

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

**DISEÑO DE PASTA CERÁMICA SOSTENIBLE A PARTIR DE ARCILLAS DE
MEXICALI PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS
CERÁMICOS EN ESPACIOS EDUCATIVOS.**

T E S I S

para obtener el grado de

DOCTORA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

Presenta

ALICIA CONCEPCIÓN GRACIA CABRERA

Director de Tesis
DR. RODRIGO VIVAR OCAMPO

Mexicali Baja California Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

**DISEÑO DE PASTA CERÁMICA SOSTENIBLE A PARTIR DE ARCILLAS DE MEXICALI
PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS CERÁMICOS EN
ESPACIOS EDUCATIVOS.**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO

DE DOCTORADO PRESENTA

ALICIA CONCEPCIÓN GRACIA CABRERA

Correo electrónico UABC: alicia.gracia@uabc.edu.mx

Correo personal: gracia.alicia@uabc.edu.mx

Identificador ORCID: 0000-0001-8691-8661

Director de tesis: Dr. Rodrigo Vivar Ocampo

Identificador ORCID: 0000-0002-5853-0229

Co-Director de tesis: Dr. Jorge Anguiano Lizaola

Identificador ORCID: 1732-3825

Mexicali B.C., Junio 2025

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo declaro, que hasta donde yo sé, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Mexicali, Baja California a Junio 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'AGC' with a stylized flourish on the left and a small mark below the 'C'.

Alicia Concepción Gracia Cabrera

AGRADECIMIENTOS

A los espacios que recibieron las muestras para su análisis: Ceramicolor- Tonalá, Escuela de Conservación y Restauración de Occidente, Facultad de Ciencias de Ingeniería y Tecnología UABC, Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura y Diseño UABC. A la Dra. Teresa Pi Puig por los difractogramas, a la Dra. Emma Garces Velazquez por la recepción en la estancia, a los académicos Dr. Anguiano Lizaola y Dr. Rodrigo Vivar Ocampo por su guía y asesoría en este proceso.

DEDICATORIA

A mis hijas Merilu y Romina que me inspiraron durante el proceso y compartieron su tiempo para permitirme cumplir mi desarrollo profesional, a su padre Eduardo, que supo brindar soporte en los momentos difíciles, y a mi hermana Daniela, que siempre me acompaña en cada reto de la vida.

RESUMEN

DISEÑO DE PASTA CERÁMICA SOSTENIBLE A PARTIR DE ARCILLAS DE MEXICALI PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS CERÁMICOS EN ESPACIOS EDUCATIVOS.

Esta investigación identificó los usos y costumbres en espacios educativos dedicados a la cerámica en Baja California, con la finalidad de formular una pasta cerámica que integre arcillas regionales como alternativa productiva. El objetivo principal fue mejorar la accesibilidad a materias primas locales y reducir los costos de adquisición. Se realizaron entrevistas a ceramistas para definir las características requeridas de la pasta, destacando la necesidad de una pasta de alta plasticidad, apta para modelado manual y cocción a cono 04, con un costo inferior al de las pastas comerciales existentes.

Se extrajeron muestras de arcillas del Valle de Mexicali para su caracterización fisicoquímica y la determinación de aditivos necesarios para mejorar sus propiedades. Las arcillas naturales fueron sometidas a ensayos organolépticos de plasticidad mediante la formación de cordones con formas específicas, así como a pruebas de contracción en probetas cocidas a cono 04 para evaluar su resistencia térmica y porcentaje de contracción. Los resultados indicaron la necesidad de aditivos para optimizar la plasticidad, la contracción se encontró entre 8% y 14%, lo que confirma su potencial para el desarrollo cerámico.

La formulación de pastas se realizó mediante un diagrama triaxial, combinando porcentajes de ball-clay, caolín y arcillas regionales. Se elaboraron probetas para evaluar plasticidad, contracción y deformabilidad, seleccionando la fórmula con mejor comportamiento físico y mayor proporción de arcilla local. Las arcillas con mejores propiedades fueron caracterizadas mediante difracción de Rayos X, límites de Atterberg y análisis químico por fluorescencia de Rayos X, identificándose como arcillas de alta plasticidad, con presencia predominante de cuarzo (SiO_2), feldespato potásico y ortopiroxeno tipo enstatita (MgSiO_3).

Finalmente, se determinó la factibilidad de la arcilla del Valle de Mexicali para la producción de cerámica de baja temperatura, con una contracción de 9.5% y un costo reducido, dado que el 70%

de la pasta está compuesta por arcilla regional, en contraste con los productos comerciales que solo contienen un 30% de material externo.

ABSTRACT

DESIGN OF SUSTAINABLE CERAMIC PASTE FROM MEXICALI CLAY FOR IMPLEMENTATION IN THE DEVELOPMENT OF CERAMIC PRODUCTS IN EDUCATIONAL SETTINGS.

This research identified the uses and customs in educational spaces dedicated to ceramics in Baja California, aiming to formulate a ceramic paste that incorporates regional clays as a production alternative. The main objective was to improve accessibility to local raw materials and reduce acquisition costs. Interviews with ceramists were conducted to define the required characteristics of the paste, highlighting the need for a highly plastic paste suitable for hand modeling and firing at cone 04, with a cost lower than existing commercial pastes.

Clay samples were extracted from the Mexicali Valley for physicochemical characterization and determination of necessary additives to enhance their properties. The natural clays underwent organoleptic plasticity tests by forming cords with specific shapes, as well as shrinkage tests on specimens fired at cone 04 to evaluate thermal resistance. Results indicated the need for additives to optimize plasticity, and a shrinkage range of 8% to 14%, confirming their potential for ceramic product development.

Paste formulations were developed using a triaxial diagram, combining percentages of ball-clay, kaolin, and regional clays. Specimens were prepared to assess plasticity, shrinkage, and deformability, selecting the formula with the best physical performance and highest proportion of local clay. The clays with the best properties were characterized by X-ray diffraction, Atterberg limits, and X-ray fluorescence chemical analysis, identifying them as highly plastic clays with predominant quartz (SiO_2), potassium feldspar, and enstatite-type orthopyroxene (MgSiO_3).

Finally, the feasibility of using Mexicali Valley clay for low-temperature ceramic production was determined, achieving a shrinkage of 9.5% and reduced cost, since 70% of the paste composition consists of regional clay, compared to commercial products that only contain 30% external material.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Problemática	15
1.2. Justificación	16
1.3. Pregunta general de investigación	19
1.4. Objetivo general de investigación	19
1.5. Hipótesis	20
2. MARCO CONTEXTUAL	21
2.1. La enseñanza de la cerámica en Baja California	21
3. MARCO CONCEPTUAL	28
3.1. Cerámica	28
3.1.1. Procesos de conformación	30
3.2. Pastas Cerámicas	31
3.2.1. Definición de pastas cerámicas	32
3.2.2. Propiedades Físicas	33
3.2.2.1. Plasticidad.	33
3.2.2.2. Contracción.	34
3.2.3. Composición	35
3.2.3.1. Materiales plásticos y antiplásticos .	36
3.2.3.1.1. Arcilla.	38
3.2.3.1.2. Arcillas de bola.	41
3.2.3.2. Materiales refractarios y fundentes.	42
3.2.3.2.1. Caolín .	43
3.2.4. Aditivos colorantes	44
3.2.5. Clasificación de pastas	44
4. FORMULACIÓN DE PASTAS CERÁMICAS: PRINCIPIOS Y METODOLOGÍAS	50
4.1. Métodos para la evaluación de pastas cerámicas	61
4.2. Técnicas para la caracterización de arcillas	63
4.2.1. Difracción de Rayos X	63
4.2.3. Granulometría	64
4.2.4. Límites de Atterberg	65
4.2.5. Contracción lineal	65
4.2.6. Análisis térmico diferencial	68
4.3. Técnicas organolépticas	68
4.3.1. Plasticidad	68
4.3.2. Contracción	73
4.3.3. Deformabilidad	74
5. METODOLOGÍA	76
5.1. Objeto de estudio - selección de muestras	77
5.2. Variables	78
5.3. Diseño del experimento	78

5.4. Evaluación comportamiento físico cerámico de arcillas por métodos organolépticos	80
5.4.1. Plasticidad	80
5.4.1.1. Cordón en forma de cola de cochi	81
5.4.1.2. Cordón en forma de moño	81
5.4.1.3. Cordón en forma de aro	81
5.4.2. Contracción lineal	82
5.4.3. Deformabilidad	82
5.4.3.1.1. Deformabilidad por secado	82
5.4.3.1.2. Deformabilidad por cocción	83
5.5. Caracterización de arcillas por técnicas normadas.	83
5.5.1. Caracterización mineralógica por difracción de rayos x	84
5.5.2. Caracterización química	85
5.5.2.1. Fluorescencia de Rayos X	85
5.5.3. Caracterización físico-cerámica	86
5.5.3.1. Granulometría por tamizado	86
5.5.3.2. Plasticidad Límites de Atterberg	86
5.6. Formulación de pastas cerámicas	86
5.6.1. Formulación con productos de ceramicolor	87
5.6.2. Cocción para evaluación de las muestras	87
5.6.3. Propuestas de formulación	88
5.6.4. Evaluación de las propiedades físicas de las pastas	90
5.6.4.1. Plasticidad	90
5.6.4.2. Contracción	92
5.6.4.3. Deformabilidad	92
6. Resultados y conclusiones	92
6.1. Caracterización mineralógica	92
6.1.1. Tablas de resultados de difracción de Rayos x	92
6.1.1.1. Caracterización química	94
6.1.1.1.1. Fluorescencia de Rayos X.	94
6.2. Caracterización físico-cerámico	95
6.2.1. Granulometría por tamizado	95
6.2.2. Plasticidad Límites de Atterberg	97
6.3. Caracterización físico químico	100
6.4. Plasticidad	100
Nota: Peso de las muestras antes de su preparación 100gr	100
6.5. Contracción lineal	101
6.6. Deformabilidad	102
6.7. Análisis de resultados	104
6.8. Análisis costo beneficio	109
6.9. Conclusiones	111
6.10. Recomendaciones	111
Anexos	113
Referencias	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización de los principales estados productores de azulejos cerámicos en México. Coeficiente de especialización de la producción bruta. 2009.

Figura 2 Precio de la pasta cerámica que utilizan

Figura 3 Técnicas de conformación que enseñan

Figura 4 Materiales para la formulación de pastas cerámicas

Figura 5 Procesamiento de los materiales cerámicos tradicionales

Figura 6 Materiales para la formulación de pastas cerámicas

Figura 7 Esquema general de clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica

Figura 8 Características de las pastas de alta y baja temperatura

Figura 9 Jarra y olla Pai Pai

Figura 10 Resultados de pasta con papel

Figura 11 Red de investigación sobre a materiales cerámicos y residuos

Figura 12 Obtención de datos para curva de bigot

Figura 13 Curva deformadora de una arcilla

Figura 14 Etapas del comportamiento de extrusión de una masa plástica.

Figura 15 Representación de resultados de plasticidad por aro

Figura 16 Pasta enrollada en forma de cola de cochino

Figura 17 Pasta enrollada en forma de cola de moño

Figura 18 Etapas de la metodología

Figura 19 Zonas de extracción

Figura 20 Caracterización de muestras

Figura 21 Pruebas organolépticas muestras en estado natural

Figura 22 Pruebas organolépticas de pastas cerámicas

Figura 23 Ensayos de laboratorio para la caracterización de las muestras

Figura 24 Métodos utilizados para la formulación de pastas cerámicas

Figura 25 Fórmulas utilizadas en base al diagrama triaxial

Figura 26 Métodos organolépticos utilizados para determinar la plasticidad de las pastas formuladas.

Figura 27 Placas de deformabilidad de ceramicolor

Figura 28 Probetas de deformabilidad y contracción fórmulas FAD

Figura 29 Muestras de arcillas en polvo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo de pasta anual

Tabla 2 Cantidades de sustancia plástica y anti plástica según la técnica de conformación a utilizar.

Tabla 3 Composición de las pastas cerámicas tradicionales

Tabla 4 Clasificación de las pastas tradicionales

Tabla 5 Características de las pastas utilizadas en el laboratorio de cerámica de la FAD

Tabla 6 Residuos implementados en la formulación de pastas cerámicas

Tabla 7 Mezclas de aditivos con arcillas de Mexicali en base a la metodología de ceramicolor

Tabla 8 Tabla de fórmulas arcillas y aditivos industriales generadas en la FAD en base al diagrama triaxial

Tabla 9 Tabla de resultados de difracción de Rayos X de la muestra 1

Tabla 10 Tabla de resultados de difracción de Rayos X de la muestra 3

Tabla 11 Tabla de resultados de difracción de Rayos X de la muestra 4

Tabla 12 Resultados de fluorescencia de Rayos X de las muestras en polvo de M1, M3, M3.1 y M4

Tabla 13 Resultados de granulometría de la muestra 1

Tabla 14 Resultados de granulometría de la muestra 3

Tabla 15 Resultados de granulometría de la muestra 4

Tabla 16 Resultados de límites plásticos de la muestra 1

Tabla 17 Resultados de límites plásticos de la muestra 3

Tabla 18 *Resultados de límites plásticos de la muestra 4*
Tabla 19 *Plasticidad de las muestras en estado natural*
Tabla 20 *Maleabilidad de fórmulas elaboradas en ceramicolor*
Tabla 21 *Maleabilidad de fórmulas elaboradas en la FAD*
Tabla 22 *Contracción de muestras en estado natural*
Tabla 23 *Contracción lineal de fórmulas de ceramicolor muestra 1*

Tabla 24 *Contracción lineal de fórmulas de ceramicolor muestra 3*

Tabla 25 *Contracción lineal de fórmulas de ceramicolor muestra 4*
Tabla 26 *Contracción lineal de mezclas por método triaxial*
Tabla 27 *Deformabilidad de muestras en estado natural*
Tabla 28 *Deformabilidad de las fórmulas realizadas en ceramicolor*
Tabla 29 *Deformabilidad de las fórmulas realizadas por método triaxial*
Tabla 30 *Resultados favorables de las formulaciones generadas en ceramicolor*
Tabla 31 *Resultados favorables de las formulaciones generadas en la FAD*
Tabla 32 *Pastas seleccionadas*
Tabla 33 *Piezas obtenidas*

Ecuación 1 *Porcentaje de contracción lineal en secado*

Ecuación 2 *Contracción lineal en cocido*

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

°C Grado(s) Celsius

UABC Universidad Autónoma del Estado de Baja California

FAD Facultad de Arquitectura y Diseño

FA Facultad de Artes

DRX Difracción de Rayos X

FRX Fluorescencia de Rayos X

DIL Dilatometría

SEP Secretaría de Educación Pública

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática

En Baja California se elaboran productos cerámicos con arcillas de la península desde los años 1000 y 1300 por tribus Yumanas, sin embargo, en la actualidad la tradición alfarera se ha ido perdiendo, existen esfuerzos de conservación de comunidades pequeñas como Santa Catarina, sin embargo, en los centros de enseñanza de la cerámica en Baja California basan su producción en materia prima que proviene de Estados Unidos o de otros estados de la república mexicana.

Desde 1970 se comenzó a desarrollar cerámica con fines educativos en Mexicali y la adquisición de materiales siempre han sido un reto, los maestros han optado por comprar pastas cerámicas y esmaltes de empresas como Laguna clay y Mayco, una práctica recurrente en la actualidad, esto se ha vuelto una práctica insostenible ya que el precio de adquisición, la varianza en el valor del dólar, los gastos de importación y de transporte han encarecido el precio de la materia prima. Para dar solución a este problema es elemental la integración de materias primas regionales que permitan disminuir los costos de producción e importación, tiempos de adquisición, traslados prolongados. La gestión de recursos de origen mineral requiere desarrollar diversas estrategias como

se menciona a continuación Gestionar recursos de origen mineral requiere del desarrollo de diferentes estrategias que abarcan desde el aprovisionamiento de materias primas: selección, transformación y elaboración para el aprovechamiento de sus propiedades físicas o químicas con el objetivo de producir un objeto por medio de procesos específicos de producción. (Clop, 2019, p. 19)

Para lograr la integración de materias primas regionales se requiere de un proceso de experimentación y aunque algunos ceramistas mexicalenses han comenzado ejercicios y pruebas con materiales regionales para la elaboración de pastas, se han encontrado diversos retos como problemas de plasticidad, agrietamientos, poca resistencia al impacto, entre otros. Buscando una solución al problema, los ceramistas han comenzado a adquirir materias primas del interior de la república de proveedores como Ceramic-color de Guadalajara y comercializan estos productos a otros ceramistas . Esta práctica ha sido una solución provisional, sin embargo ,es necesario encontrar prácticas más

sostenibles que eviten el traslado de materias primas y mejore los márgenes de ganancia del ceramista local.

En un trabajo anterior (Gracia, 2021) se evidencia el potencial de las arcillas de Mexicali para el desarrollo de productos del sector cerámico artesanal y artístico, los resultados de dicha investigación arrojaron que ciertos tipos de arcilla de Mexicali pueden implementarse con la integración de aditivos para mejorar sus propiedades plásticas y disminuir su contracción.

A partir de lo anterior, se propone el diseño de una pasta cerámica con arcillas regionales y aditivos comerciales, cuyo objetivo es implementarla en los procesos de aprendizaje de los cursos de cerámica que se imparten en la Facultad de Arquitectura y Diseño (FAD) de la UABC, es decir, desarrollar una alternativa sostenible.

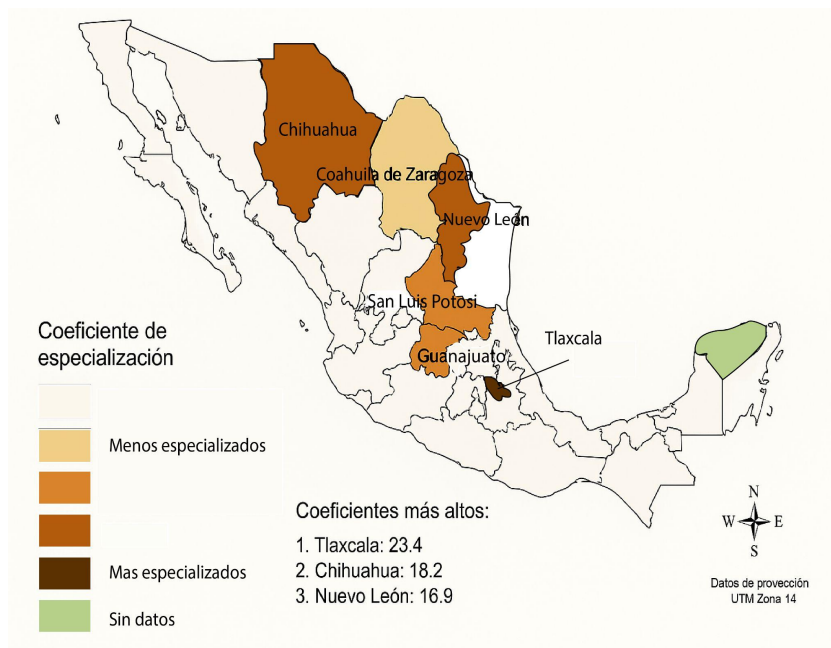
1.2. Justificación

El desarrollo de la cerámica en México depende principalmente de los recursos naturales con los que se cuenta en el territorio así como el capital humano con el que se cuenta, en el año 2022 el intercambio comercial, incluyendo compras y ventas internacionales de productos cerámicos, fue de 2,665M de dólares, en la figura 1 se muestran las entidades federativas con más ventas internacionales en productos cerámicos fueron Nuevo León, Estado de México, San Luis Potosí, Coahuila de Zaragoza y Jalisco. Sumado a lo anterior, las entidades con más compras fueron Nuevo León, Ciudad de México, Estado de México, Chihuahua y Querétaro. Por otro lado, a nivel mundial los principales orígenes comerciales de productos cerámicos fueron China, Estados Unidos, India, España e Italia. (Luzán y López, 2017)

Figura 1

Localización de los principales estados productores de azulejos cerámicos en México.

Coeficiente de especialización de la producción bruta 2009



Nota. Los principales estados con especialización en cerámica se muestran en café, Luzán y López, 2017 con base en INEGI (2009).

En la página de Forbes México en el 2021 se proyectó un incremento del 4% en el sector de la industria de azulejos y pisos cerámicos de México, menciona que este es el noveno país con productos de azulejos. En México los principales estados productores de cerámica según Luzán y López (2017) son Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Guanajuato, México, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tlaxcala y Zacatecas. En México las empresas GPL, Interceramic y Vitromex son las que cuentan con mayor producción de losetas y Cato Cerámica, Ceramosa, Kohler Sanimex, Orion, Sanitarios Porcelanite- Lamosa, Shunca Cerámica, Toto Sanitarios de México destacan por su producción de cerámica sanitaria. En el mapa se puede destacar la ubicación y cercanía entre estados con una fuerte tradición alfarera y cercanía con la frontera hacia Estados Unidos.

Sin duda la distancia y disponibilidad de los insumos para la elaboración de pastas cerámicas, el agua y arcillas son factores determinantes para la localización de la industria de la cerámica Luzán y López (2017) menciona que aunque en México existen bancos de arcillas y barros, así como acceso a depósitos de agua, estos no son aprovechados por sistemas productivos propios en el sector cerámico en México, son más bien las empresas extranjeras las que se ven beneficiadas por los

recursos naturales y la mano de obra local. Es elemental crear estrategias que permitan dotar de capacitación y herramientas a las comunidades de ceramistas, que les permitan el desarrollo de nuevos productos implementando materias primas de su entorno, en especial a aquellas comunidades que forman ceramistas. La generación de nuevos ceramistas con perfiles dirigidos hacia la sostenibilidad desde la perspectiva de accesibilidad y economía circular debe ser un camino accesible para todo aquel que quiera aprender.

La implementación de nuevos materiales y las estrategias anteriormente mencionadas suman al plan de acción a favor del planeta, las personas y la prosperidad, con el propósito de promover la paz universal de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En dicho plan se establecen los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 2015) entre estos objetivos se encuentra el Objetivo 12: producción y consumo responsable, en donde marca la importancia de la integración de residuos, el cual menciona que para lograr el crecimiento y desarrollo sostenible es necesario reducir la huella ecológica cambiando los métodos de producción y consumo de bienes y recursos. Por otra parte también se menciona la importancia promover a las industrias y negocios a gestionar los recursos naturales y desechos de manera eficiente, particularmente mencionan que los países en desarrollo deben ser apoyados para avanzar hacia patrones sostenibles de consumo para el 2030 (ONU, 2015).

