr	0,02%	SrO	0,02%
Rb	0,01%	Rb <sub>2</sub> O	0,02%
Elementos minoritarios			
ELEMENTO	CONCENTRACIÓN	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
Ni	93 PPM	NiO	0,01%
Cu	81 PPM	CuO	0,01%
Nb	32 PPM	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	46 PPM
As	26 PPM	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34 PPM
Ga	25 PPM	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33 PPM
		%LOI	<b>6,80%</b>
Nota:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todos los compuestos están ordenados según su composición elemental.</li> <li>LOI: Loss On Ignition (La muestra se lleva a calcar en una mufla subiendo la temperatura paulatinamente desde temperatura ambiente hasta 1000 °C durante 5 horas y manteniendo esa temperatura durante 2 horas). Como LOI se utilizó CHO para normalizar los datos.</li> </ul>		
OBSERVACIONES			
Los resultados se relacionan únicamente a los especímenes de las muestras analizadas.			
Si desea expresar su percepción con respecto al presente servicio o ensayo, hágalo por medio del correo electrónico calidadrx@uis.edu.co o al PBX: (57-7) 6344000 extensión: 3512.			
No se debe reproducir el informe de ensayo excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio			
Atentamente:			
Analizó y Elaboró	Revisó	Aprobó	
			
Juan Sebastian Villarreal Pinzón Profesional Analista Laboratorio de Rayos X Ingeniero Ambiental 151021-0527580 SDT	Diego Fernando Hernández Pardo Supervisor Área de Materiales Laboratorio de Rayos X MSc. Ingeniería de Materiales SN231-69669	José Antonio Henao Martínez Director Laboratorio de Rayos X PhD-MSc -Químico PG-0321	