La gestión eficiente de los recursos naturales en el desarrollo de productos cerámicos comienza desde el proceso de extracción y traslado de las materias primas, para lograr el cambio en los métodos de producción y el consumo de los recursos es necesario apostar por el desarrollo de investigaciones en el campo de los materiales. Ya que las características de las materias primas definen los métodos de producción, es elemental realizar análisis de arcillas para proporcionar materias primas sostenibles para el desarrollo de productos cerámicos elaborados por estudiantes y que, a su vez al egresar en la práctica, crear conciencia en los futuros profesionistas acercándonos cada vez más a los objetivos planteados en la agenda 2030

Acorde a lo planteado en el objetivo 12.8 esta investigación pretende garantizar que las personas de todo el mundo tengan la información y la conciencia pertinente sobre el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza por medio de materiales, herramientas y

manuales de libre acceso. Entre los indicadores de grado se menciona que la educación para el desarrollo sostenible deben incorporarse a las políticas educativas nacionales; planes de estudio; formación docente; y evaluación de los estudiantes (ONU, 2015) En este sentido es elemental la investigación aplicada que permita hacer cambios sustanciales en la formación de profesionistas.

La gestión eficiente de los recursos naturales está íntimamente ligada a la investigación y al desarrollo tecnológico, por lo tanto, el proyecto propuesto es elemental para el desarrollo sostenible del sector cerámico de Mexicali ya que dotará de pastas alternativas y herramientas tanto metodológicas, como herramientas prácticas; instrumentos e información relevantes para la formulación de pastas cerámicas con enfoque sostenible y abre la pauta para el desarrollo de nuevas investigaciones pues se pretende compartir los procesos y hallazgos a la comunidad académica y ceramista de la región.

Tomando como base la información anterior, se formula el planteamiento de preguntas y objetivos, las cuales se consideran como un elemento crucial en cualquier investigación, ya que permiten orientar de manera precisa todo el proceso y asegura que los resultados obtenidos realmente aborden las cuestiones planteadas desde el inicio. En este contexto, se formulan las siguientes preguntas y objetivos para esta investigación:

1.3. Pregunta general de investigación

¿Cuáles son los aditivos que se pueden integrar en la formulación de una pasta cerámica con arcillas de Mexicali para el desarrollo de productos cerámicos?

Específicas

¿Qué aditivo puede mejorar la plasticidad de la pasta cerámica con arcillas de Mexicali?

¿Qué aditivo permite disminuir la contracción de las arcillas?

¿Cuál es el rango de cocción de las pastas a formular con arcillas?

1.4. Objetivo general de investigación

Proponer una fórmula de pasta cerámica que cumpla con los requerimientos de los ceramistas regionales, a partir de arcillas extraídas del valle de Mexicali y aditivos comerciales, para así favorecer la economía circular.

Específicos

1. Extraer y seleccionar muestras de arcillas a implementar en la formulación de pasta cerámica.
2. Caracterización de arcillas de Mexicali para la selección de muestras a implementar en la formulación de pastas cerámicas.
3. Determinar la plasticidad de las mezclas de arcillas de Mexicali con aditivos comerciales por medio de la extracción de muestras y selección de aditivos.
4. Evaluar porcentaje de contracción de las mezclas de arcilla de Mexicali con aditivos para determinar su factibilidad de uso en el desarrollo de producto cerámico.
5. Evaluar los parámetros de cocción de las mezclas de arcillas de Mexicali con aditivos comerciales para el desarrollo de productos cerámicos.
6. Comparar el comportamiento de las pastas bajo los procesos de conformación básicos utilizados por expertos en el proceso de enseñanza de los principales centros educativos en Mexicali.

1.5. Hipótesis

Tomando como base la información planteada, se presume como hipótesis que al integrar arcillas del Valle de Mexicali en la formulación de pastas cerámicas permitirá el desarrollo sostenible de las comunidades de ceramistas proporcionando un material alternativo que aumente la sostenibilidad del procesamiento, y facilite la accesibilidad de materiales reduciendo el costo de producción.

2. MARCO CONTEXTUAL

El campo de la cerámica abarca distintas disciplinas y distintos modos de ejercicio profesional, entre ellos se encuentra la cerámica industrial, producción artística, artesanal, diseño de productos de consumo masivo, piezas personalizadas y únicas. En cada una hay distintos niveles de complejidad técnica, manejo de tecnologías de fabricación, habilidades manuales o técnicas. La formación de ceramistas es compleja, coexisten escuelas e institutos graduados de nivel terciario, carreras de artes plásticas y diseño en donde se imparten cursos en cerámica en las universidades, también existen centros culturales y talleres en todos sus niveles formal, informal, público y privado. (De Stefano et al., 2023)

En este capítulo se retoma información del marco contextual de la investigación de Maestría “Caracterización física de arcillas de Mexicali para la elaboración de productos cerámicos” con el fin de actualizar el estado actual después de tres años. Para lograr esto se consultaron tesis de maestría y doctorado y consulta con ceramistas de Mexicali y de Baja California, visitas a espacios enfocados a la educación en Mexicali del sector público y privado. Entre los aspectos más relevantes para la investigación se encuentran el tipo de barro que utilizan, costo de materias primas, las técnicas utilizadas en sus procesos, el objetivo de sus cursos y contenido en las planeaciones de los maestros.

2.1. La enseñanza de la cerámica en Baja California

Los centros educativos que imparten clases formales en Mexicali son la Escuela de Bellas Artes, Casa de la Cultura, Centro Estatal de las Artes del Estado de Baja California (CEART), Facultad de Artes (FA) y la Facultad de Arquitectura y Diseño (FAD) de la UABC. El enfoque es parecido en cuatro de los centros y a continuación se describen sus procesos y expertos a cargo del taller.

En Bellas Artes de Mexicali se oferta la clase de escultura impartida por el profesor Ariel Duarte y la clase de cerámica dirigida por Mauricio Rueda. Para la clase de Escultura se utiliza un barro de baja temperatura elaborado con materiales regionales con un costo aproximado de 200 pesos por 10 kg para aplicarlo en el desarrollo de piezas modeladas por las técnicas placa, churro, ahuecado

directo, torno, pala y junque, las técnicas decorativas que se aplican son esgrafiado, relieves, incrustaciones, calado, bruñido esmaltes, engobe. Las cocciones son óxido reductoras, tierra sigillata, el maestro Ariel Duarte no comparte las zonas de extracción ni su proceso de formulación, por lo cual esto impide determinar si esta pasta puede ser utilizada para el desarrollo de productos utilitarios.

En la casa de la cultura se oferta el taller de cerámica impartido por la maestra Fernanda Montaña, en el curso se abordan las técnicas tradicionales y se trabaja con pasta de baja temperatura obtenida en La planta Cerámica y Tiip Taller Creativo.

La Universidad Autónoma de Baja California (UABC) campus Mexicali cuenta con dos Facultades en las que se imparten cursos de cerámica, la Facultad de Artes (FA) y la Facultad de Arquitectura y Diseño (FAD) a continuación se describen las materias y actividades que se desarrollan en estos espacios.

En la FAD se imparten las asignaturas Materiales y Procesos Cerámica y Vidrio así como Cerámica avanzada. Las materias primas que se utilizan son pastas de baja temperatura provenientes de Guadalajara con un costo aproximado de 75 pesos por kg, las técnicas de modelado utilizadas son placa, cordón, pellizco, colado y torneado. Las técnicas decorativas predominantes son incisión, excisión, adición. Las cocciones se realizan en conos 04 y 06 en hornos eléctricos. el propósito de la asignatura de Materiales y Procesos Cerámica y Vidrio es abordar el estudio teórico y práctico de los materiales y procesos utilizados en el diseño de productos cerámicos y vidrio, permitiendo obtener la capacidad de análisis del alumno para seleccionar las materias primas y procedimientos en el desarrollo de un producto en serie que den solución a problemas sociales.

En el caso de la asignatura Cerámica avanzada, el objetivo es proporcionar conocimientos sobre los materiales y procesos cerámicos para la elaboración de productos utilitarios en serie. Además, brinda conocimientos que le permiten al alumno seleccionar materiales para el desarrollo de pastas cerámicas e implementarlas en sus piezas, cabe resaltar que esta unidad de aprendizaje es el resultado de la presente investigación.

En CETYS Universidad la Licenciada en Artes Plástica Marcela Guevara Villareal inició un taller cultural de cerámica en agosto 2022 en el cual utiliza pasta de baja temperatura altamente porosa y quebradiza con un costo de \$55 pesos el kilogramo también ha utilizado pasta cerámica de mayor

calidad con alta plasticidad con un costo de \$75 kg , en las clases implementan técnicas manuales churro pellizco y placa. Su cocción se realiza en horno eléctrico a cono 04. En palabras de la maestra Marcela el objetivo es ofrecer la experiencia como una forma de relajarse a través del barro.

Además de las instituciones educativas formales que pertenecen a dependencias de gobierno y Universidades, también se encuentran los talleres independientes que en su mayoría han sido fundados por alumnos y egresados de Artes Plásticas de la UABC y egresados de Diseño Industrial de la FAD. Se identificaron siete espacios dedicados a la formación de ceramistas entre los que se encuentran Tiip taller creativo, Xicali Cerámica, La Planta, Ama the bees, Nirvana Design, Polly Studio Creativo, Nuwa, Enbarro.c y Kassy Design estos dos últimos actuales alumnos de las licenciaturas en diseño industrial y artes plásticas respectivamente.

El taller creativo “Ti’ip” está enfocado en impartir clases de cerámica a la comunidad en general, niños, jóvenes y adultos, el objetivo es difundir el arte y la cultura de Baja California por medio de cursos como cerámica experimental, torno cerámico y cerámica infantil en donde se exploran las técnicas básicas como placa, cordón y pellizco. Por otra parte cuentan con talleres de iniciación en torno, torno intermedio y avanzado. También se ofertan talleres especiales de 3 sesiones con técnicas básicas y elaboración de una pieza en torno. Las materias primas que se utilizan son pastas de baja temperatura provenientes de Guadalajara con un costo aproximado de 60 a 75 pesos por kg, las técnicas de modelado utilizadas son placa, cordón, pellizco y torneado. Las técnicas decorativas predominantes son incisión, excisión, adición. Las cocciones se realizan en conos 04 y 06 en hornos eléctricos. En este espacio se comercializan productos para formulación de pastas cerámicas y esmaltes así como herramientas básicas para el modelado de las pastas.

Taller “Xicali” se encuentra dentro de la Casa de Artes y Oficios La Joyita iniciativa de la Asociación Civil El arte Salva, Proyecto Calle 13 un espacio de formación artística y de convivencia social que cuenta con diversos talleres de arte. En este taller enseñan técnicas básicas de conformación como cordón, pellizco y placa y trabajaron durante un tiempo con barro Santa Catarina de Ensenada y pastas nacionales. El precio de la pasta Nacional es de 45 pesos el kg y la Santa Catarina es de 40 pesos el kg, por falta de tiempo han dejado de utilizarlas y comenzaron a utilizar pastas comerciales adquiridas por medio de La planta y Tiip Taller. Además de impartir cursos también promueven el

trabajo artesanal de las ceramistas de Santa Catarina que desarrollan piezas con la técnica tradicional. Las cocciones a cielo abierto y con horno eléctrico a cono 04. El enfoque es visibilizar el trabajo de la cerámica desde la recolección que se realiza en las comunidades así como la venta de piezas utilitarias y artísticas para venta.

En el caso de Ama the bees no se logró obtener información directa con el profesor que imparte los cursos por lo cual se tomó información de sus redes sociales en donde se muestra que los talleres que imparten son enfocados a las técnicas tradicionales, se desconoce la pasta que utiliza, rangos de temperatura y los objetivos precisos del taller.

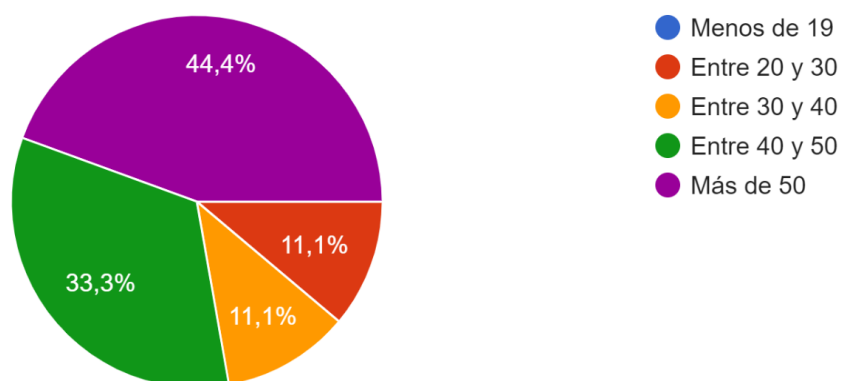
El taller “La planta” continúa elaborando productos cerámicos y formando a ceramistas por medio de las técnicas tradicionales (cordón, pellizco y placa), se agregó a su oferta educativa las clases de torno cerámico. Los productos cerámicos que ofrece se han expandido ya que ahora cuenta con barbotina, pigmentos y pastas que ronda los \$55 pesos por kg, esta pasta es porosa y quebradiza lo que dificulta su modelado.

Es importante mencionar que el proveedor “La casita de Maru” cerró sus puertas en diciembre del 2022, por lo cual los ceramistas de la región han comenzado a buscar nuevos proveedores y están surgiendo nuevas oportunidades de negocio para los talleres independientes. Por otra parte las redes sociales son una plataforma de difusión importante en donde papelerías como L'Atelier ha comenzado difundir la venta de pastas cerámicas de baja temperatura a un costo de 80 pesos el kg.

El formulario se diseñó para obtener información sobre los cursos de cerámica que se ofertan en Baja California con la finalidad de identificar las necesidades en torno a materias primas, usos y costumbres de los docentes que imparten dichos cursos. De los 27 espacios identificados 12 compartieron la información presentada en las figuras 1, 2 y 3.

Figura 2

Precio de la pasta cerámica que utilizan (por kg).



Nota. Esta información representa únicamente 12 de los 27 espacios identificados que imparten clases

Los resultados muestran que en Baja California la mayoría de los centros educativos pagan más de \$50 por la materia prima que sus alumnos consumen sumando el 44.4%. Por otra parte en la Tabla 1 se muestra el consumo por centro educativo, es importante mencionar que la cantidad de pasta que consumen en cada curso es muy diverso y la mayoría parte de 5 kg hasta alcanzar un máximo de 15kg.

Tabla 1

Consumo de pasta anual

¿A qué institución educativa perteneces?	Alumnos que reciben al año	Pasta cerámica utilizada por alumno	Consumo total
FAD UABC	82	5	410
Tiip	7	15	105
La Caja Arte y Cultura /La Caja Galería S.A. de C.V.	120	9	1080
Casa de la cultura de Mexicali	40	10	400
Matorral costero	30	5	150
Facultad de Artes UABC	40	7	280
La Nopalera	180	5	900
UABC facultad de artes otay tijuana	60	11	660
Lustre Estudio	100	-	-

UABC Facultad de Artes Ensenada	150	5	750
Casa de Artes y Oficios La Joyita	45	3	135

Consumo de pasta cerámica en centros educativos en Baja California

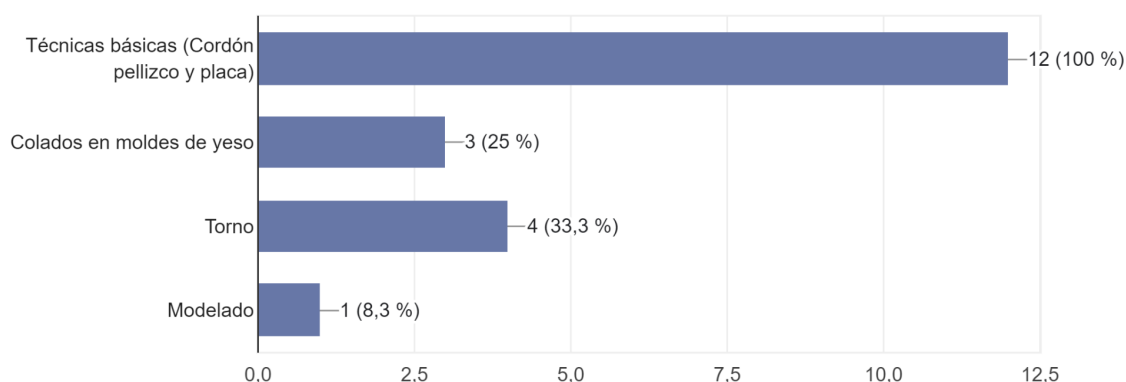
4870 kg

Nota. Esta información representa únicamente 12 de los 27 espacios identificados que imparten clases de cerámica en Baja California.

De la tabla anterior se puede observar la cantidad de pasta requerida por los centros educativos en el estado de Baja California. El consumo de barro de los alumnos va de 3 kg hasta 11 kg, siendo el centro que consume mayor cantidad de pasta es La caja galería con 120 alumnos y un consumo de 7kg por alumno sumando 840 kg en Tijuana, en Mexicali la Facultad de Arquitectura y Diseño es la que recibe la mayor cantidad de alumnos con 82 quienes consumen aproximadamente 5 kg por alumno lo que suman 410 kg.

Figura 3

Técnicas de conformación que enseñan



Nota. Esta información representa únicamente 12 de los 27 espacios identificados que imparten clases

Las técnicas más utilizadas son las básicas, placa cordón y pellizco por lo que es importante atender con la formulación de una pasta cerámica que permita la conformación de piezas por estas técnicas así como la cocción de estas a temperaturas como 04 por el tipo de esmaltes comúnmente utilizados.

Como menciona (García, 2017a) los talleres son un formato muy común en la educación, resultan útiles para la transmisión de información y la adquisición de capacidades. El surgimiento de estos talleres ha logrado que estos grupos pequeños de ceramistas mejoren su formación, obteniendo nuevos conocimientos sin embargo la necesidad de adquisición de materias primas es un problema latente en la región, el esfuerzo de los docentes por proporcionar materias primas a sus alumnos ha permitido la enseñanza de la cerámica de una manera limitada pero constante:

Los materiales que requerían los alumnos, eran adquiridos, transportados y vendidos en el taller por el propio maestro, quien viajaba a la ciudad de Los Ángeles, California para poder conseguirlos con precios más accesibles para los estudiantes. Este sistema de trabajo se mantuvo durante las dos primeras etapas del taller (García, 2017b, p. 22).

Recuperando lo mencionado por García (2017) logramos hacer una reflexión después de 42 años sobre el problema de adquisición de materias primas y vemos claramente cómo este problema sigue siendo subsanado con materias primas externas adquiridas por docentes, exceptuando la iniciativa del maestro Ariel Duarte quien formula con arcillas regionales pero no comparte su técnica de formulación ni sus composiciones. Mientras tanto los altos costos limitan a estudiantes en sus procesos creativos a pesar de que se han comenzado a comprar materiales al interior de la república sigue el reto de reducir los costos adquisitivos lo que permitirá que más personas puedan estudiar y obtener recursos por la elaboración de sus productos con mayor margen de ganancia.

3. MARCO CONCEPTUAL

En este apartado se describen conceptos básicos relacionados al proyecto de investigación los cuales permiten tener un eje rector que dirija este trabajo, tales como cerámica, pastas cerámicas, y su composición, y propiedades con la finalidad de comprender la importancia de las variables a analizar en la presente investigación. Para el desarrollo de este apartado se consultaron diccionarios de cerámica, enciclopedias, publicaciones científicas, libros y páginas de internet.

3.1. Cerámica

El concepto de cerámica se encuentra ligado a la acción de someter a calor una serie de materiales, comúnmente arcillas, que se endurecen y mantienen su forma previamente generada en un estado plástico. Guillem (1988) define la cerámica como el arte y la ciencia de fabricar objetos, con materias primas fundamentalmente de índole inorgánica, molidas y mezcladas homogéneamente, objetos preformados o moldeados en estado más o menos plástico y a los que la cocción acaba dándoles las cualidades definitivas.

Vázquez (2005) refiere que el concepto de cerámica abarca, no solamente a aquellas en las cuales la arcilla es un material indispensable y el más importante, si no que tiene un significado más amplio, ya que puede ser todo aquel artículo elaborado a partir de sustancias inorgánicas, primeramente moldeadas y posteriormente endurecidas por el fuego. También refiere que estas sustancias integradas a la pasta cerámica se clasifican dentro del mismo campo de conocimiento, debido a que, al igual que las arcillas, se requiere de modelado en crudo y después se exponen al fuego para endurecerlas.

Una definición descriptiva de la cerámica, según Fernández (2007) en su diccionario de cerámica, es el arte de fabricar objetos artísticos, utilitarios o mixtos, utilizando arcilla como materia prima, la que, después de modelada, debe ser horneada a elevadas temperaturas a fin que adquiera sus características definitivas de resistencia, dureza, color, estéticas, entre otras.

En la mayoría de los conceptos abordados Guillem (1988), Vázquez (2005), y Fernández (2007) mencionan que la cerámica es el resultado de un proceso de endurecimiento por medio del

calentamiento del material, de tal manera que este proceso es el que determina cuando los materiales que conforman una pasta se convierten en cerámica.

Aunado a lo anterior Fernández (2007) señala que a este proceso también se le conoce como el arte de expresar connotaciones, funciones, sentidos o ideas, válidas culturalmente, a través de la factura de objetos funcionales, expresivos o mixtos. Así mismo, refiere que la diferencia entre la cerámica artística, artesanal e industrial es cuantitativa no cualitativa refiriéndose a la seriación o cantidad como base de la concepción. La cerámica artística es una obra de arte única e irrepetible Guillem (1988), en la artesanía prevalece la intención de reproducir el objeto varias veces pero a diferencia de la cerámica industrial, esta contiene características y procesos asociados a la cultura a la que pertenecen los artesanos Fernández (2007). Por otra parte la cerámica industrial está enfocada en la sistematización de procesos, reproducción fiel del objeto por medio de moldes y se apeg a los requerimientos de uso, funcionales, técnico productivos, estéticos, entre otros.

La cerámica en todas sus expresiones parte del modelado manual incluso en aquellas que serán replicadas por moldes y maquinaria sistematizada, pues el ceramista inicia la exploración del material con técnicas tradicionales y este deberá desarrollar habilidades manuales para plasmar en la pasta cerámica sus diseños.

Por otra parte Salgado (2017) define Cerámica como una palabra polisémica cuyo significado original es variado utilizado para denominar simultáneamente las actividades artesanales, artísticas e industriales que elaboran productos con arcilla. También menciona que las actividades que tienen como eje central la cerámica pueden tener en común las tecnologías, usos y aproximaciones. Los límites entre arte, artesanía e industria radican en el tipo de producto generado. Con lo anterior, se puede mencionar que la cerámica en la industria es considerada como un elemento de construcción; en el arte la cerámica ha sido empleada como medio material de expresión; y en la artesanía es un producto basado en la cultura de donde proviene y que puede ser utilitario o decorativo.

Las definiciones de cerámica coinciden en que esta es el resultado de someter a altas temperaturas un conjunto de materiales plásticos, fundentes o refractarios que permiten su modelado a partir de técnicas de conformación manuales o industriales, esto dependerá de la naturaleza para la que son creadas y quien las elabora.

El concepto de cerámica abordado en este trabajo, es el relacionado a la cerámica tradicional en donde la arcilla se encuentra presente en la composición de la pasta cerámica como material plástico. Si bien existen diversas técnicas para dar forma a la cerámica, para esta investigación se profundizará en aquellas que son artesanales y tradicionales: placa, cordón y pellizco. Ya que, estas son las comúnmente utilizadas en los primeros acercamientos al material. La aplicación es muy diversa tanto en productos artísticos, artesanales e industriales, por lo que no se considerará un solo tipo de aplicación, ya que para fines de esta investigación lo importante es el proceso de aprendizaje en el cual se utilizan las pastas cerámicas.

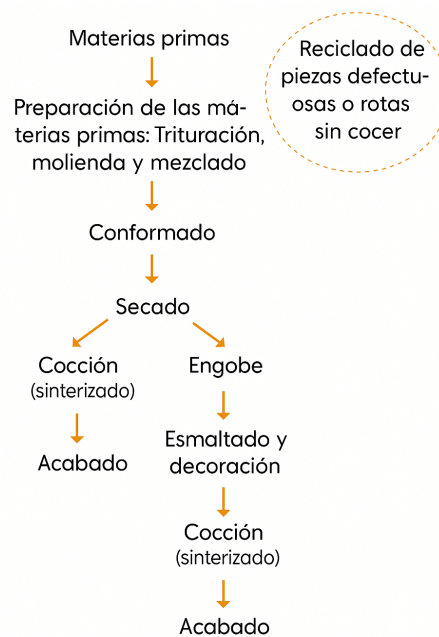
3.1.1. *Procesos de conformación*

Los procesos de conformación de la cerámica pueden ser artesanales o industriales, en este apartado abordaremos ambos a fin de establecer los procesos que son utilizados comúnmente por los ceramistas, comenzaremos abordando la palabra artesanía que deriva de las palabras latinas artis-manus que significa: arte con las manos son piezas producidas en base a la cultura de los mismos y con técnicas tradicionales que pueden ser producidas de forma repetitiva pero no son iguales ya que se elaboran por procesos artesanales ya sea totalmente a mano, o con la ayuda de herramientas manuales o incluso de medios mecánicos, teniendo como predominante la contribución manual directa del artesano.

El proceso de conformación de la cerámica tradicional con la cual se elaboran platos, tazas y vajillas inicia con la preparación de materias primas triturando, moliendo y mezclando, una vez que se obtiene la pasta cerámica ideal para el proceso de elaboración se inicia con el modelado de los productos, ya sea por técnicas artesanales o industriales. Una vez que el producto ha tomado forma se deja secar, existen dos procesos que se pueden aplicar para dar color a las piezas cerámicas, la primera se aplica antes de la primera cocción y la segunda opción es aplicar esmaltes después de la primera cocción y hornear nuevamente para dar el acabado final a la pieza. En la Figura 5 se muestra un diagrama de flujo del proceso que incluye el reciclado de materias primas.

Figura 5

Procesamiento de los materiales cerámicos tradicionales



Nota. Diagrama de flujo del procesamiento de los materiales cerámicos tradicionales.

Elaboración propia basado en Muñoz (2020)

Las técnicas de conformación artesanales son aquellas en las cuales no interfiere una máquina para dar forma a la cerámica. Las más comunes son placa, pellizco y cordón, esta última también es conocida como churro. Algunas de las técnicas de conformación industrial son tres, la primera es prensado en donde se utiliza el atomizado o el polvo húmedo, la segunda extrusión en donde se utiliza la masa plástica y la tercera se le denomina colada en donde se utilizan moldes de yeso para moldear barbotina un estado líquido de la pasta cerámica.

3.2. Pastas Cerámicas

En la elaboración de piezas cerámicas se utilizan diversos materiales mezclados, hidratados y amasados a los que se les determina pastas cerámicas, dependiendo de su composición tendrán características y propiedades distintas, es el ceramista quien acorde a su experiencia mezcla estos materiales para formular pastas con características precisas para cada uno de sus procesos y productos. En este apartado abordaremos su definición, propiedades físicas, composición y clasificación.

3.2.1. Definición de pastas cerámicas

Guillem (1988) menciona que la cerámica es “arte y la ciencia de fabricar objetos, con materias primas fundamentalmente de índole inorgánica, molidas y mezcladas homogéneamente, objetos preformados o moldeados en estado más o menos plástico y a los que la cocción acaba dándoles las cualidades definitivas” (p. 89). Así mismo menciona que la pasta cerámica es una mezcla homogénea de minerales arcillosos, no arcillosos, agua y aditivos que es desarrollada con características definidas para un propósito en particular. Por otra parte Fernández define las pastas cerámicas como composiciones más o menos arcillosas, usadas para la fabricación de piezas artísticas, artesanales, industriales o científicas. Mientras que Vázquez (2001) expresa un concepto más claro indicando que

Una pasta o cuerpo cerámico es la parte esencial y la que constituye en sí a la cerámica, es el resultado de una mezcla compuesta básicamente por materiales arcillosos llamados también materiales plásticos, y por materiales no arcillosos o anti plásticos, los cuales pueden ser refractarios o fundentes; siendo la arcilla el elemento constitutivo más importante para las cerámicas tradicionales (las nuevas cerámicas están compuestas de otros tipos de minerales y pueden no estar mezcladas) (Vázquez, 2001, p. 41).

En esta definición se le da a la arcilla la mayor importancia dentro de la composición de las pastas cerámicas, es importante mencionar que este material es importante para la formulación de las pastas cerámicas tradicionales pero puede ser sustituida por otros materiales. Vázquez (2005) utiliza otros términos importantes como materiales plásticos, antiplásticos, fundentes y refractarios los cuales serán analizados a mayor profundidad más adelante, por otra parte en su publicación del 2005 menciona lo siguiente

Comprende a los cuerpos cerámicos cuyo componente principal es una arcilla o una mezcla de arcillas, combinada principalmente con sílice y feldespato; o bien, el trabajo directo con arcilla como materia prima única, lo cual es poco frecuente. Las diferentes pastas cerámicas pertenecientes a este grupo son logradas debido a la variación de los porcentajes de arcilla, sílice, feldespato y otros materiales que pudieran intervenir en la composición, y a las

diferentes clases de arcillas que existen en la naturaleza, todo ello formulado para que a una determinada temperatura se obtenga un tipo de material cerámico (p. 2).

También menciona que existen algunas “pastas naturales”, que contienen en su composición arcilla, sustancias anti plásticas entre otros elementos que permiten modelar piezas sin necesidad de integrar aditivos, sin embargo, es importante precisar que no debemos denominar pasta cerámica a la arcilla sin otro elemento que le atribuya características, plásticas, fundentes o refractarias Vázquez (2005). Podemos concluir que una pasta cerámica es una composición de diversos materiales cerámicos plásticos, antiplásticos, fundentes y refractarios que permiten equilibrar las características de las pastas cerámicas por lo tanto puede ser diseñada para fines específicos dependiendo de las necesidades del proyecto a desarrollar.

3.2.2. Propiedades Físicas

Es importante determinar las propiedades físicas de los materiales cerámicos ya que por medio de estas se pueden predecir el comportamiento del producto terminado; así mismo la composición mineralógica y química permite establecer las condiciones que la pasta cerámica debe cumplir para un determinado producto según sus características físicas. Entre las propiedades de interés para el ceramista se encuentran la plasticidad, contracción, y deformabilidad que permite determinar el rango de cocción de las pastas.

Clop (2019) menciona que las propiedades físicas más relevantes de los materiales cerámicos son las propiedades mecánicas, las propiedades térmicas y las propiedades de permeabilidad ya que éstas condicionarán la resistencia mecánica, la resistencia al choque térmico y la porosidad. A continuación se profundiza en las propiedades plásticas, encogimiento y deformabilidad.

3.2.2.1. Plasticidad.

Una de las propiedades físicas más importantes que debe cumplir una pasta cerámica es la plasticidad, esta es la que permite dar forma a los objetos que se desean generar, es por esto que el término es ampliamente abordado por diversos autores. Cáceres (2021) no duda en consultar a diversos autores (Ginés, Feliu, García-Ten, y Sanz, 1997; Oliveira y Michael, 2008) para indicar que la plasticidad es la propiedad de la arcilla de asumir una forma determinada al aplicarle una fuerza sin

que la forma dada se pierda. Esta característica se adquiere al mezclar la arcilla con cantidades variables de agua, la plasticidad está estrechamente relacionada con la distribución granulométrica, el pH, la tensión superficial, así como la presencia de materia orgánica.

Ginés et al. (1997) define a la plasticidad como la capacidad de un material para ser deformado sin ruptura por la acción de una fuerza y de retener, posteriormente, la deformación alcanzada cuando esta fuerza es eliminada en base a lo anterior podría decirse que la plasticidad es la capacidad que tiene el material para ser modelado [\(p. 15\)](#).

3.2.2.2. Contracción.

La contracción en la cerámica se puede definir como el encogimiento que sufren las pastas cerámicas durante el proceso de secado y cocción Vázquez (2005). Por otra parte Cáceres V. I., García, A. L. C., y Molina, J. S. (2021) mencionan que la contracción lineal es un parámetro de calidad que se realiza para el secado y la cocción de las piezas cerámicas. Vazquez (2005) define la contracción en quema como el encogimiento que se da durante la cocción y depende de la capacidad de la arcilla o pasta para vitrificar, generalmente expresada por porcentajes y medida en forma lineal, superficial o cúbica. Así mismo menciona que las pastas de baja temperatura son materiales naturalmente porosos y este es el motivo de que su contracción sea menor en comparación con las de alta temperatura, que cuentan con alto grado de vitrificación y presentan mayor encogimiento.

3.2.2.3. Deformabilidad.

Las piezas de cerámica se someten al proceso de cocción con el fin de disminuir la porosidad, aumentar la densidad y la resistencia mecánica (Cáceres et al., 2021). A este proceso se le conoce como sinterizado, durante este tratamiento térmico se fija la forma dada a la pieza cerámica y se logra la dureza y resistencia en el producto final (Sánchez y Ramírez, 2013). La función de este proceso es unir los granos individuales en una masa sólida así como incrementar la densidad y reducir o eliminar la porosidad, usualmente se lleva a cabo a temperaturas entre 900 y 1400 C y se realiza en un horno Muñoz (2020) a estos procesos también se les denomina vitrificación (Cáceres et al., 2021)

permitiendo a las piezas consolidarse y compactarse. Los cambios producidos pueden ser físicos o químicos, alteran la forma, el tamaño, la estructura y composición de los materiales.

Durante el proceso de cocción de la arcilla o pasta cerámica ocurren cambios polimórficos, reacciones endotérmicas y exotérmicas a altas temperaturas. Inicialmente ocurre una deshidratación, luego viene la descomposición de la materia orgánica que pueda contener la arcilla, este proceso ocurre entre los 100 °C y 500 °C (Cáceres et al., 2021).

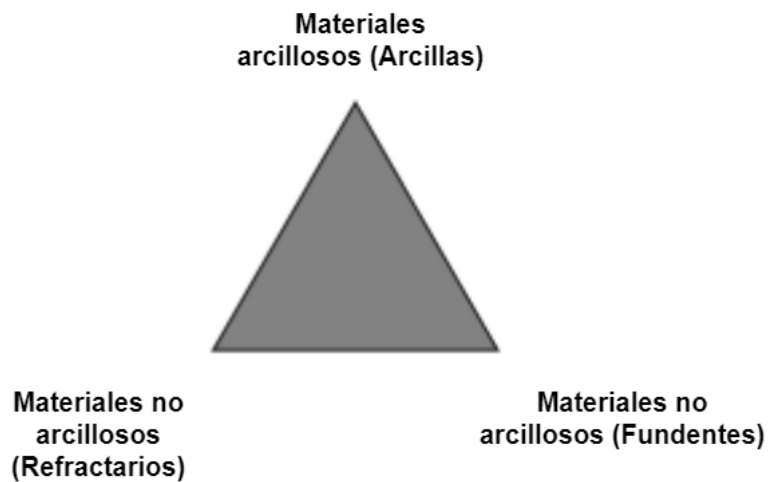
Cuando una pasta cerámica sobrepasa la temperatura de cocción comienza un proceso de deformación, la deformabilidad es la propiedad de una arcilla para deformarse al calor elevado, para comprobarla se somete una muestra a cocción apoyada por sus extremos sobre dos soportes refractarios. Al llegar a determinada temperatura se deformará por su propio peso. Las arcillas con mayor alúmina y más puras se funden a temperaturas más elevadas, para las más comunes el rango térmico oscila entre los 1200 para las menos refractarias y 1500 grados centígrados para aquellas más resistentes al calor. (Fernández, 2007b)

3.2.3. Composición

Los elementos que componen una pasta cerámica son materiales arcillosos, materiales refractarios y materiales fundentes así como su ubicación en la lectura del diagrama triaxial del que se abordará a mayor profundidad más adelante (Vázquez, 2005). En la Figura 6 se observan los tres materiales que componen una pasta cerámica. Estos materiales se mezclan para dar características específicas a las pastas y estos influyen de la siguiente manera: las arcillas aportan plasticidad en la contracción que provoca agrietamientos y deformaciones, los materiales no arcillosos ya sean refractarios o fundentes aportan al punto de cocción, en la absorción, la cual depende de la densidad y los tres materiales en conjunto ayudan al acoplamiento del vidriado.

Figura 6

Materiales para la formulación de pastas cerámicas Vázquez (2005)



Las mejoras o cambios que se le pueden hacer a una pasta cerámica aumentar o disminuir la plasticidad, disminuir contracciones durante el secado y la quema, esta puede provocar agrietamientos o deformaciones, bajar o subir la temperatura de quema, aumentar o disminuir la densidad del material cerámico, mejorar el acoplamiento con el vidriado y cambiar el color o la textura. (Vázquez, 2005).

Las cantidades de las materias primas que componen una pasta cerámica dependen de los fines para los cuales se esté diseñando, la cantidad de arcilla en algunas pastas puede llegar a ser en casos extremos de hasta 90% en peso de la pasta mientras que en otras puede ser menor, hasta un 20%. El autor indica que la correlación entre la sustancia arcillosa y no arcillosa se mantiene entre el 60 – 70% de arcilla o caolín para aplicación en procesos constructivos manuales y en el caso de producir con barbotina desciende hasta 50%. Todo tipo de pasta cerámica trabajable se compone de dos tipos de sustancias plásticas (arcilla y caolín) y anti plásticas (cuarzo, feldespato, carbonato de calcio, dolomita, talco, chamote, etc.) (Fernández, 2007b).

3.2.3.1. Materiales plásticos y antiplásticos .

Los productos cerámicos que constituyen la cerámica tradicional, se elaboran con materias primas naturales, las cuales pueden ser plásticas o no plásticas. Las no plásticas funcionan como un "desgrasante" reduciendo la plasticidad sin que esta sea excesiva para lograr mantener su forma y

permita una mejor trabajabilidad, también son "fundentes" que facilitan una cocción a menor temperatura (Galan y Aparicio, 2006).

Las materias primas no plásticas facilitan la floculación, mejoran la permeabilidad y empaquetamiento de la pasta, y aportan óxidos para la formación de fases líquidas y cristalinas o son inertes. Los principales minerales no plásticos son: feldespatos y feldespatoides que son fundentes; cuarzo y arenas silíceas que actúan como inertes; calcita y dolomita, que pueden ser reactivos y también fundentes; y los óxidos de Fe y otros elementos (Cu, Co, Mn, Ti, oO.) que suelen actuar como pigmentos, y en ciertos casos como fundentes.

Los materiales antiplásticos son también conocidos como áridos y cumple las funciones de limitaciones contracción de la pasta tanto en el secado como en la cocción, facilitar la eliminación de las sustancias volátiles de la pasta, disminuir el tiempo de secado y facilitar el acortamiento de los ciclos de cocción. Estos materiales actúan como aditivos reductores de la plasticidad o de la contracción del cuerpo cerámico durante su secado y posteriormente después de su cocción. Son utilizados para provocar la sinterización durante la cocción o para incrementar la formación de la fase vítrea, mientras que otras se usan para incrementar la refractariedad. (Fernández Hevia, D., Caballero, A. C., De Frutos, J., y Fernández, J. F. (2004).

Los materiales no antiplásticos dan mejor soporte al cuerpo cerámico y el porcentaje de inclusión depende de la técnica de fabricación de la pieza a menor porcentaje de humedad aumentará el contenido de anti plásticos y disminuirá el de la arcilla y caolín. En la Tabla 2 se observan los porcentajes de materiales plásticos y antiplásticos sugeridos por los autores. (Fernández, 2007b)

Tabla 2

Cantidades de sustancia plástica y anti plástica según la técnica de conformación a utilizar

Técnica	Agua	Sustancia plástica	Sustancia anti plástica
Manual	35%	70%	30%
Prensado industrial	10%	40%	60%
Torno		70%	40%

Colado de barbotina		60%	40%
---------------------	--	-----	-----

Nota. Elaboración propia basada en Vazquez (2005), Fernandez (2004)

Como se puede observar en la Tabla 2 las pastas de modelado manual o torno requieren de una buena plasticidad y, por lo tanto, de un alto contenido de materiales arcillosos en su composición entre un 60 a 80% (Vázquez, 2005) a continuación se profundiza sobre su definición, características y aplicación en la formulación de pastas cerámicas.

3.2.3.1.1. Arcilla.

Las arcillas provienen de la descomposición de las rocas sedimentarias que fueron arrastradas vía fluvial por ríos y fondos marinos o bien por medio del viento, durante este proceso las arcillas se mezclan con diferentes minerales. Las arcillas residuales fueron formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido transportadas por el agua, el viento o el glaciar. Díaz y Torrecillas (2002) menciona que la constitución mineralógica de las arcillas se componen por varios minerales arcillosos como silicatos aluminicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na y otros minerales acompañantes como el cuarzo, los feldespatos, los carbonatos, entre otros.

La enciclopedia técnica define a las arcillas como cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granular muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados (Dominguez, 2024).

Díaz y Torrecillas (2002) definen a la arcilla como la materia prima natural con una constitución de partida compuesta por minerales de tamaño fino, que se comporta plásticamente con el agua y que endurece al ser secada o calentada.

Otra definición menciona que al mezclar arcilla con agua se convierte en una pasta plástica que le permite al ceramista elaborar productos cerámicos, es una materia prima del arte y la industria cerámica, sin la cual no podrían existir pues no tiene sustitutos variables. En relación a esto último se puede debatir ya que en la actualidad existen pastas cerámicas compuestas de materiales no arcillosos,

sin embargo sigue siendo la arcilla la más comúnmente utilizada en la formulación de pastas tradicionales.

El aditivo plástico por excelencia en las pastas cerámicas es la arcilla, la palabra arcilla posee un significado muy distinto según sea el ámbito industrial o científico de su utilización. Aunque hoy en día las aplicaciones de las materias primas arcillosas son muy variadas, es en el ámbito cerámico donde reside el primer origen de su consumo (Díaz y Torrecillas, 2002).

Vásquez (2005) confirma lo anterior al mencionar que el componente principal de una pasta cerámica tradicional es una arcilla o una mezcla de arcillas, combinadas principalmente con sílice y feldespato. Es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho (Dominguez, 2024). En la mayoría de las definiciones de arcilla se encuentra el término plasticidad como referencia a una de sus características, esta le permite modelar formas complejas y orgánicas mientras está hidratada, por otra parte la dureza que obtiene después de la cocción permite mantener la forma generada por el ceramista durante el modelado.

El papel de la arcilla en la preparación del cuerpo cerámico es múltiple y consiste en impartir la plasticidad necesaria para su moldeo, mejorar las propiedades mecánicas, mejorar las propiedades de la suspensión, y aportar los componentes para la formación de fases líquidas y cristalinas durante la cocción (Galan y Aparicio, 2006).

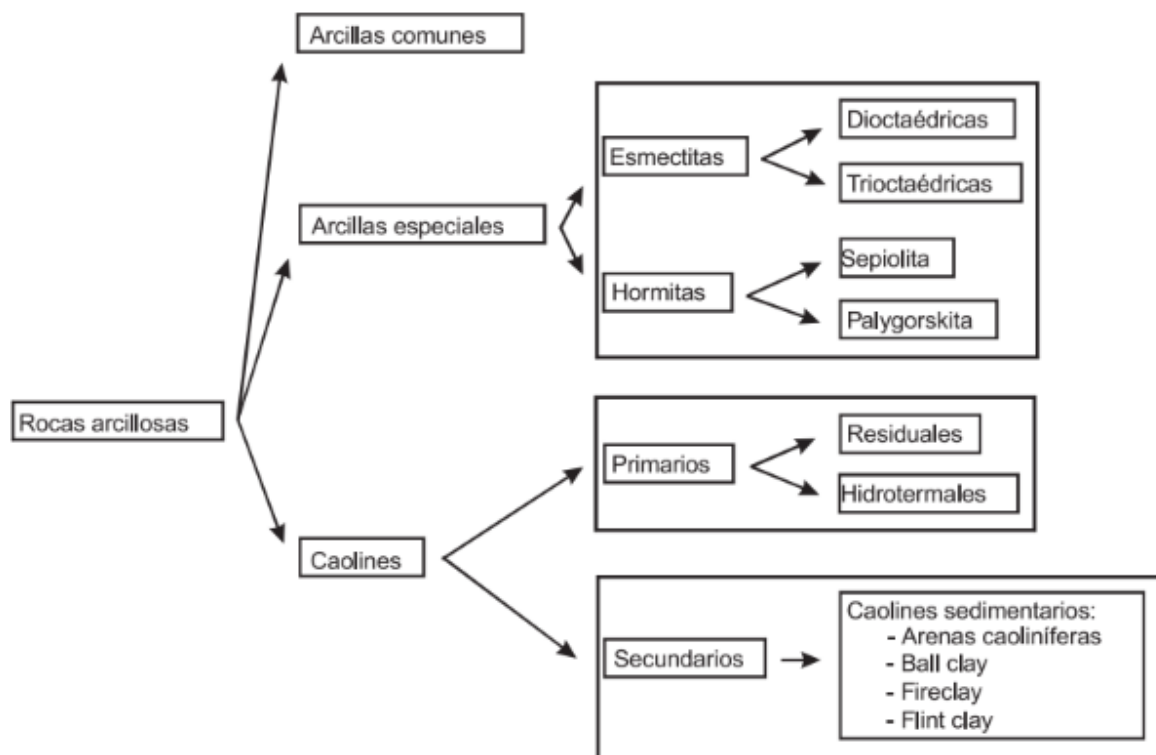
La clasificación de las arcillas en base a su aplicación en la cerámica se muestra a través de la Figura 7 en donde podemos identificar a las arcillas comunes y los caolines que son de interés especial para esta investigación y sobre los que se profundizará a continuación.

Figura 7

Esquema general de clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica

Nota: Boletín de cerámica y vidrio #41 (Díaz y Torrecillas, 2002)

La llamada arcilla común se refiere a toda materia prima arcillosa de amplia distribución de afloramiento que se utiliza, principalmente, en el sector cerámico de la construcción y en alfarería por



sus propiedades físicas y sus pocas especificaciones químicas y mineralógicas. Su constitución mineralógica es variada y contiene minerales arcillosos fundamentalmente del grupo de las micas y en menores proporciones los de los grupos del caolín, cloritas, esmectitas y hormitas. La plasticidad de estas tiende a ser baja por la presencia de desgrasantes, como el cuarzo y los carbonatos, el punto de vitrificación suele ser inferior a los 1100°C. El alto contenido de óxido de hierro suele estar por encima del 2 al 2.5% y este le da el color rojizo característico de los productos elaborados con esta arcilla. (Díaz y Torrecillas, 2002).

Existen diversos tipos de arcillas para su uso en la cerámica, las ball-clays son arcillas semi refractarias, se cuecen sobre 1200°C, las de mayor calidad tienen una resistencia al calor. En la cerámica tradicional es común el uso de arcillas en la formulación de pastas cerámicas combinadas con sílice y feldespato (Vázquez, 2005).

El uso de las arcillas depende de la composición mineralógica, estructura del mineral y su composición química y su valor se determina por la cantidad de impurezas: materia orgánica, fragmentos de rocas, mica, óxido de hierro, yeso entre otros. Estas impurezas afectan las características y propiedades por ejemplo el óxido de hierro les da coloración, el cuarzo afecta la

plasticidad mientras que la alúmina la hace refractaria y el yeso por ser fundentes energéticos durante la cocción en temperaturas de 1200 °C a 1300 °C. Por otra parte las sales solubles como sulfatos y cloruros se evidencian en el secado de los productos demeritando el aspecto físico de los mismos (Cáceres et al., 2021). Aunque las arcillas son la principal materia prima en la elaboración de cuerpos cerámicos tradicionales por su capacidad de cocción y plasticidad, encontrar arcillas puras en la naturaleza es raro por lo regular se encuentran variedades que pueden tener una impureza hasta del 10% para considerarla aceptable pero cuando oscila entre el 29 y 50% pueden perder refractariedad, plasticidad y otras propiedades. Sin embargo no se descarta la posibilidad de utilizarlas ya que tamizarlas puede eliminar gran parte de las impurezas y utilizar aditivos puede estabilizar una pasta cerámica (Fernández, 2007a).

3.2.3.1.2. *Arcillas de bola.*

Las arcillas de bola ball-clay tienen partículas excesivamente finas, sin mezcla de caolín, chamote u otra arcilla de grano grueso, carentes de anti plásticos, no resultan trabajables por lo cual es importante integrar aditivos que estabilice su plasticidad. Debido a las variaciones que puede presentar una arcilla en su composición y por lo tanto en su comportamiento, y considerando que es la materia prima que ocupa generalmente la mayor parte del porcentaje total de la pasta, se recomienda usar una mezcla de ellas, ya que, en caso necesario, es más fácil hacer los ajustes pertinentes en parte de los componentes arcillosos, que en el total representado por un solo tipo de arcilla. La mezcla arcilla de bola-caolín en diferentes porcentajes resulta una buena combinación, pero se puede contemplar cualquier otro tipo de arcilla (Vázquez, 2005). Por otra parte Fernández (2007) menciona que las arcillas de bola son muy luminosas de un 27 a un 35% de partícula muy fina lo que la hace muy plástica. Lo anterior mencionado da sustento a la formulación a generar con arcillas nativas de Mexicali y combinación con ball-clay y caolín que se abordarán en el apartado de formulaciones.

Las ball-clays son plásticas, tienen la capacidad de aglomerarse, compuestas por óxidos de hierro y álcalis en baja proporción, y pueden tener materia orgánica esto es lo que le dan su color gris en estado húmedo, una vez horneadas cuecen blanco. Las arcillas ball-clay son una mezcla de un 70% de caolinita desordenada, con micas, cuarzo, cloritas y materia orgánica. Estas arcillas, denominadas

también como grasas, son altamente plásticas, su color natural puede ser oscuro por la presencia de materia orgánica pero su color de cocción es casi blanquecino. Precisamente esa diferencia de color de cocción entre las arcillas ball-clay que son casi blancas y el caolín blanco es alguna de las distinciones entre ambos materiales.

3.2.3.2. Materiales refractarios y fundentes.

La refractariedad es la capacidad que tienen los materiales de mantener su identidad física y química a altas temperaturas, en el medio ambiente y en condiciones de uso y su función es la de contener el calor. Fernández (2007) menciona que el significado de refractario es resistente al fuego o al calor refiriéndose a aquellas que superan el punto rojo (mayor a 700 a 800°), los materiales refractarios los divide en dos tipos compactos o pesados elaborados con mezclas de caolín aluminoso, arcilla blanca de la misma calidad y camote aluminoso. Por otra parte menciona que se requiere 35% de humedad para la elaboración de productos con estas mezclas por presión manual, la resistencia la da el porcentaje de alúmina pero no indica rangos, cuando se requiera hornear a temperaturas que pasen los 1350° debe reemplazar parte del caolín o arcilla en la mezcla. También menciona que se puede integrar de un 40% a 60% de chamota evitando granos finos, estos dilatan al calor, y utilizando aquellos que se encuentren entre un 1,2 - 1,5 - 2mm no mayor ya que estos rebajan la resistencia mecánica. El caolín se integra con un 30% de agua, las impurezas que perjudican a las materias primas son sustancias calcáreas.

Por otra parte el diccionario cerámico define como poder refractario a las materias primas que tienen la capacidad de elevar la temperatura de fusión de pastas, esmaltes y engobes, como ejemplo menciona al caolín y el cuarzo (Fernández, 2007b).

Los materiales refractarios son todo material cerámico o no, capaz de resistir las temperaturas elevadas y las condiciones del medio, y todo ello, durante un periodo de tiempo que resulte económicamente rentable sin deterioro de sus propiedades tanto físicas como químicas Inoriza, R. (2003).

Los materiales refractarios son químicamente estables y mecánicamente resistentes a alta temperatura, con puntos de fusión elevados en general superiores a 1400 °C. Al calentarlos a

temperaturas sub-sólidas incrementan las áreas de contacto interparticulares y con el tiempo se producen uniones entre partículas aumentando la densidad del material. Cuando se incrementa el tiempo o la temperatura se genera una contracción en el material (Alarcón, s. f.)

La Real Academia de la Lengua Española define al material refractario como aquel cuerpo que resiste la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse. La refractariedad es la propiedad de algunos materiales que hacen posible la resistencia de estos a condiciones severas de temperatura, o ambientes químicos y físicos muy agresivos sin sufrir una afección significativa durante un periodo de tiempo económicamente viable (Acosta, C. y Juan, R. 2019), así mismo mencionan que los materiales refractarios son materiales capaces de resistir a altas temperaturas, expuestos a diferentes grados de tensión y deformación térmica. De Aza (2011) define los materiales refractarios como todo aquel que es capaz de soportar, a temperaturas elevadas, las condiciones del medio en que está inmerso, durante un periodo de tiempo económicamente rentable, sin deterioro de sus propiedades físico-químicas. Podemos concluir con que los materiales refractarios son aquellos que le atribuyen propiedades térmicas a las pastas cerámicas dotando de resistencia a las temperaturas de cocción ya sea baja, media o alta. Entre los materiales refractarios se encuentran el caolín en el que se profundizará a continuación.

3.2.3.2.1. Caolín .

El Caolín es una variedad de mineral arcilloso con el que comparte composición química silicato de alúmina hidratado, tiene una estructura cristalina. Su nombre se deriva del chino Kao ling que significa montaña alta se diferencia de las arcillas por su mayor refractariedad, por su contenido de alúmina mayor a 30%. lo que la hace útil para fabricar pastas para elevadas temperaturas más de 1250 C (Fernández, 2007a).

Dentro de las propiedades del caolín se encuentran su blancura, el fino tamaño de sus partículas, su elevada refractariedad y resistencia mecánica tras la cocción lo hacen un material atractivo para la formulación de pastas cerámicas. Los caolines son procesados previamente para incrementar las propiedades deseadas, que se encuentran en las partículas más finas, en cambio las arcillas caoliníferas se utilizan directamente (Bartolomé, 1997).

En general son refractarias entre las que se encuentra la llamada ball-clay, una arcilla caolinífera altamente plástica y dispersable en agua. Es de color oscuro causado por la presencia de materia orgánica, pero cuecen con color blanco. Su granulometría es inferior a las 2 μ m, son los materiales más utilizados en la fabricación de cerámica blanca de alta calidad, junto a los caolines plásticos (Bartolomé, 1997). Algunos sustitutos del caolín en la cerámica son la fibra de vidrio y equivalentes plásticos; como relleno por barita, carbonato de calcio, feldespato, mica, perlita, talco y wollastonita; en fundición por alúmina, cromita, olivino, perlita y arena sílica; en refractarios por andalucita, bauxita, cromita, dolomita, grafito, magnesita, olivino y sílice (Secretaría de economía, 2022).

3.2.4. Aditivos colorantes

El color natural de las arcillas y pastas puede ser modificado a partir de aditivos como óxidos o sales que contengan los elementos Titanio, Vanadio, Cromo, Manganeseo, Hierro, Cobalto, Níquel, Cobre. La pigmentación de pastas se realiza con pigmentos accesibles que no requieran de una gran cantidad de material y cuando la interferencia del color pase de la arcilla lo permita. El resultado del color dependerá de variantes como granulometría, composición cerámica, porcentaje utilizado, temperatura de cocción, velocidad de calentamiento, atmósfera de cocción, la presencia de otros pigmentos en la composición de la pasta utilizada, entre otros factores. La tendencia siempre será a obtener colores pasteles dependiendo de la cantidad de pigmento utilizado y el color de la pasta base Morales (2005).

3.2.5. Clasificación de pastas

Vázquez (2015) asegura que la clasificación de pastas se divide en tradicionales, modernas mejoradas, nuevas pastas basadas en compuestos únicos por medio de la siguiente tabla indica la composición de las pastas tradicionales:

Tabla 3

Composición de las pastas tradicionales

Materias primas	Función de los materiales	Alfarería	Loza	Gres o Stoneware	Porcelana
Materias primas arcillosas	Plasticidad y endurecimiento después de la quema	Total o parcialmente de arcillas rojas Mezclas de arcillas rojas	Arcilla bola 25-30% Caolín 10-15%	Arcilla bola 50-60% Caolín 20%	Arcilla bola 25% Caolín 25%
Materias primas no arcillosas	Estructurantes	Silíce 10%	Silíce 15%	Silíce 10-20 %	Silíce 25%
	Fundentes	No se requiere	Feldespatos 10% Ca 10% Talco 25-40%	Feldespatos 10-30%	Feldespatos 25%
Materiales agregados	Texturizante	Arcilla refractaria como agregado 10 - 20 %		Arcilla refractaria 10-20%	
	Colorante	No se usan	Óxidos metálicos o pigmentos en diferentes proporciones.		Es poco común
Temperatura de quema		850 - 1050 C	100-1050 C	1200-1280 C	1240 -1300 C
Características técnicas		Contracción 7 - 10% Absorción 10 - 20%	Contracción 7 - 10% Absorción 10-15%	Contracción 13-16% Absorción 0.0-1.0%	Contracción 12-15% Absorción 0.0-0.5%

Nota: Elaboración propia a partir de Vázquez (2005).

Entre ceramistas es común hablar de alta y baja temperatura, suele entenderse por baja temperatura el rango de temperaturas de cocción de productos cerámicos de porosidad alta o media, correspondiente a la alfarería tradicional, la mayólica, ladrillera y algunos materiales de construcción, azulejos de revestimiento. Por otra parte, se entiende como alta temperatura aquellos productos cerámicos de porosidad baja o nula, como el gres, porcelánico y pavimentos de gres porcelánico, entre otros.

En el caso de las pastas tradicionales Vázquez menciona que se puede clasificar a su vez de acuerdo a los siguientes parámetros: Temperatura de quema determinado por baja temperatura en donde esta ronda entre los 1000 a 1050 °C y alta temperatura de 1200° a 1300°C, acorde a su plasticidad descrita como muy plástica o poco plástica pero no existe un rango de medición cuantitativo, otro parámetro es la densidad la cual está ligada a la porosidad como la capacidad que tienen las piezas de cerámicas de absorber agua tras la cocción Mdolors (2017). La porosidad es la propiedad de la pasta cerámica que permitirá la absorción del esmalte o pigmento para dar el acabado

a las piezas. Otros parámetros con los cuales clasifica las pastas tradicionales son su color, grano y textura como se puede observar en la tabla que se muestra a continuación

Tabla 4

Clasificación de las pastas tradicionales

		Alfarería	Loza	Gres	Porcelana
Temperatura de quema	Alta (1000-1050 C)	X	X		
	Baja (1200-1300 C)			X	X
Plasticidad	Muy plástica	X		X	
	Poco plástica		X		X
Densidad	Cuerpos porosos	X	X		
	Cuerpos densos			X	X
Color	Pastas de color	X		X	
	Pastas marfil, crema o blanco.		X		X
Grano	Grueso	X		X	
	Fino		X		X
Texturizante	Pueden texturizar	X		X	
	No pueden texturizar		X		X

Nota. Elaboración propia basada en Vázquez (2005)

Como pudimos observar la clasificación de las arcillas puede asignarse de acuerdo a diversos aspectos como color, temperatura, aplicación, componentes, el enfoque de esta investigación será en la clasificación de acuerdo a la temperatura de cocción de las pastas, por lo cual se diseñaron infografías para facilitar la comunicación y comprensión de la información. El contenido de las infografías se basa en información de Fernández Chitti (1962, 2007 a, 2007b, 2007 , 2024), Vázquez (2005) así como del seminario de pastas y barbotinas impartido por Norma Mainero en el 2020, la información que se aborda es sobre composición de las pastas, procesos por los cuales se pueden desarrollar piezas, aplicación común y los acabados que se pueden implementar.

En las infografías presentadas en la Figura 8 se puede resumir que, la clasificación de las pastas cerámicas involucra variables que requieren ser medidas por medio de métodos que permitan hacer una comparación entre las diversas características para poder determinar su aplicación, por lo cual nos enfocaremos en desarrollar un apartado para determinar cuáles son estos métodos y

posteriormente su viabilidad para aplicarlos en la investigación. Por otra parte, las pastas que se han utilizado en el laboratorio de cerámica de la FAD son de Laguna Clay, sus características se muestran en la tabla 5 obtenida de la página web de Laguna Clay Company.

Figura 8

Características de las pastas de alta y baja temperatura



Nota: Elaboración propia a partir de e Fernández Chitti (1962, 2007 a, 2007b, 2007 , 2024), Vázquez (2005) así como del seminario de pastas y barbotinas impartido por Norma Mainero en el 2020,

Tabla 5

Características de las pastas utilizadas en el laboratorio de cerámica de la FAD.

Color en bizcocho	Características
	WC-841 ANISH WHITE cono 10 color de quema blancuzco con una contracción de 12% en promedio, su absorción de agua es de 0.8% con una textura lisa.
	WC-394 RED cono 5 color de quema rojizo con una contracción de 10% en promedio, su absorción de agua es de 0.% con una textura ligeramente gruesa.
	WC-394 Dry Casting Slip cono 06 color de quema blanco hueso con una contracción de 5% en promedio, su absorción de agua es de 3% con una textura lisa.

Nota. Elaboración propia basada en la página <https://www.lagunaclay.com/collections/clay> 21 de abril del 2025.

Las pastas WC-841 Y WC-394 son de alta temperatura y S-821D de baja temperatura, de las tres pastas la más utilizada durante el periodo 2007 al 2022 fue Artware Dry Casting Slip S -821D por su fácil implementación en la elaboración de productos por colado, aunque esta pasta resulta difícil de modelar por técnicas tradicionales y más considerando que se utiliza en el proceso de aprendizaje para principiantes.

Como se ha abordado en este capítulo la variedad de materias primas para el desarrollo de pastas cerámicas es amplio y sus aplicaciones diversas, para el ceramista es elemental conocer las propiedades de las arcillas antes de la elaboración de piezas, identificar los materiales que permiten estabilizar evita ensayos de prueba y error minimizando tiempo y esfuerzo en la construcción de piezas cerámicas.

4. FORMULACIÓN DE PASTAS CERÁMICAS: PRINCIPIOS Y METODOLOGÍAS

Con el objetivo de identificar el conocimiento acumulado en torno al diseño de pastas cerámicas, así como comparar los enfoques de las investigaciones actuales y tendencias en la investigación nacional e internacional, se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos científicos en las bases de datos SCOPUS, Scielo y ELSEVIER, en la que se seleccionaron y analizaron artículos partiendo del 2020 con el fin de identificar y clasificar los residuos implementados a la fecha, sin embargo el periodo de rango seleccionado no permite un análisis contundente para esta investigación por lo cual se amplió el rango a 2014 a la fecha, con el fin de identificar y clasificar los residuos implementados a la fecha así como los métodos de evaluación de las muestras. La búsqueda arrojó 107 investigaciones de las cuales se descartaron aquellas en las cuales su aplicación se enfocara en el desarrollo de productos cerámicos tradicionales como vasijas, macetas y loseta quedando 18 investigaciones de las cuales se eligieron 3 para profundizar por su metodología y aplicación. Con base a lo anterior los resultados mostraron que los residuos industriales predominan, principalmente aquellos provenientes de la industria cerámica así como los residuos generados en la construcción. Entre los residuos orgánicos se encuentran la cáscara de arroz, cáscara de plátano, bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacahuete, papel y lodo.

En la actualidad la investigación en torno a la formulación de pastas cerámicas se basa en determinar las características microscópicas y la composición elemental de las materias primas para mejorar las propiedades plásticas, dimensionales y térmicas. Existe una tendencia hacia la integración de residuos entre los que se destacan cenizas y lodos residuales, con la integración de residuos se aporta a los objetivos de la agenda 2030 de la ONU.

Los métodos predominantes implementados en investigaciones son difracción de Rayos X para determinar la composición elemental, límites de Atterberg para medir la plasticidad de las muestras y el análisis térmico diferencial para identificar la temperatura de fusión de las muestras.

Existen diversas investigaciones sobre la formulación de pastas cerámicas, para fines de esta investigación es de interés exclusivamente las relacionadas a la integración de arcillas y residuos para

la elaboración de productos de carácter decorativo. El interés por estas investigaciones surge a partir de la inminente necesidad de generar materiales respetuosos con el medio ambiente y sentar las bases para dar continuidad a futuras investigaciones que permitan la formulación de pastas cerámicas sostenibles partiendo de arcillas regionales y residuos.

Por una parte es importante conocer los métodos por los cuales se llevan a cabo los análisis de arcillas para determinar su posible aplicación así como los métodos utilizados en la formulación de pastas cerámicas. Por otra parte es elemental visualizar las alternativas que se están generando en torno a la utilización de residuos como aditivos en la formulación de pastas cerámicas más amigables con el medio ambiente. En este sentido el estudio del estado del arte permitirá generar una posible ruta a seguir por aquellos ceramistas que deseen poner en práctica acciones más sustentables en sus procesos productivos.

Un ejemplo regional de la integración de residuos es la comunidad indígena de Santa Catarina en Ensenada Baja California comunidad que por su tradición alfarera tienen arraigado este proceso para el desarrollo de piezas cerámicas utilitarias y decorativas. Algunos integrantes de este grupo nativo seleccionan arcillas primarias provenientes de yacimientos de arcilla residual, por medio del uso de morteros hacen una reducción y limpieza de la tierra, también aplican de desgrasantes también llamados materiales antiplásticos con el fin de disminuir su plasticidad y retener la forma (Garduño, 2016). En esta comunidad se puede encontrar arcillas con chamota, desgrasante, minerales, cuarzo, feldespatos, con estas arcillas se trabajan piezas cerámicas de baja temperatura elaboradas por procesos artesanales, la quema es llevada a cabo en hoguera primitiva dejando vetas grises como se pueden observar en la Figura 9. A través del tiempo cada comunidad ceramista estabiliza sus pastas cerámicas de acuerdo a los recursos naturales que encuentra en su contexto.

Figura 9

Jarra y olla Pai Pai



Nota: Xicali Cerámica Samanta Ibarra 2019

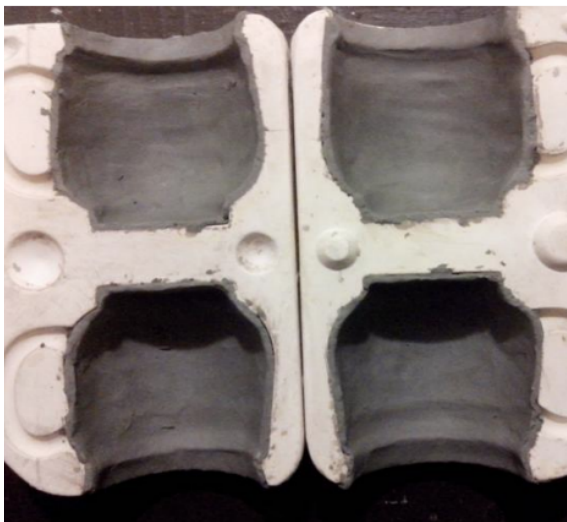
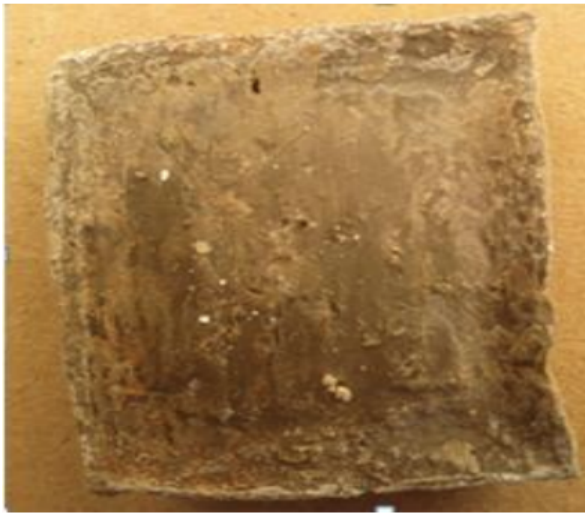
Lo mismo sucede con ceramistas de Mexicali que han experimentado con las arcillas sedimentarias regionales agregando 30% de papel al barro de la zona del cerro centinela, lo que ha permitido realizar piezas de temperatura a cono 04 y 06. Sin embargo, se han encontrado con dificultades al utilizarlas, por las rupturas que se generan durante la elaboración y cocción, así como las contracciones de la arcilla que llegan a ser de un 50%. Los resultados de estos experimentos no han permitido su implementación en sus procesos ya que se ve reflejado en el consumo de materias primas provenientes del interior de la república.

Dentro del taller de cerámica de la Facultad de Artes de la UABC se elaboraron mezclas de arcillas -de la compañía Laguna Clay- y papel con la cátedra de la Dra. Katery Garcia (2017) quien ha explorado esta técnica con sus alumnos obteniendo resultados muy interesantes, en su tesis *Alternativas para la producción de obra artística en cerámica: caso taller de cerámica de la Universidad Autónoma de Baja California de Mexicali*. El objetivo de esta investigación fue producir

un material que reuniera las siguientes características: plasticidad, secado sin agrietamientos y una buena consistencia al ser quemado en el horno por primera vez (bizcocho). Las técnicas que se aplicaron en la pasta de papel: raku occidentalizado, torno y extrusión obteniendo una cocción a baja temperatura, color blanca, con resultados de mediana porosidad, no vítrea y de baja contracción, las limitaciones del material se dan al producir con grandes cantidades de papel obteniendo fragilidad y ligereza en las piezas. En la Figura 10 se observa el proceso que se siguió para la producción de la pasta de papel. El proceso de evaluación de material se llevó a cabo por medio de someter el material a los diferentes procesos de conformación utilizados en el taller de cerámica.

Figura 10

Resultados de pasta con papel



Nota. Proceso de elaboración de izquierda a derecha superior triturado, hidratación, placas de prueba, de izquierda a derecha inferior técnica de placa, modelado por moldes de yeso y modelado manual. Katery 2017.

Garcia (2017) integra papel a una pasta comercial que se utiliza dentro de las clases de la Licenciatura en Artes Plásticas de la UABC, siendo esta práctica la primera en la región relacionada a una institución educativa que estimula la integración de residuos al desarrollo de productos cerámicos, sin embargo no existe un registro riguroso de la metodología implementada.

A nivel nacional se implementó ceniza de bagazo de caña de azúcar en la elaboración de una pasta cerámica, el porcentaje que logró estabilizar la pasta fue de 20% sustituyendo la arcilla bajo una temperatura de cocción de 900° C durante 6 horas. La metodología incluyó ensayos de atterberg con la norma ASTM D4318-10e1, contracción lineal norma ASTM C 326-03, absorción de agua y porosidad aparente norma ASTM C 373-88. Los valores de resistencia a compresión se obtuvieron de acuerdo con lo que dispone la norma ASTM C 773-88. La integración de residuos de ceniza de caña incrementa las fuerzas de fricción entre las partículas de arcilla, lo que favorece la reducción de la plasticidad de la mezcla (Banda-Castro, Pinto-Martínez, Cruz-Castillo 2018).

La metodología implementada consistió en la obtención, acondicionamiento, caracterización de los materiales para determinar la composición química por los métodos: gravimétrico, digestión total/lecturas de I.C.P. óptico y volumétrico. También se incluye la forma de sus partículas por medio de un microscopio electrónico de barrido. Elaboraron mezclas partiendo de la sustitución de arcilla por diferentes porcentajes de cenizas de bagazo de caña de azúcar de 0 hasta 50%. Posteriormente se determinó el límite líquido, plástico y contracción. Se determinó el porcentaje de sustitución de la ceniza de bagazo de caña del 20% con una cocción a 900° C durante 6 horas.

Fabricaron y caracterizaron probetas conformadas por extrusión manual empleando moldes de PVC y yeso, la cocción fue durante 24 horas de frío a frío a 900°, 1000° y 1080° C en horno eléctrico a velocidad de calentamiento de 15° C/min. La contracción lineal se realizó bajo la norma ASTM C 326-03. La absorción de agua y porosidad aparente se analizó bajo la norma ASTM C 373-88 y la resistencia a compresión se realizó bajo la norma ASTM C 773-88.

Para finalizar se elaboraron tazones sustentables por medio de la técnica de conformación por torno sometiendo las piezas a una cocción de 900° C durante 6 horas. Los resultados fueron piezas porosas por lo que fue necesario aplicar esmalte.

En dicha investigación se determinó que la ceniza tiene bajas concentraciones de agentes fundentes, pero son mayores a las que se encuentran en la arcilla (ARC), lo que puede favorecer el proceso de cocción. Las aportaciones de este trabajo se encuentran en la disminución en el consumo de materiales finitos como los feldespatos sustituyendolos por un residuo. El aditivo residual funge como un antiplástico dando soporte estructural previniendo deformaciones durante el secado y la cocción, esta investigación es la más cercana a la aplicación que se desea dar ya que está enfocada en la fabricación de objetos cerámicos no estructurales y más bien artesanales. Es importante mencionar que los procesos documentados en esta investigación permiten replicar el proceso, la mayoría de las investigaciones entre los ceramistas se realizan de forma intuitiva y obteniendo resultados interesantes, sin embargo la falta de documentación de los procesos y seguimiento de normas impiden profundizar y replicar el método. En contraste a lo anteriormente mencionado nos encontramos con que las normas utilizadas requieren de instrumentos de medición que no son accesibles para los ceramistas y requerirían de servicios externos para poder replicarlos.

A nivel internacional se han realizado investigaciones relacionadas a la aplicación de cáscaras de plátano a la formulación de una pasta cerámica encontrando que es un sustituto parcial del feldespato. Las propiedades físico-cerámicas en las probetas preparadas con 5% de harina de cáscara de plátano obtuvieron mejores resultados (Sánchez-Zúñiga et al., 2020).

La metodología implementada inició con la recolección y limpieza de los desechos de la zona productora de plátano para secar durante 6 horas a temperatura ambiente y posteriormente en un secadero por 48 horas o hasta peso constante en un ambiente de 105°C posterior a esto las muestras fueron molturadas hasta alcanzar un tamaño menor a 5 mm. Finalmente, se calcinó para producir cenizas, basados en las normas ISO 2171 [19] y la NTC 282 [20], para cocción a 550±10°C a 900±25°C. Las probetas que realizaron fueron preparadas acorde a las fórmulas utilizadas por el gremio en su zona con medidas de 10 cm de largo por 6 cm de ancho y 0,6 mm de alto a las cuales les denominan muestras patrón, estas sirvieron como grupo de control para los resultados de los ensayos

que se hicieron en las mezclas denominadas prototipos. La constitución de las muestras patrón fueron de 80% arcilla, 16% feldespatos, 2% rotura cocida, 1% de caliza y 1% de rotura cruda. A partir de lo anterior, se diseñaron mezclas prototipo reduciendo el feldespatos en diferentes concentraciones para reemplazarlo con harinas o cenizas de la cáscara de plátano.

Se realizaron 10 probetas para someter a ensayos físicos cerámicos por medio de prensado tomaron medidas de peso y longitud en crudo, después, se llevaron al secado por 24 horas o hasta peso constante a una temperatura de 105°C las probetas se trasladaron hasta una planta de producción de baldosas cerámicas esmaltadas, sometiéndose a monococción por 40 minutos, hasta alcanzar una temperatura máxima de 1140°C y sosteniéndose durante 3 minutos, se les determinó datos promedios de las características en cocido, el porcentaje de contracción en cocido, la absorción de agua con la norma NTC 4321-3 y resistencia a la flexión de acuerdo a la norma NTC 4321-4 unido a esto se determinó el peso específico mediante el ensayo de porosimetría por intrusión en mercurio. Se realizaron análisis por difracción por Rayos X, fluorescencia de Rayos X, microscopía electrónica de barrido, resistencia a la flexión, composición química, composición mineralógica.

Se identificó un estudio enfocado en la implementación de las aguas residuales con la finalidad obtener una pasta cerámica cuyas propiedades físicas y mecánicas fueran mejoradas. La metodología que implementan se basó en tres momentos, el primero fue la recolección y caracterización físico y química de los biosólidos y las arcillas. Para lograr la trituración y tamizaje de las muestras se llevó a cabo una combustión controlada de los lodos a una temperatura de 550 °C con estas muestras identificaron la composición mineralógica por espectrofotometría de fluorescencia de Rayos X (Molina et al., 2019).

En la segunda fase se seleccionaron porcentajes de las adiciones de 5, 10, 15, 20 y 30 % de lodo secos y lodos calcinados, con los cuales se elaboraron 60 matrices de las cuales 6 matrices no contenían lodos residuales para comparar los resultados. Las dimensiones de las matrices fueron 5 cm de ancho, 5 cm de alto, 10 cm de largo y un peso promedio de 0,36 kg de peso utilizadas para productos de la construcción como ladrillos.

La hidratación de las mezclas se llevó a cabo de dos formas, la primera durante 24 horas y la segunda manteniendo el aire saturado de agua regulando con la intención de mejorar la trabajabilidad,

asentamiento y fluidez. Las medidas de plasticidad se realizaron por el método de límites de Atterberg indicaron un límite líquido de 58 y 30 %, límite plástico de 29 y 25 % y un índice de plasticidad de 29 y 5% para arcilla y biosólido calcinado respectivamente. El secado se realizó en temperatura ambiente a 40°C durante 24 horas.

Para eliminar materia orgánica se mantuvo el horno a 700°C durante una hora, posteriormente se elevó a 800, 900 y 1000 °C en una mufla. Para determinar las características físicas y mecánicas de las matrices cerámicas se utilizó la norma NTC-4017 para mampostería estructural y no estructural en Colombia. algunas de las pruebas que se realizaron fueron granulometría, contracción lineal y porosidad.

Las investigaciones anteriormente mencionadas son las que más se acercan a uso que se le pretende dar al material, sin embargo es importante precisar que la tendencia de las investigaciones se encuentra inclinada hacia la formulación de materiales cerámicos para el desarrollo de productos de la construcción, tal y como se puede observar en la figura 11. Según lo encontrado en el repositorio de investigaciones SciELO, entre los productos encontrados están losetas , tejas , cementos, ladrillos y blocks a continuación se presenta la figura 11 compuesta por una red en torno a la investigación de pastas cerámicas con diversas aplicaciones.

Figura 11

Red de investigación sobre materiales cerámicos y residuos



Nota. La red se encuentra dividida por tipos de aplicación a través del color, se asignó el negro a aquellas con mayor afinidad a las pastas cerámicas para el desarrollo de piezas decorativas, el naranja para la construcción y el naranja fuerte aquellas que llevan un acabado vidriado como la loseta y azulejo. (Fuentes Molina, N., Isenia León, S. A., y Ascencio Mendoza, J. G., 2019) (Cruz Fabián, D. R., Meza, O., y Jiménez, V. 2018) (García Martínez, K. M., y Garone Gravier, M. 2017) Gallego Schmid, A. (2014). Lázaro, C., Ramón Trilles, V., Gómez, F., (2012). Ayala Esparza, M. A., y Pullaguari Puente, A. S. (2017). Calle Miñaca, M. R. y Salazar Carrera, P. J. (2015) Fabara Salazar, D. K., y Rodríguez Carrillo, C. P. (2016). Bárbaro, L. (2020). Bedoya Salazar, A., y Valencia González, M. P. (2020). Valencia, N. (2015) Sánchez-Zúñiga, J. V., Sánchez-Molina, (2020). Gaibor, N., (2023). Li, R., Yin, Z., y Lin, H. (2023) Bernardo, E., Elsayed, H., Mazzi, (2022) Terrones-Saeta, J. M., Fortes, (2022). Pranckevičienė, J., y Pundienė, I. (2022). Llopis-Castelló, D., Alonso-Troyano (2022). (Uchegbulam et al., 2022) Younis, M. O., Amin, M., y Tahwia, A. M. (2022). Pescari, S., Budaú, L., Ciubotaru, R., y Stoian, V. (2022). Aguiar, M. C. de, Gadioli, M. C. B., (2022) Mir, N., Khan, S. A., Kul, A. (2022). Robayo-Salazar, R., Valencia-Saavedra, W., (2022). Meena, R. V., Jain, J. K., Chouhan, H. S., y Beniwal, A. S. (2022) Silva, K. R., Menezes, R. R., Campos, L. F. A., y Santana, L. N. L. (2022). Ahmed, M. M., El Naggar, K. A. M., Abadir, M. F., Abbas, W., y Hamid, E. M. A. (2022). Lin, D.-F., Wang, W.-J., Chen, C.-W., y Lin, K. L. (2021). Veiga Simão, F., Chambart, H., Vandemeulebroeke, L., y Cappuyns, V. (2021). Pitarch, A. M., Reig, L., Tomás, A. E., Forcada, G., Soriano, L., Borrachero, M. V., Payá, J., y Monzó, J. M. (2021). Yuan, Q., Mohajerani, A., Kurmus, H., y Smith, J. V. (2021). Zaneli, C., Domínguez, E., Iglesias, C., Conte, S.,

Molinari, C., Soldati, R., Guarini, G., y Dondi, M. (2019). Silva, T. H., Castro, C. M., Valente Neto, F. C., Soares, M. M. N. S., Resende, D. S. de, y Bezerra, A. C. S. (2019). Coutinho, N. C., Loiola, R. L., Paes, H. R., y Holanda, J. N. F. (2019). Silva, A. C. M., Castro, F. C., Valente Neto, M. M. N. S., Soares, D. S. de Resende, y Bezerra, A. C. S. (2019). Carretero Ayuso, M. J., y García Sanz-Calcedo, J. (2018) Da Silva, R. G., y Da Silva, V. P. (2017).

En la figura 11 se identificaron los residuos implementados y su aportación a las mezclas en torno a plasticidad, refractariedad, fundencia, porosidad y resistencia mecánica a fin de identificar los residuos implementados y las posibilidades de integrarlos en la formulación de una pasta cerámica. En dichas investigaciones los residuos industriales son los residuos que predominan, principalmente los residuos provenientes de la industria cerámica así como los residuos generados en la construcción. Por otra parte se encuentran los residuos orgánicos como la cáscara de arroz, cáscara de plátano, bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacahuete, papel y lodo. En la tabla 6 se identificó algunas de las aplicaciones de los residuos acorde a sus propiedades plásticas, anti plásticas, refractarias y fundantes. Los residuos orgánicos son los menos investigados siendo esta línea de interés para posteriores investigación y aportar al campo de los biomateriales, sin embargo la arcilla de Mexicali no es utilizada en la fabricación de piezas cerámicas y se desconoce sus propiedades por lo cual es prioritario someterla a pruebas que permitan caracterizarla, identificar sus propiedades físico cerámicas y determinar los materiales comerciales que puedan estabilizar con el objetivo de realizar futuras investigaciones de sustitutos en la rama de los biomateriales cerámicos.

Tabla 6

Residuos implementados en la formulación de pastas cerámicas

Antiplásticos		Plásticos	
Refractario		Fundente	
Minerales	Residuos orgánicos	Minerales	Residuos orgánicos
Sílice	Cascarilla de arroz	Fosfato tricálcico	Huesos
Cuarzo	Musgo	Fosfato tricálcico Calcita	Huesos quemados
Arenas síliceas	Sílex triturado	Dolomita	Conchas
		Feldespatos	Tallo de cereales

Nota. Los materiales que se muestran en la tabla fueron identificados en base a investigaciones enfocadas al uso de residuos orgánicos.

Según las investigaciones enfocadas a los residuos orgánicos se determinaron los métodos a investigar para llevar a cabo esta investigación y posteriormente elegir acorde a los recursos y equipo disponible los métodos a implementar. El método predominante utilizado para la evaluación de las plasticidades es el de Atterberg, otra variable a medir es la contracción lineal. Para determinar la temperatura de cocción de las piezas se someten a diversas temperaturas, en este caso el enfoque es a la generación de un sustituto para las prácticas de laboratorio que se llevan a cabo a temperaturas bajas a cono 04 y 06. En base a esto se establecen los métodos a investigar en el marco conceptual con la finalidad de identificar los términos predominantes en la investigación a realizar así como la metodología a implementar.

4.1. Métodos para la evaluación de pastas cerámicas

La evaluación de los materiales cerámicos se puede realizar bajo diferentes enfoques, acorde a los materiales y herramientas disponibles bajo el contexto del proyecto de investigación. Por una parte la comunidad científica desarrolla investigaciones sobre materiales bajo métodos aceptados aplicando el método científico, el cual parte de una serie de pasos bajo teorías, leyes, normas y ensayos de laboratorio que permiten estandarizar procedimientos y replicarlos en otros lugares bajo las mismas condiciones, todo esto con la finalidad de tener datos confiables como los que proporcionan la difracción de Rayos X, Método Atterberg, microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales cerámicos, que estaremos abordando en este capítulo. La ciencia es empírica y permite describir los hechos reales de forma detallada haciendo uso del método científico pues este permite obtener resultados lógicos comprobables.(Benítez, 2020), dichos procesos requieren en su mayoría de equipos y materiales que no son de fácil acceso para el ceramista, lo que lo aleja de la ciencia y le hace guiarse por su experiencia. De Hoyos (2020) no duda en recurrir a Aristoteles para indicar que fue él quien estableció la diferencia entre ciencia y experiencia: para él, la ciencia es el conocimiento de lo universal, que es demostrable y válido para todos; mientras que la experiencia es el conocimiento de lo particular, circunstancial, para casos específicos de una determinada realidad.

Unido a lo anterior y distante al proceso científico riguroso, se encuentran los ensayos organolépticos basados en la experiencia y las competencias de la persona que las lleva a cabo, el procedimiento consiste en manipular el material y observar su comportamiento registrando de manera cualitativa los resultados, son fundamentalmente estáticos y cualitativos ya que se reducen a comparar el aspecto de las muestras así como a determinar las propiedades. Estos procedimientos son sencillos pero eficaces, no requieren de equipos sofisticados y costosos, en el caso de los materiales cerámicos se encuentran los análisis de plasticidad, contracción lineal y deformabilidad que analizaremos en este apartado.

4.2. *Técnicas para la caracterización de arcillas*

Los métodos científicos de ensayos e investigación se dividen en tres campos: investigación, desarrollo y control (Singer et al., 1979), las técnicas de caracterización se encuentran dentro del campo de investigación pura, enfocada en la naturaleza de los materiales cerámicos así como la relación natural y causa de sus propiedades. En este campo se encuentran los análisis mecánico o granulométrico que incluyen los análisis de tamizado, sedimentación, centrifugación, Difracción de Rayos X, análisis óptico, térmicos, químicos, racional Morales (2005).

El campo de desarrollo se enfoca en las características de los materiales a un fin deseado, por último en el campo de control se comprueban las propiedades de los materiales, procesos y productos. En esta etapa las pastas cerámicas se someten a los procesos de conformación de los productos a desarrollar comprobando su eficacia, en caso de que no se obtengan resultados favorables se realizan ajustes a las formulaciones.

La caracterización fisico-químico tiene un valor práctico e industrial más que teórico, se enfoca en la aplicación, los resultados no dan valores absolutos y los resultados están influenciados por la forma de ejecución práctica del operador y condiciones ambientales. Estas pruebas tienen un enorme importancia para el empleo de las materias primas, las características de mayor interés son la fluidificación, plasticidad y refractariedad Morales (2005).

4.2.1. *Difracción de Rayos X*

La caracterización mineralógica de las arcillas en polvo o calcinadas se puede realizar mediante la técnica de difracción de Rayos X (DRX), con el fin de identificar y cuantificar las fases cristalinas arcillosas y no arcillosas así como determinar los principales grupos funcionales (Cáceres et al., 2021). Durante el procedimiento se hace incidir un haz de Rayos X sobre un sólido, variando el ángulo para medir la intensidad de los rayos reflejados. Se puede realizar mediante el método denominado de identificación, comparando el espectro de difracción de la muestra desconocida con el de una conocida (Cáceres 2021).

La composición mineralógica es muy importante para la formulación de pastas cerámicas, es un factor determinante en la selección de los materiales arcillosos con el fin de obtener las propiedades deseadas, tales como: contracción en cocido, absorción de agua, coeficiente de expansión

y contracción, color en cocido, resistencia a la flexión, entre otras (Chin et al., 2017; Selmani et al., 2015, como se cita en Cáceres et al., 2021).

4.2.2. Fluorescencia de Rayos X

La caracterización química de las muestras de polvo de arcilla se puede realizar mediante la técnica de fluorescencia de Rayos X (FRX) se utiliza para la caracterización química de muestras de arcilla en polvo con la finalidad de obtener un análisis cuantitativo de los componentes químicos. El procedimiento consiste en exponer una muestra a Rayos X con el fin de obtener un espectro de Rayos X emitido por la muestra. Esta radiación afecta a los electrones más cercanos al núcleo provocando un aumento de energía entre ellos, lo que genera que los electrones cambian a un orbital más alejado del núcleo o que abandonen el átomo; por consecuencia, queda una vacante en el interior del átomo, el cual es ocupado por un electrón que se encuentre en un nivel de mayor energía, este electrón perderá energía mediante la emisión de un Rayo X característico (Cáceres et al., 2021).

4.2.3. Granulometría

Análisis mecánico o granulométrico tiene como objetivo separar los materiales respecto a las dimensiones de las partículas y sirve para el proceso de molienda. Puede realizarse por medio de tamizado lo que implica utilizar tamices de 0,1 mm y puede llegar hasta 0,5 mm. La prueba consiste en pasar el material por diferentes mallas gradualmente decrecientes y determinar el residuo en cada tamiz pensándolo (Morales, 2005). Si la mayor parte del material pasa el tamiz de 18 mallas por pulgada es improbable que el material contenga mucha sustancia arcillosa. Un material con menos de 3% en el tamiz de la malla 200 y de 0,5% sobre el tamiz de 325 mallas (EE.UU.) tiene un grano fino y adecuado para artículos de calidad selecta.

Otro método es la sedimentación del material, en este caso se determina la magnitud de una partícula en suspensión en un líquido, en relación con la velocidad de caída o de sedimentación por acción de la gravedad. Esta prueba es comúnmente utilizada para diámetros de 0,05 y más abajo a 0,002 porque el proceso de tamizado pierde eficacia a partir del primer límite (0,05). Más abajo del segundo límite (0,02) la decantación será demasiado lenta. Estos procesos son realizados en laboratorios de investigación cerámica y rara vez es utilizado en la rutina de control de un taller o

factoría de producción cerámica. Con este método se logra identificar las fracciones más finas de aquellas partículas de radio inferior a una micra Morales (2005).

4.2.4. Límites de Atterberg

La plasticidad también puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. , 1975).

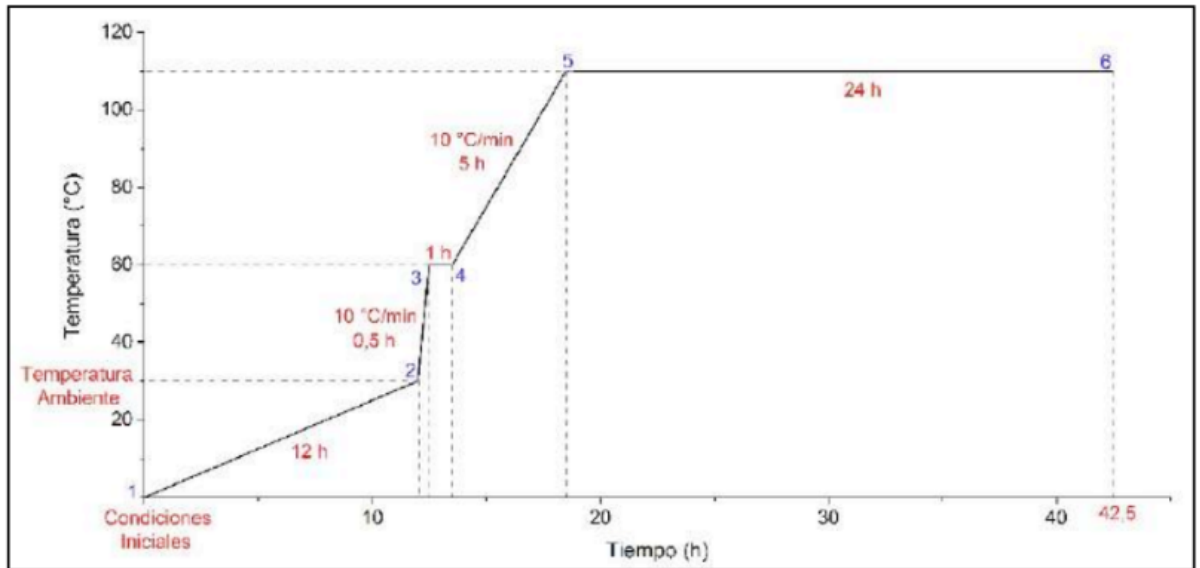
Las pruebas que se realizan por este método tienen el objetivo de conocer las características de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla Núm.0.425, cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos (Fernández, 1962a).

4.2.5. Contracción lineal

La contracción lineal es un parámetro de calidad que se realiza para el secado y la cocción de las piezas cerámicas. Los valores pequeños de contracciones son indicios de que la pieza es porosa, por otra parte los valores de contracción alto indican que el material obtenido es de baja porosidad y alta densidad y es probable que presente agrietamiento y una baja resistencia mecánica (Amorós et al., 2004 como se cita en (Cáceres et al., 2021) el procedimiento es el siguiente, se toman las 10 probetas destinadas para el análisis físico cerámico en estado húmedo y se le miden la longitud usando un calibrador pie de rey de 0 – 200 mm con precisión de 0,01 mm. Posteriormente las probetas se secan de acuerdo a la curva de secado de Bigot que se muestra en la Figura 12, pasado este tiempo se mide nuevamente la longitud de las muestras en estado seco. El porcentaje de contracción lineal en secado (% CLS) de las muestras, se determina usando la ecuación 1.

Figura 12

Obtención de datos para curva de bigot



Nota: Curva de secado de Bigot valores 1 al 6 tienen el siguiente significado: (1) Condiciones iniciales, (2) Temperatura ambiente, (3) 60 °C Inicial, (4) 60 °C Final, (5) 110 °C Inicial, (6) 110 °C Final.

Ecuación 1

Porcentaje de contracción lineal en secado

$$\%CLS = \frac{\text{Longitud en húmedo (mm)} - \text{longitud en seco (mm)}}{\text{Longitud en húmedo}} \times 100$$

A la medición de una pieza seca a 110°C durante 24 horas se le denomina contracción lineal en secado así mismo, la contracción en cocido se determina por la disminución de las dimensiones generadas después de la cocción de la pieza (Amorós et al., 2004) Valores pequeños de contracciones indican que la pieza es porosa, por otra parte los valores de contracciones altas indican que el material obtenido es de baja porosidad y alta densidad pero que puede presentar agrietamiento y baja resistencia mecánica Abajo (2000).

Para determinar el porcentaje de contracción que sufre una muestra en su estado seco hasta llegar a el estado cocido, también conocido como bizcocho entre los ceramistas, se lleva a cabo un ensayo de contracción lineal en cocido. El procedimiento consiste en tomar 10 probetas en estado seco y se miden la longitud usando un calibrador pie de rey de 0 – 200 mm con precisión de 0,01mm;

posteriormente las probetas se cuecen de acuerdo a la curva de cocción establecida, pasado este tiempo se mide nuevamente la longitud de las muestras en estado cocido. El porcentaje de contracción lineal en cocido (% CLC) de las muestras, se determina usando la ecuación 2 . Amorós et al., 2004 como se cita en (Cáceres et al., 2021)

Ecuación 2

Contracción lineal en cocido

$$\%CLC = \frac{\text{Longitud en seco (mm)} - \text{longitud cocido (mm)}}{\text{Longitud en seco (mm)}} \times 100$$

Por otra parte Vázquez (2005) menciona el procedimiento para preparar placas de pruebas para determinar la contracción, los pasos son los siguientes: 1) pesar los materiales de acuerdo a la fórmula correspondiente, 2) mezclar los materiales en seco, 3) hidratar la mezcla perfectamente y amasar en placa de yeso hasta obtener una pasta que no se pegue a las manos y esté libre de aire, 4) elaborar las placas de pruebas de acuerdo a las dimensiones establecidas 15 x 3 x 1 cm. Las placas pueden modelarse manualmente auxiliándose de rodillos, o por medio de moldes de yeso. 5) marcar la línea de encogimiento una vez que la placa esté terminada, trazando una línea recta atravesada por dos líneas perpendiculares equidistantes una de otra 100mm, esta línea sirve para medir la contracción de secado o de quema de la pasta. Los 100 mm se determinaron de tal manera que la diferencia de mediciones nos proporcione directamente el porcentaje de contracción; por ejemplo, si la línea mide 87 mm el encogimiento por diferencia será del 13%. 6) Secar las probetas colocándolas sobre una placa de yeso de manera que los pandeos naturales que se pueden presentar durante el secado traten de evitarse, por lo cual se recomienda poner una placa sobre otra, acomodándolas para que pueda fluir el aire entre ellas. 7) Pulir las probetas si se desea. Para no correr el riesgo de deformarlas, es mejor hacer este procedimiento cuando se encuentran libres de humedad. 8) Quemar a la temperatura establecida, introduciendo las placas al horno solamente hasta que se hayan secado totalmente.

La autora también menciona que en la contracción lineal puede obtenerse del trazo de una línea en estado de cuero aunque la dimensión no sea de 100 mm, en dicho caso se debe utilizar la siguiente fórmula: porcentaje de contracción = [(Medida inicial - Medida final) / Medida inicial] x

4.2.6. *Análisis térmico diferencial*

Para estudiar las propiedades de una muestra con los cambios de temperatura se realizan análisis térmicos, los más comunes son análisis térmico diferencial (DTA), calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA), dilatometría (DIL). Estos análisis permiten medir con precisión los cambios de dimensión de los sólidos, materiales fundidos, polvos y pastas en un cambio de temperatura programado. La interpretación de las curvas dilatómetricas permiten realizar una programación de cocción acertada Cáceres, (2021).

La interpretación de las curvas dilatómetricas permiten programar curvas óptimas de cocción, y así obtener productos bien densificados y de esta manera mejorar las propiedades fisicoquímicas del material. Así mismo, el comportamiento dilatómetrico permite fijar en forma las contracciones y expansiones que sufrirá el material, y por ende, establecer las dimensiones del producto a diseñar Cáceres, (2021).

4.3. *Técnicas organolépticas*

Las técnicas organolépticas se basan en los sentidos para interpretar datos principalmente a través del tacto y la vista, en este apartado se abordarán las técnicas comúnmente utilizadas por los ceramistas: Cordón en forma de cola de cochi, cordón en forma de moño y aro para determinar la plasticidad. Contracción lineal y deformabilidad por medio de placas de pruebas sometidas a cocción Fernández Chitti (1962, 2007 a, 2007b, 2007 , 2024), Vázquez (2005) Mainero (2020).

4.3.1. *Plasticidad*

Cuando se encuentra un depósito de arcillas se realizan ensayos previos y así determinar sus posibles usos. La textura de la arcilla cruda es útil cuando es blanda con lo cual se puede apreciar la finura del material al tacto, sin embargo es común que presenten masas duras que requerirán un proceso adicional de molienda antes de determinar su plasticidad. La plasticidad se puede determinar agregando agua gradualmente por amasado a mano con la arcilla pulverizada y haciendo una estimación de plasticidad bajo los parámetros nula, pobre, mediana, buena y excepcional (Singer et al., 1979). El comportamiento plástico de un material depende de las condiciones en las que se

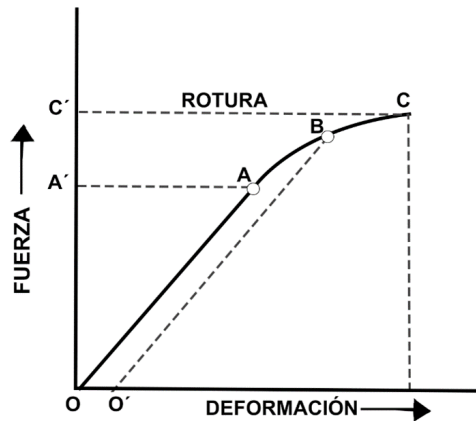
aplique la fuerza deformadora (dirección y velocidad) así como de la cantidad de agua que contiene la mezcla por lo tanto para evaluar este comportamiento es necesario aplicar una fuerza con una dirección y velocidad constante (Ginés et al., 1997b).

En la figura 13 se muestra el comportamiento de un material al ser deformado por la acción de una fuerza creciente, se puede observar como la deformación es lineal a la fuerza aplicada y, una vez que llega a el valor f (Esfuerzo crítico de fluencia), la deformación deja de ser proporcional a la fuerza y el material puede ser deformado con mayor facilidad. Una vez que cesa la acción deformadora el material no regresa a su estado inicial por lo cual mantendrá la deformación plástica. En caso de que se continúe aplicando fuerza hasta alcanzar una deformación máxima (d), se procederá a la rotura del material. En estas bases se fundamentan la mayoría de los ensayos de plasticidad que estaremos abordando en este apartado y que se enfocan en determinar el comportamiento plástico de los materiales. Para la evaluación de una pasta cerámica se considera que es más plástica aquella que soporta más deformaciones sin agrietarse o romperse, lo que permite trabajar más fácilmente el material al que se le denomina rango de trabajabilidad.

El primero que demostró que para toda clase de acciones exteriores existe una proporcionalidad entre la acción deformadora y la deformación producida, mientras que no pase de determinado límite, fue Hooke por medio de la experimentación. Según la ley de Hooke si se representa por medio de una gráfica los alargamientos (tomados en abscisas) que experimenta un hilo por la aplicación de fuerzas deformadoras variables (en ordenadas), resultando una curva ABC como la que se muestra a continuación.

Figura 13

Curva deformadora de una arcilla



Nota. Diagrama obtenido de plasticidad de las arcillas (Fernández, 1962b).

El comportamiento de los cuerpos plásticos se encuentra entre el estado sólido y el líquido viscoso, para evidenciar el estado plástico se ejerce una fuerza de presión, a diferencia de un líquido el cual fluye inmediatamente con una velocidad proporcional a la presión aplicada, el cuerpo plástico queda inmóvil al principio como un sólido, pero al alcanzar la presión un valor crítico, comienza a deformarse y comportarse como un líquido fluyendo con velocidad proporcional a la presión (Fernández, 1962b).

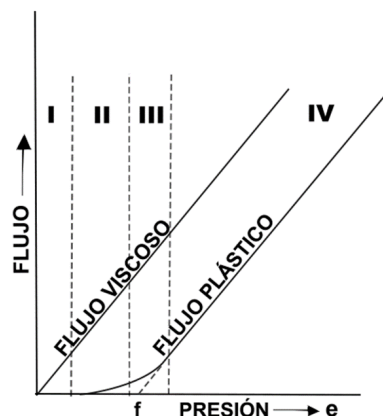
Scott Blair y Bingham identificaron cuatro etapas del comportamiento de la extrusión de una masa plástica de arcilla: Zona I no existe flujo alguno por aplicación de una presión. Zona II Al rebasar un cierto punto crítico se presenta la deformación en toda la masa de arcilla que comienza deslizarse por la acción lubricante de una película de agua.

Zona III Al continuar aplicando más presión, se comienzan a desplazar las partículas laminares de la arcilla a esto se le denomina flujo mixto.

Zona IV El desplazamiento total entre las partículas de arcilla llega y da lugar un flujo lineal que puede ser comparable al flujo viscoso de un líquido verdadero.

Figura 14

Etapas del comportamiento de extrusión de una masa plástica.



Nota. Elaboración propia basado en Fernández,(1962).

Al rango de plasticidad en el cual se puede dar forma a las pastas cerámicas se les denomina rango de trabajabilidad. Este término se utiliza para referirse a la capacidad de una pasta para ser modelada y esta dependerá no solo de su plasticidad, si no de la técnica que se desea utilizar para dar forma, ya que, para elaborar piezas por prensado requerirá menos plasticidad que al desarrollar piezas por técnicas tradicionales. La trabajabilidad sería, pues, un punto óptimo de plasticidad, ni excesivo ni deficiente, para determinada técnica de fabricación de piezas.

Para determinar si un material es arcilloso es común realizar pruebas de plasticidad a través del sentido del tacto, en la página de internet Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2025) se describe una prueba de manipulación en la cual se toma una muestra de suelo y se moja un poco en la mano hasta que sus partículas comienzan a unirse, posteriormente se amasa la hasta formar una bola de 3 cm de diámetro. Se procede a dejar caer la bola, si mantiene su forma se procede a realizar un cilindro de 6 a 7 cm, de longitud, se determina que es un material arenoso franco en caso de no mantener la forma, en cambio si mantiene la forma se continúa modelando hasta llegar a una longitud de 15 a 16 cm, en caso de que se deforme indica que se trata de un suelo franco arenoso.

El procedimiento continúa doblando el cilindro hasta formar un semicírculo, de no ser posible se identifica como suelo franco; si puede, se continua hasta formar un círculo cerrado en caso de que no sea posible esto indica que se trata de un suelo franco pesado. Si se logra dar la forma de aro y

en este se forman ligeras grietas se trata de arcilla ligera ver figura 15. En caso de que se logre el círculo sin agrietamiento es muestra de un suelo arcilloso.

Figura 15

Representación de resultados de plasticidad por aro



Nota. Elaborado por Aguirre 2023

Aunque el procedimiento mencionado anteriormente es comúnmente utilizado en campo por ingenieros civiles y arquitectos, este tipo de pruebas también es comúnmente utilizado en la formulación de pastas cerámicas. Malagón (2005) menciona el uso de técnicas accesibles para el ceramista y que siempre su mejor comprobación será la manipulación directa del material pellizcando, amasando y estirando, etcétera. La técnica más común es la llamada cola de cochino que consiste en hacer un churro de pasta y enrollarlo en el dedo, si el material resiste bien, se considera que es plástico en cambio si éste se quiebra se considera de poca plasticidad.

Figura 16

Pasta enrollada en forma de cola de cochino



Nota. Resultados de la prueba Por Vázquez (2005)

En la empresa Ceramicolor de Tonalá Guadalajara, Jalisco realizan pruebas de plasticidad muy similares generando un cordón alargado sin dimensiones específicas al cual le dan la forma de un moño curvando el cordón, ver figura 17, en caso de que este se rompa o se agriete es considerado un material de poca plasticidad y proceden a agregar materiales que mejoren su plasticidad.

Figura 17

Pasta enrollada en forma de cola de moño



Nota. Elaborado por Ana Aguirre 2023

Las pruebas de plasticidad utilizadas por los ceramistas son acertadas y su aplicación constante comprueban su factibilidad de uso, aunque carecen de especificaciones son procesos que le han permitido desarrollar sus productos, existe un área de oportunidad en la estandarización de estas pruebas de plasticidad diseñando instrumentos de medición que permitan su estandarización y acercamiento al proceso científico, es elemental darle la validez a estos procedimientos por medio de instrumentos de fácil acceso que permita su réplica y generar datos confiables y fáciles de interpretar entre los ceramistas.

4.3.2. Contracción

La contracción de las arcillas durante el secado depende de la plasticidad y cantidad de agua empleada al amasarla, la cual al retirarse genera porosidad y pérdida de volumen por aproximación de los distintos granos. Así mismo la contracción que se da durante la cocción dependerá de la naturaleza

de la pasta, el grado de vitrificación o gresificación Morales (2005). Dentro de los análisis térmicos se encuentra el térmico- dilatómetro (ADT) en donde se analizan algunas de las transformaciones que ocurren durante la cocción cerámica, estas provocan la formación de sustancias con diferente densidad, lo que provoca variaciones dimensionales del cuerpo cerámico por efecto del calentamiento, durante el enfriamiento se verifica contracción Morales (2005). Identificar la contracción lineal de una pasta cerámica permite determinar las dimensiones del objeto a elaborar, esto es elemental cuando se trata de obtener medidas precisas para el desarrollo de productos utilitarios.

Seeger y Seguer mencionan que los ensayos de secado y cocción deben realizarse antes de entrar en una investigación detallada, para esto se modelan barras de la muestra y se observan durante el secado y cocción para detectar su contracción, agrietamiento y deformación excesiva así como formación de espumas hinchamiento y color tras la cocción. Lo anteriormente mencionado permite definir si la arcilla puede ser utilizada directamente o es necesario realizar tratamientos o es necesario mezclarla con otras arcillas para mejorarla (1979). El ensayo de contracción lineal en secado se desarrolla con el fin de determinar el porcentaje de la contracción que sufre la muestra desde el estado húmedo hasta el estado seco.

4.3.3. Deformabilidad

Los materiales arcillosos son sometidos a temperaturas superiores a los 1000 °C lo que provoca cambios permanentes e irreversibles, sufriendo modificaciones en su forma, tamaño, estructura y composición. La deformabilidad en una pasta cerámica se da cuando el material no puede seguir conservando su forma debido a la fusión de su estructura, es importante determinar la temperatura máxima a la que puede ser sometida la pasta para evitar deformaciones en la producción. El procedimiento para determinar la deformación consiste en marcar dos muescas a 10 cm de distancia en el costado de la placa de pruebas, la línea de encogimiento puede servir de guía. Las placas se someten a cocción, sostenidas en sus extremos sobre dos soportes que coinciden con las muescas realizadas. Una vez que se hornean se apoyan sobre una regla coincidiendo las muescas que se encuentran marcadas en la placa de pruebas, se procede a medir la perpendicular desde el punto más alejado. Se considera que la temperatura es la correcta si la deformación no es excesiva. En caso

de que exista una deformación se procede a disminuir la temperatura de cocción o reformular la pasta hasta obtener los resultados deseados no hay rangos recomendados y las más de las veces se determina por sentido común

5. METODOLOGÍA

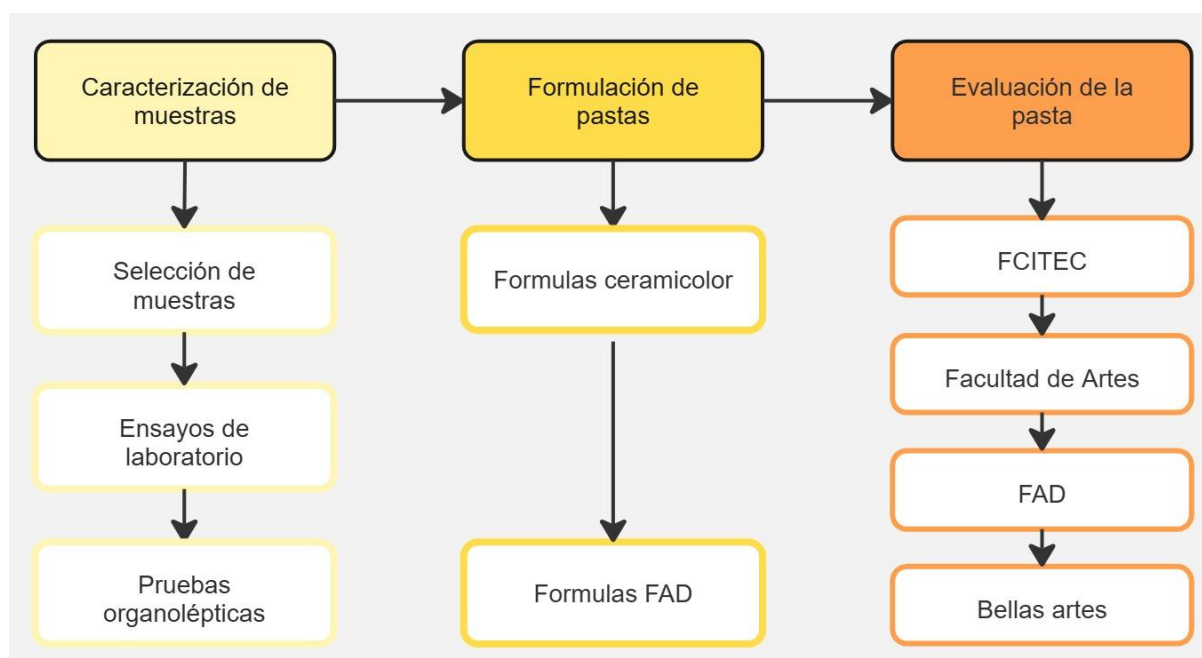
El proceso metodológico se dividió en tres etapas, en la primera se analizaron las muestras de arcilla en su estado natural por medio de pruebas organolépticas y ensayos de laboratorio para determinar aquellas con características apropiadas para los procesos que se desean implementar.

En la segunda etapa se formularon pastas cerámicas a partir de las muestras predominantes y materiales plásticos, antiplásticos y refractarios provenientes de la empresa ceramicolor.

Por último en la tercera etapa se realizó una evaluación de la pasta con expertos en donde se sometió la pasta a los diversos procesos de conformación para determinar si la pasta cumple con los requerimientos de los ceramistas, en la Figura 18 se aprecian cada una de las etapas. En los siguientes apartados se desglosan cada una de las etapas y los procesos implementados,

Figura 18

Etapas de la metodología



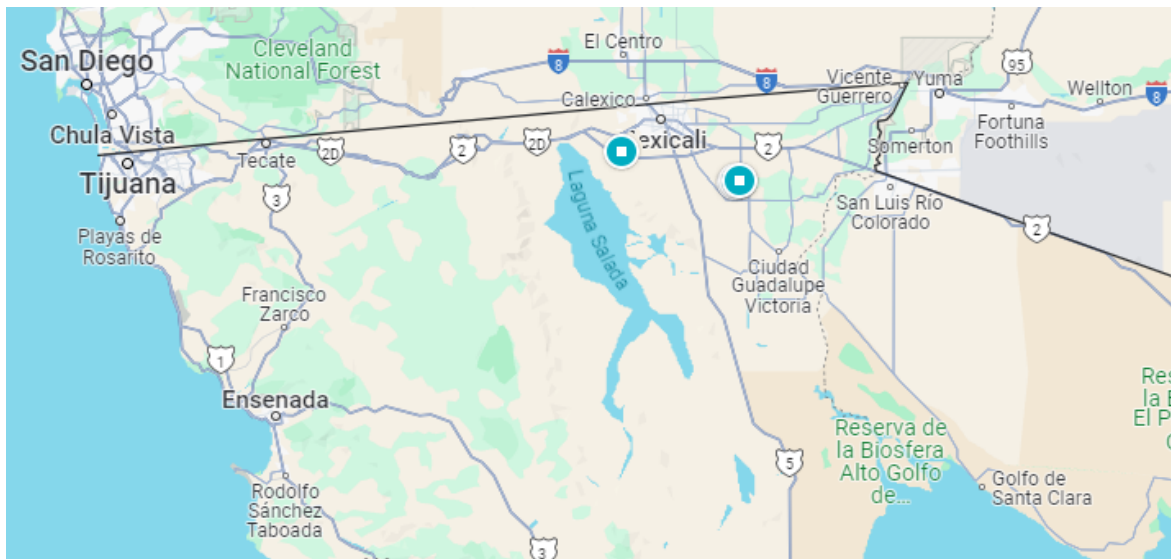
Nota: Etapas de la metodología en amarillo y naranja se destaca en inicio de cada una.

5.1. Objeto de estudio - selección de muestras

La selección de muestras de arcilla forma parte del conjunto analizado previamente en la tesis de maestría “*Caracterización física de arcillas de Mexicali para la elaboración de productos cerámicos*”, dichas muestras fueron seleccionadas tomando en cuenta aspectos como la previa utilización de la arcilla para la elaboración de productos cerámicos como el ladrillo, zonas húmedas o bien cercanas a canales de riego es decir suelos aluviales o fluviales transportadores de agua o bien residuos de conchas y caracoles que evidencian que en algún momento se transportaba agua. En la figura 19 se muestran las zonas de extracción identificadas como suelos de tipo vertisol, en los anexos se muestra el manual de procedimiento utilizado para la actividad.

Figura 19

Zona de extracción



Nota. Obtenido de google maps 2021.

Las zonas de extracción fueron Ejido Chihuahua, de este lugar se extrajeron las muestras 1, 2, 2.1 y de la colonia ladrillera se extrajeron las muestras 3, 3.1, 4 y 4.1 Las extracciones de las muestras se realizaron en el mes de septiembre dentro del periodo del verano cuando las temperaturas de Mexicali no son tan extremas. La preparación de las muestras se llevó a cabo por medio de una disgregación de suelo sobre mesas de laboratorio exponiéndolas a temperatura ambiente para su secado y posterior trituración en molino manual.

5.2. Variables

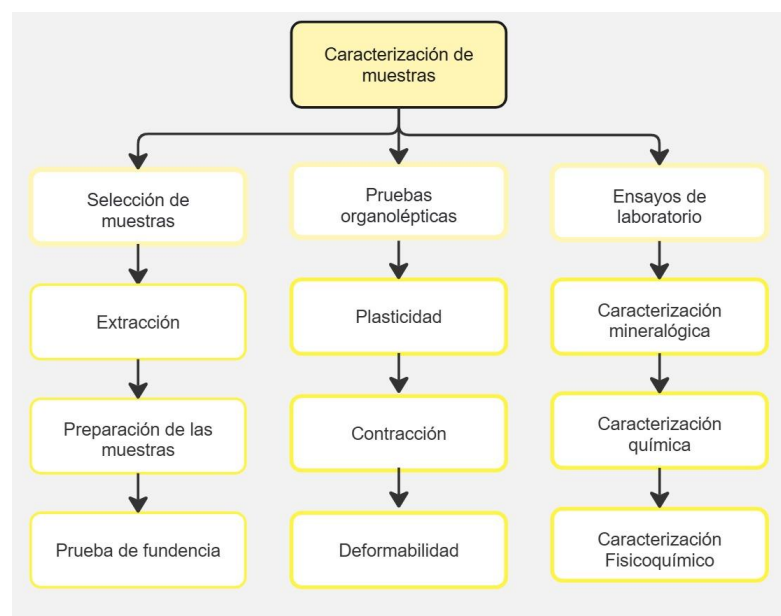
Las variables a analizar son plasticidad, contracción, deformabilidad relacionadas al comportamiento físico cerámico por medio de herramientas de fácil acceso y por procesos fáciles de replicar en los talleres de ceramistas. Los factores controlables temperatura de cocción, porcentajes de materiales plásticos y refractarios en la formulación de pastas con arcillas de Mexicali.

5.3. Diseño del experimento

El objetivo del experimento es conocer y caracterizar nuevos materiales arcillosos para la formulación de una pasta alternativa para la producción de cerámica con fines educativos. La unidad experimental está compuesta por cinco muestras de arcillas M1, M2, M2.1, M3 y M4 mismas que se comparan a fin de elegir la que mejor cumpla con los requerimientos de plasticidad, con un porcentaje de contracción entre 8 y 14% y resistencia térmica para una cocción a cono 04. Ya que los procesos para la caracterización de arcillas y determinar la composición elemental son procesos normados y requieren de equipos sofisticados se decidió enviar las muestras al laboratorio de la Escuela Nacional de Conservación para ser evaluadas por fluorescencia de Rayos X y al instituto de geología de la Universidad Nacional Autónoma de México para la caracterización de las arcillas.

Figura 20

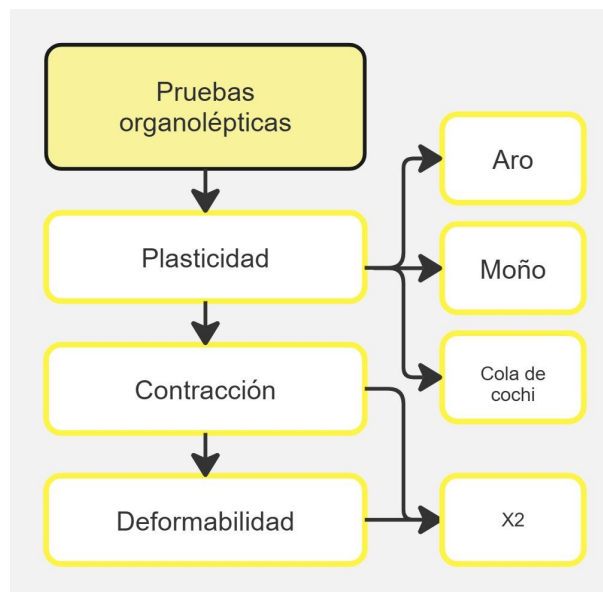
Caracterización de muestras



Con la finalidad de comparar varios instrumentos de medición y verificar si tienen la misma precisión y exactitud se desarrollaron cuatro procedimientos distintos para la evaluación de plasticidad métodos organolépticos aro, moño y cola de cochino. Para la evaluación de la contracción y deformabilidad se repitió dos veces el experimento el primero a una dimensión de 100 mm y el segundo a 50 mm acorde al proceso de la empresa ceramicolor.

Figura 21

Pruebas organolépticas muestras en estado natural



Nota: En la sección de deformabilidad x2 se refiere a que se realizó el procedimiento 2 veces el primero con dimensiones de 5cm y el segundo con 10 cm.

Una vez obtenidos los resultados se plantea la formulación de pastas utilizando materias primas de la empresa ceramicolor en donde se realizó estancia académica para el desarrollo de las fórmulas en base al proceso de la empresa. Con la finalidad de comparar procesos e instrumentos se propone realizar una segunda formulación de pastas en base al diagrama triaxial en el laboratorio de cerámica y vidrio de la FAD, para esta etapa del experimento se diseñaron prototipos de cortadores y soportes para dar forma a las muestras y sistematizar el proceso, unido a esto se redactaron manuales de procedimiento. Una vez obtenida la pasta con mejores resultados se distribuyó en centros educativos para su evaluación y comprobación de eficacia.

5.4. Evaluación comportamiento físico cerámico de arcillas por métodos organolépticos

La evaluación del comportamiento físico cerámico de las muestras en estado natural se llevaron a cabo por pruebas organolépticas comúnmente utilizadas por ceramistas y empresas dedicadas a la formulación de materiales cerámicos. En el siguiente diagrama se muestran las pruebas aplicadas a cada variable y posteriormente se describe cada una de ellas en los siguientes apartados.

Figura 22

Pruebas organolépticas de pastas cerámicas



Los procedimientos fueron realizados en dos momentos primero bajo la guía de un experto en la formulación de pastas cerámicas, el ingeniero Carlos España dentro de la empresa Ceramicolor, posteriormente se aplicó la metodología de Vazquez (2005) con la aportación de instrumentos que permitieron sistematizar los procedimientos.

5.4.1. Plasticidad

Para la evaluación de la plasticidad se llevaron a cabo tres métodos comúnmente utilizados por los ceramistas, estas pruebas son identificadas con nombres coloquiales cordón en forma de cola de cochino, cordón en forma de moño, cordón en forma de aro. Las pruebas se realizaron con las muestras en estado natural integrando agua para generar una pasta plástica, después de que se seleccionaron las arcillas con mayor potencial y mejores resultados se formularon pastas que también fueron sometidas a estos procedimientos de evaluación.

El procedimiento consistió en tomar 100 gr de una muestra de suelo totalmente seca; esta se mezcló con agua que sus partículas comenzaban a unirse, procurando que la muestra no se adhiriera fácilmente a la mano. Las muestras se dejaron en reposo durante 24 horas.

Para identificar las muestras se les asignó una M seguida del número de muestra (M1, M3 y M4) para indicar el número de fórmula se plasmó una F en la parte superior, debajo de este se asignó el número de muestra M1, M3 y M4 respectivamente, en la parte inferior se asignó el cono de cocción.

5.4.1.1. Cordón en forma de cola de cochi

Partiendo de las mezclas plásticas y acorde a la metodología de Vazquez (2005) se procedió a modelar un cordón de 1cm de diámetro con una longitud de 15 cm o más. Una vez que se tenía un cordón de 15 cm se procedió a enrollarlo en el dedo índice para darle la forma de “cola de cochino” y se dejó secar a la sombra. Una vez secas las muestras se verificó si la muestra presentaba agrietamientos, rupturas o si no había sufrido ninguna modificación, dependiendo de su comportamiento se procedió a seleccionar aquella muestra que presentó menos defectos.

5.4.1.2. Cordón en forma de moño

El proceso consistió en modelar un cordón de 1cm de diámetro con una longitud de 15cm para dar forma de moño como se muestra en la figura 17 una vez secas se verificó si la muestra presentaba agrietamientos, rupturas o si no había sufrido ninguna modificación para registrarlo en la bitácora de proceso.

5.4.1.3. Cordón en forma de aro

El procedimiento consistió en modelar un cordón de 1cm de diámetro con una longitud de 32 cm para colocarlo sobre un molde con forma circular y ángulo de salida que permite la elaboración de un aro con un diámetro interno de 10 cm con el cual además de medir la plasticidad se logró identificar el porcentaje de contracción a partir de unas muescas generadas por el soporte. El secado fue al aire libre en un espacio con sombra, una vez secas las muestras se verificó si la muestra presentaba agrietamientos, rupturas o si no había sufrido ninguna modificación, así como la toma de dimensiones internas de la circunferencia a fin de identificar el porcentaje de contracción en seco.

5.4.2. Contracción lineal

La contracción lineal se calculó utilizando probetas acorde a la metodología de Vázquez (2005) con el fin de determinar el comportamiento del material en las fases de estado húmedo, seco y cocido. Este análisis incluye los ensayos de contracción lineal en secado y contracción lineal en cocido. El procedimiento consistió en elaborar placas con cada muestra y cada fórmula a través de un rodillo y una tabla de amasado con dos altos relieves de 1 cm de altura para generar el espesor de las placas, cada placa se elaboró con un molde de 150 mm de longitud con marca lineal de 100 mm en el centro y dos muescas en cada lado coincidentes con los extremos de la línea central. Cada muestra se marcó con un sello para identificarla y se pesó para capturar la información en la tabla de resultados. La medición de las probetas se realizó después del secado, la segunda medición se realizó en bizcocho (después de la primera quema). El porcentaje de contracción lineal en secado (% CLS) de las muestras, se determina usando la

Ecuación 1

Contracción lineal en cocido

$$\% CLC = \frac{\text{Longitud en seco (mm)} - \text{Longitud en cocido (mm)}}{\text{Longitud en seco (mm)}} \times 100$$

Esta prueba también se realizó en la estancia de investigación con la empresa ceramicolor, el proceso consistió en realizar placas entre 9 y 10 cm con una marca de 5 cm de longitud trazada aproximadamente a la mitad de la pieza. El procedimiento se realizó manualmente con una loseta y regla para trazar la línea central, posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente durante una semana y se hornearon a cono 04.

5.4.3. Deformabilidad

5.4.3.1.1. Deformabilidad por secado

La deformabilidad por secado se calculó utilizando las probetas realizadas para la evaluación de contracción lineal conforme a la metodología de Vazquez (2025), para comenzar el proceso de secado

se apilaron las muestras colocándolas sobre una placa de yeso de tratando de evitar los pandeos naturales que se presentan durante el secado, siguiendo la recomendación de la Vazquez 2005 se sobrepusieron las placas unas sobre otras dejando espacio entre ellas permitiendo el flujo de aire entre ellas.

5.4.3.1.2. Deformabilidad por cocción

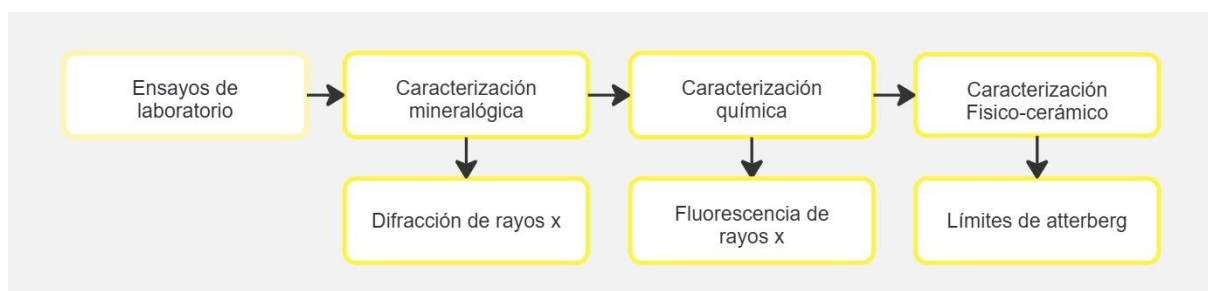
La deformabilidad por cocción se calculó utilizando las probetas realizadas para la evaluación de contracción lineal, acorde a la metodología de Vázquez (2005) se marcaron cuatro muescas coincidentes con las líneas de contracción a fin de determinar el comportamiento de deformabilidad al sobreponer las muescas en dos soportes piramidales dentro del horno. La medición de la deformabilidad se realizó después de la cocción en bizcocho.

5.5. Caracterización de arcillas por técnicas normadas.

Los procesos para la caracterización de las muestras se seleccionaron en base a las tendencias de investigación mostradas en el estado del arte, estos procesos son normados y se realizan con instrumentos, equipo y capital humano especializado, por consecuencia requieren de una mayor inversión. Por lo mencionado anteriormente y los altos costos que esto implica únicamente se enviaron las muestras con mejores resultados en los análisis por métodos organolépticos. Se llevó a cabo una caracterización mineralógica por difracción de Rayos X, caracterización química por fluorescencia de Rayos X y los límites de atterberg para determinar la plasticidad de las muestras, tal como se muestra en la figura 23.

Figura 23

Ensayos de laboratorio para la caracterización de las muestras.



Nota. Elaboración propia

5.5.1. Caracterización mineralógica por difracción de Rayos X

Se contrató al Departamento de Procesos Litosféricos (LANGEM) para realizar el procedimiento de análisis de roca total y la separación e identificación de la fracción de arcilla en el Laboratorio de Difracción de Rayos X con la Dra. Teresa Pi Puig. Las muestras fueron trituradas y etiquetadas para su envío. Para análisis de roca total se realizó el siguiente procedimiento: las muestras se trituraron mediante un mortero de ágata y se tamizaron (<75 micras). Se midieron utilizando un porta-muestras de aluminio de doble carga. Los difractogramas se obtuvieron en un Difractómetro EMPYREAN equipado con filtro de Ni, tubo de cobre de foco fino y detector PIXcel3D, operando a 45 kVA y 40 mA. La medición se realizó en el intervalo angular 2θ de 5° a 80° en escaneo por pasos con un “step scan” de 0.003° (2 Theta) y un tiempo de integración de 40s por paso. La identificación de las fases se realizó mediante el software HIGHScore v4.5 y las bases de datos del ICDD (International Center for Diffraction DATA) y ICSD (Inorganic Crystal Structure Database). La cuantificación se realizó utilizando el método de RIR (Reference Intensity Ratio) implementado en el software HIGHScore v4.5 y las bases de datos del ICDD (International Center for Diffraction DATA) y ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

Para la separación e identificación de la fracción arcilla se realizó el siguiente procedimiento:

A. Separación fracción arcilla (< 2micras) y (<1micra)

1. Se disgregó la muestra y se tamizó utilizando una malla de 1mm (hasta obtener 20g).
2. La muestra (previamente disgregada) se dispersó en agua destilada durante 24h. utilizando una probeta de 1 litro.
3. Se separaron dos subfracciones de la fracción arcilla (menor a 2 micras y menor a 1 micra (Muestra_1) por gravedad aplicando la ley de stockes.

4. Se recuperó la fracción fina y se prepararon los agregados orientados.

B. Preparación de agregados orientados

Para la preparación de las muestras orientadas se pesó 1.0g de cada muestra de arcilla previamente separada y se colocó en un vaso de precipitados pequeño con 15 ml de agua destilada. Se agitó la mezcla manualmente y mediante ultrasonidos de baja potencia. A continuación, se pipeteó la solución en un vidrio redondo etiquetado con el código de la muestra en la parte trasera, mediante una

pipeta automática. Para cada muestra se prepararon tres alícuotas que se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 horas. Se comprobó por pesada que los agregados orientados tenían el espesor necesario para

C. Tratamientos de las muestras de arcilla

1. Un agregado orientado de la muestra se analizó sin tratamiento de 4 a 80° (2theta).
2. El segundo agregado se trató con etilenglicol a 80°C durante 24h y se midió de 4 a 80° (2theta).
3. El tercer agregado se calentó a 550 C° y se midió de 4 a 80 C° (2theta).

D. Medición

Los difractogramas se obtuvieron en un Difractómetro EMPYREAN equipado con filtro de Ni, tubo de cobre de foco fino y detector PIXcel3D. Las muestras se midieron utilizando un porta-muestras de vidrio en fracción orientada, glicolada y calentada. La medición se realizó en el intervalo angular 2θ de 5° a 70° en escaneo por pasos con un “step scan” de 0.003° (2 Theta) y un tiempo de integración de 40s por paso.

E. Identificación

La identificación de las fases se realizó mediante el software HIGHScore v4.5 y las bases de datos del ICDD (International Center for Diffraction DATA) y ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

5.5.2. Caracterización química

5.5.2.1. Fluorescencia de Rayos X

La caracterización química requiere de procesos normados con instrumentos de precisión de difícil acceso y requiere de capacitación especializada por lo cual se enviaron muestras a laboratorios para la realización de las pruebas fluorescencia de Rayos X. La caracterización química se llevó a cabo en el laboratorio de la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO) las muestras M1, M3, 3.1 y M4 se dejaron secar a temperatura ambiente y se trituraron por medio de molino manual, posteriormente se procedió a elaborar probetas de prueba para su cocción a cono 04. Se analizaron muestras en polvo sin cocción y probetas después de cocción en el laboratorio de la

ECRO para ser analizadas por el equipo Analizador Tracer 5 Bruker exponiéndolas durante 20 segundos.

5.5.3. Caracterización físico-cerámica

Para el desarrollo de los ensayos se solicitaron los servicios del laboratorio geoservicios especializados en realizar los procedimientos de granulometría por tamizado y límites de atterberg, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, posteriormente trituradas por molino mecánico una vez obtenidas las muestras en polvo se etiquetaron y enviaron al laboratorio.

5.5.3.1. Granulometría por tamizado

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de partícula de agregados finos y gruesos mediante tamizado con la finalidad de identificar el tipo de suelo. El procedimiento se realizó en el laboratorio de geoservicios, geofísica y geotecnia siguiendo las normas NORMA ASTM C136 Y D2487.

5.5.3.2. Plasticidad Límites de Atterberg

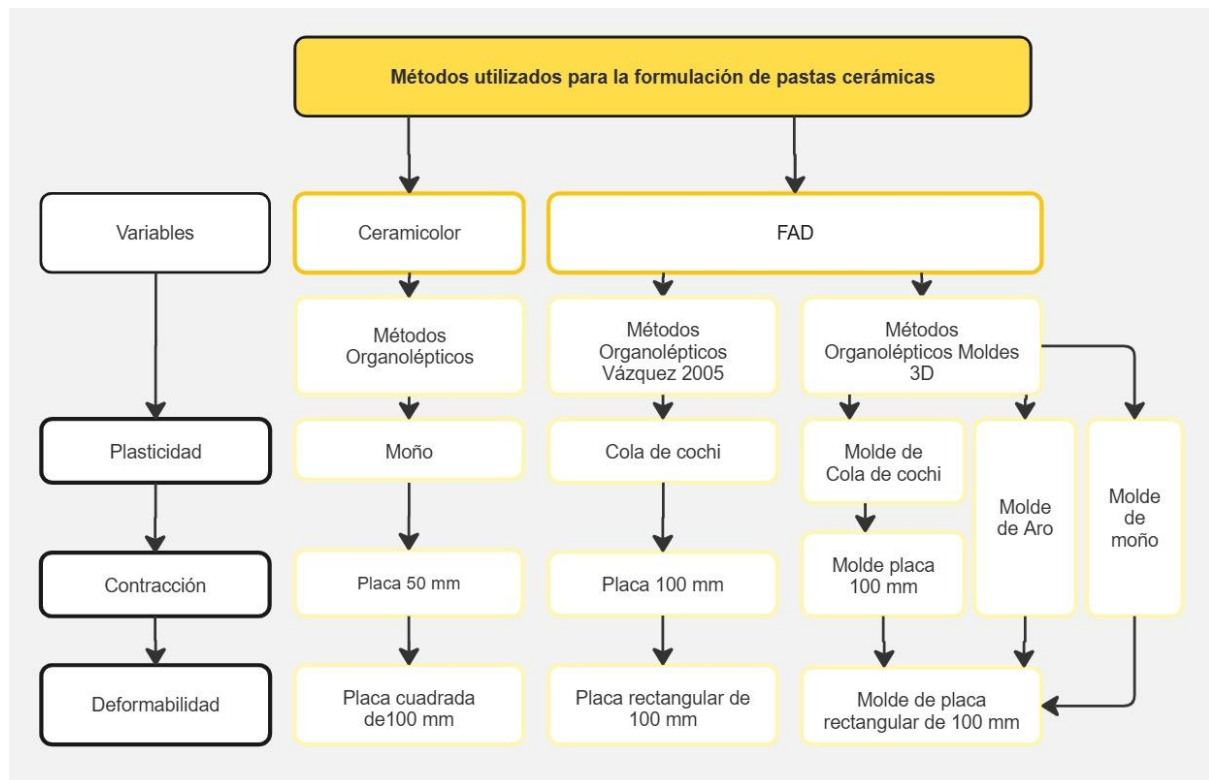
El procedimiento se realizó en el laboratorio de geoservicios, geofísica y geotecnia siguiendo las normas NORMA ASTM C136 Y D2487.

5.6. Formulación de pastas cerámicas

La etapa de formulación de pastas cerámicas se realizó en dos lugares diferentes, las primeras fórmulas se llevaron a cabo en la empresa *ceramicolor* implementando el proceso utilizado en dicha empresa con asesoría del Ingeniero Químico Carlos España, el segundo lugar fue el Laboratorio de cerámica de la FAD siguiendo la metodología de Vazquez (2005) por medio del *diagrama triaxial* y posteriormente se desarrollaron instrumentos de medición a partir de las metodologías para sistematizar los procesos y obtener datos confiables en el diagrama # se puede observar las metodologías implementadas.

Figura 24

Métodos utilizados para la formulación de pastas cerámicas.



Nota. explicar de manera general los colores.

5.6.1. Formulación con productos de ceramicolor

Para determinar los materiales a integrar en la formulación de una pasta cerámica es importante determinar las características que se desean obtener, en este sentido y tomando en cuenta el marco contextual de los ceramistas de Mexicali se determina formular una pasta cerámica para modelado manual con un contenido de materiales arcillosos entre el 60 y 80%, los materiales fundentes y refractarios no excederán el 40% en la fórmula.

El rango de temperatura de cocción se determinó acorde a las prácticas recurrentes de los ceramistas mexicalenses, acostumbrados a trabajar con cocciones 06 para bizcocho y 04 para esmaltes.

5.6.2. Cocción para evaluación de las muestras

Las muestras fueron trituradas con molino mecánico para someter a cocción 100 gramos de cada muestra a cono 04 lo que equivale a 1060 C para verificar la fundencia y así poder realizar un análisis visual de las muestras con la intención de identificar la separación de fases.

5.6.3. *Propuestas de formulación*

Durante una estancia de investigación en la empresa Ceramicolor se elaboraron mezclas de diversos porcentajes de arcillas de Mexicali, caolín y ball-clay, las mezclas fueron establecidas en base al conocimiento del ingeniero químico Carlos España acorde a los procedimientos que sigue en la formulación de sus productos, en la tabla 7 se muestran los porcentajes utilizados.

Tabla 7

Mezclas de aditivos con arcillas de Mexicali en base a la metodología de ceramicolor

Numero de mezcla	Arcilla	Caolín	Ball-clay
1	50%	30%	20%
2	50%	10%	40%
3	50%	25%	25%
4	70%	20%	10%
5	70%	10%	20%

Nota. Porcentajes de componentes de las formulaciones para mezclas.

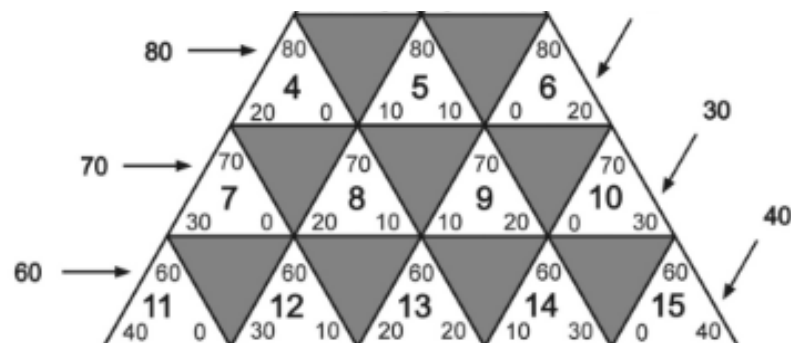
Las muestras de arcillas utilizadas fueron M1, M3, M3.1 y M4 generando 20 mezclas con diferentes cantidades de agua según lo requería para obtener una pasta con la plasticidad necesaria para modelar las probetas. Los descriptivos utilizados para indicar el comportamiento de las mezclas en relación a la maleabilidad fueron mala, buena y excelente. La pasta se deformó fácilmente sin agrietarse indicando un comportamiento plástico por lo cual el proceso de elaboración de probetas se facilitó y se le asignó el término *excelente*. En el caso de que la pasta mostrará un comportamiento plástico, pero con inconvenientes en el proceso de modelado tales como agrietamientos al retirar las placas del molde o en el proceso de modelado se les asignó el término *bueno* ya que se consideran errores aceptables que se pueden corregir durante el proceso de elaboración. Aquellas pastas que mostraran dificultades para amasarlas impidiendo inicial el procedimiento de modelado se le asignó el término *malo*.

La segunda propuesta de formulación se realizó en base al diagrama triaxial, las fórmulas seleccionadas corresponden a los porcentajes de arcilla necesarios para el modelado manual

60 a 80%, se descartaron fórmulas binarias (4, 6, 7, 10, 11 y 15) acorde a lo establecido por Vazquez (2005), quedando las fórmulas 5, 8, 9, 12, 13 y 14, en la figura 25 se destacan las zonas en que se ubican las fórmulas a utilizar dentro del diagrama triaxial.

Figura 25

Fórmulas utilizadas en base al diagrama triaxial



Nota. Obtenido de (Vázquez, 2005)

Dado que las arcillas de Mexicali cuentan con un alto contenido de hierro su color es rojizo, para aclararlo se integró caolin así mismo se consideró este producto por su elevada refractariedad. El tercer material integrado en la fórmula es ball-clay altamente plástico y dispersable en agua. Acorde al diagrama triaxial el material A corresponde a la arcilla de la muestra (M1, M3 y M4) el material B corresponde al producto Ball-Clay de la empresa Ceramicolor (BC) y el material C corresponde a Caolin EPK también adquirido con la empresa ceramicolor.

Tabla 8

Tabla de fórmulas arcillas y aditivos industriales generadas en la FAD en base al diagrama triaxial

	Fórmula	5	8	9	12	13	14
A	Arcilla	80	70	70	60	60	60
B	Ball Clay	10	20	10	30	20	10
C	Caolin EPK	10	10	20	10	20	30

El objetivo de integrar ball-clay a la mezcla es estabilizar la plasticidad de la arcilla, disminuir la tonalidad rojiza de la pasta, por otra parte integrar caolín a la mezcla aumenta su resistencia térmica y resistencia mecánica después de la cocción.

La cantidad de agua para generar una pasta plástica se estableció acorde al rango que establece Fernández 2006, de un 15 a 40% de agua es decir de 30 ml a 80 ml de agua para una mezcla de 200 gramos, las pastas se dejaron reposar durante 24 horas para proceder a realizar los análisis organolépticos.

5.6.4. Evaluación de las propiedades físicas de las pastas

La evaluación de las propiedades físicas de las pastas diseñadas se basaron en determinar las variables de plasticidad, deformabilidad y contracción. La metodología se basó en los procesos establecidos por Vázquez (2005), los procedimientos de la empresa ceramicolor e instrumentos de medición que permitieron sistematizar procedimientos diseñados a partir de estas metodologías.

5.6.4.1. Plasticidad

Las mezclas elaboradas en *ceramicolor* fueron sometidas a prueba de plasticidad generando cordones de 1 cm de espesor y longitud variada dándole *forma de moño* para determinar su comportamiento plástico al modelarlas identificando si mantenía su forma o si se generan agrietamientos y/o roturas registrandolo en bitácora de procedimiento.

El procedimiento consistió en agregar agua a las arcillas hasta lograr obtener una masa plástica, se procedió a amasar hasta obtener una mezcla homogénea, posteriormente se procedió a elaborar cordones con forma de moño con dimensiones distintas entre 21 y 28 cm. En la figura #26 se muestran los métodos aplicados en la empresa ceramicolor, también se puede apreciar la metodología de Vazquez 2005 aplicada en las formulaciones desarrolladas en la FAD.

Figura 26

Métodos organolépticos utilizados para determinar la plasticidad de las pastas formuladas.



Las mezclas elaboradas en el laboratorio de cerámica de la *FAD* se sometieron a pruebas de plasticidad con forma de *cordón de cola de cochino y forma de aro*. Se registró en bitácora su comportamiento identificando la presencia de agrietamientos o ruptura.

A continuación se describe el procedimiento para cordón con forma de cola de cochino utilizando un instrumento de medición diseñado para sistematizar el proceso con el nombre de *trabajabilidad por cordón en espiral*.

- 1- Tomar 100 gr de la mezcla en polvo; mezclar con 15 ml de agua en la mano hasta que sus partículas comienzan a unirse, es importante que la muestra no se adhiera a la mano.
- 2- Si se logra obtener una mezcla plástica continuar con el paso 4, de no obtener la consistencia deseada; agregar 5 ml más de agua hasta lograr su plasticidad.
- 3- Después de dejar reposar la mezcla durante 24 horas se procede a modelar un cordón de 1cm de diámetro con una longitud de 15 cm.
- 4- Enrollar el cordón sobre el instrumento de medición.
- 5- Dejar en reposo durante 15 minutos y desmoldar para dejar secar a la sombra.
- 6- Verificar si la muestra presenta agrietamientos, rupturas o si no ha sufrido ninguna modificación, dependiendo de su comportamiento seleccionar aquella muestra que presente menos defectos.

A continuación se describe el procedimiento para cordón con forma de aro utilizando un instrumento de medición diseñado para sistematizar el proceso con el nombre de *trabajabilidad por forma de aro*.

- 1 Tomar 100 gr de la mezcla en polvo; mezclar con 30 ml de agua hasta que sus partículas comienzan a unirse, es importante que la muestra no se adhiera a la mano.
- 2 Si se logra obtener una mezcla plástica pasar al paso número 3, de no obtener la consistencia deseada; agregar 5 ml más de agua hasta lograr su plasticidad.
- 3 Después de dejar reposar la mezcla durante 24 horas se procede a modelar un cordón de 1cm de diámetro con una longitud de 32 cm
- 4 Modelar un cordón de 1 cm de diámetro y 32 cm de longitud.
- 5 Colocar el cordón sobre el molde para generar un aro

6 Verificar si la muestra presenta agrietamientos, rupturas o alguna modificación. Anote en la tabla los resultados.

7 Verificar la contracción de las muestras midiendo el aro con el apoyo de las marcas generadas por el instrumento.

5.6.4.2. Contracción

Para determinar la contracción se elaboraron 5 probetas por cada fórmula base a método de la empresa ceramicolor que consiste en realizar placas de 5 x 8 cm aproximadamente, el procedimiento para trazar la línea central se realizó de forma manual con apoyo de una regla. La cocción se realizó a cono 04 (1060°C).

En el laboratorio de la FAD se generaron 60 probetas de las fórmulas basadas en método triaxial acorde a las dimensiones establecidas 15 x 3 x 1 cm para someter a un proceso de cocción a cono 04 (1060°C) calentamiento 150°C por hora en el horno de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología FCITEC.

5.6.4.3. Deformabilidad

El proceso consistió en elaborar 5 probetas por cada fórmula base a método de la empresa ceramicolor que consiste en realizar placas de 5 x 8 cm aproximadamente, el procedimiento para trazar la línea central se realizó de forma manual con apoyo de una regla. La cocción se realizó a cono 04 (1060°C) sobre el suelo del horno.

Se generaron 60 probetas de las fórmulas basadas en método triaxial acorde a las dimensiones establecidas 15 x 3 x 1 cm para someter a un proceso de cocción a cono 04 (1060°C) calentamiento 150°C por hora sobre soportes para evaluar deformación.

6. Resultados y conclusiones

6.1. Caracterización mineralógica

6.1.1. Tablas de resultados de difracción de Rayos X

Tabla 9

Tabla de resultados de difracción de Rayos X de la muestra 1

MUESTRA	CLAVE USUARIO	FASES IDENTIFICADAS	FICHAS PDF	Semicuant (RIR) + Rietveld	OBSERVACIONES
DRX1	M1	Cuarzo: SiO_2	ICSD 98 009 3093	29	La naturaleza detallada de la fracción arcilla debe revisarse en la fracción arcilla (<2micras).
		Plagioclasas intermedias: $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$	ICSD 98 003 4943	17	
		Clinopiroxenos tipo augita/diópsido o similar: $(\text{Ca,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$	ICSD 98 008 5152 ICSD 98 001 0222	5 5	
		Ortopiroxeno tipo enstatita: MgSiO_3	ICSD 98 008 1130	13	
		Magnetita: Fe_3O_4	ICSD 98 016 4813	4	
		Calcita: CaCO_3	ICSD 98 016 6364	6	
		Dolomita: $(\text{CaMg})(\text{CO}_3)_2$	ICSD 98 017 1527	4	
		Trazas de anfíbol de tipo magnesiohornblenda: $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	ICSD 98 020 3156	4	
		Filosilicatos a ~10Å probablemente de tipo mica	ICSD 98 017 2271	4	
		Filosilicatos a ~7Å probablemente de tipo caolinita	ICSD 01 078 2110	5	
		Filosilicatos a ~14Å probablemente de tipo esmectita	ICSD 98 016 1171	4	

Tabla 10

Tabla de resultados de difracción de Rayos X de la muestra 3

MUESTRA	CLAVE USUARIO	FASES IDENTIFICADAS	FICHAS PDF	Semicuant (RIR) + Rietveld	OBSERVACIONES
		Cuarzo: SiO_2	ICSD 98 001 8172	36	La naturaleza detallada de la fracción arcilla debe revisarse en la fracción arcilla (<2micras).
		Feldespato potásico tipo ortoclasa: KAlSi_3O_8	ICSD 98 003 4783	11	
		Clinopiroxenos tipo augita/diópsido o similar: $(\text{Ca,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$	ICSD 98 008 5145 ICSD 98 001 4073	5 6	
		Ortopiroxeno tipo enstatita: MgSiO_3	ICSD 98 008 1130	15	
		Magnetita: Fe_3O_4	ICSD 98 016 4813	5	
		Dolomita: $(\text{CaMg})(\text{CO}_3)_2$	ICSD 98 017 1530	3	
		Calcita: CaCO_3	ICSD 98 016 6364	8	
		Yeso: $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ICDD 00 021 0816	3	
		Filosilicatos a ~10Å probablemente de tipo mica	ICSD 98 017 2271	3	
		Filosilicatos a ~7Å probablemente de tipo caolinita	ICSD 01 078 2110	5	
		Filosilicatos a ~14Å probablemente de tipo esmectita	ICSD 98 016 1171	trazas	

Tabla 11

Tabla de resultados de difracción de Rayos X de la muestra 4

MUESTRA	CLAVE USUARIO	FASES IDENTIFICADAS	FICHAS PDF	Semicuant (RIR)	OBSERVACIONES
DRX1	M4	Cuarzo: SiO₂ Plagioclasas intermedias: (Na,Ca)(Si,Al)₃O₈ Feldespato potásico tipo ortoclasa: KAlSi₃O₈ Clinopiroxenos tipo augita/diópsido o similar: (Ca,Mg,Fe)₂(Si,Al)₂O₆ Ortopiroxeno tipo enstatita: MgSiO₃ Magnetita: Fe₃O₄ Dolomita: (CaMg) (CO₃)₂ Calcita: CaCO₃ Yeso: Ca (SO₄)₂ 2H₂O Filosilicatos a ~10Å probablemente de tipo mica Filosilicatos a ~7Å probablemente de tipo caolinita Filosilicatos a ~14Å probablemente de tipo esmectita	ICSD 98 004 1412 ICSD 98 006 6126 ICSD 98 003 4667 ICSD 98 003 4784 ICSD 98 008 5156 ICSD 98 010 0257 ICSD 98 007 9766 ICSD 98 016 4813 ICSD 98 017 1523 ICSD 98 016 6364 ICDD 00 021 0816 ICSD 98 017 2271 ICSD 01 078 2110 ICSD 98 016 1171	35 9 9 9 3 6 6 3 4 6 2 2 6 Trazas	La naturaleza detallada de la fracción arcilla debe revisarse en la fracción arcilla (<2micras).

6.1.1.1. Caracterización química

6.1.1.1.1. Fluorescencia de Rayos X.

Tabla 12

Resultados de fluorescencia de Rayos X de las muestras en polvo de M1, M3, M3.1 y M4

Elemento	Abreviación	% M1	+/- ()	% M3	+/- ()	% M3.1	+/- ()	%M4	+/- ()
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	4.095	1.012	3.197	0.639	2.847	0.635	3.447	1.627
Dióxido de silicio	SiO ₂	30.481	1.604	33.708	1.054	32.516	1.040	30.050	2.796
Óxido de potasio	K ₂ O	4.045	0.123	3.886	0.080	3.998	0.083	3.598	0.212
Sulfato de calcio	CaSO ₄	43.567	0.651	45.966	0.441	49.357	0.469	49.303	1.245
Óxido de titanio	TiO ₂	1.303	0.064	1.114	0.039	1.052	0.039	1.000	0.103
Óxido de manganeso	MnO	0.480	0.064	0.301	0.034	0.279	0.035	0.302	0.100
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	16.030	0.152	11.829	0.087	9.952	0.082	12.300	0.243

 Fundentes alcalinos
  Fundentes alcalinotérreos
  Colorantes
  Opacificantes
  Formadores de vidrio
  Co-formadores
  Estabilizantes

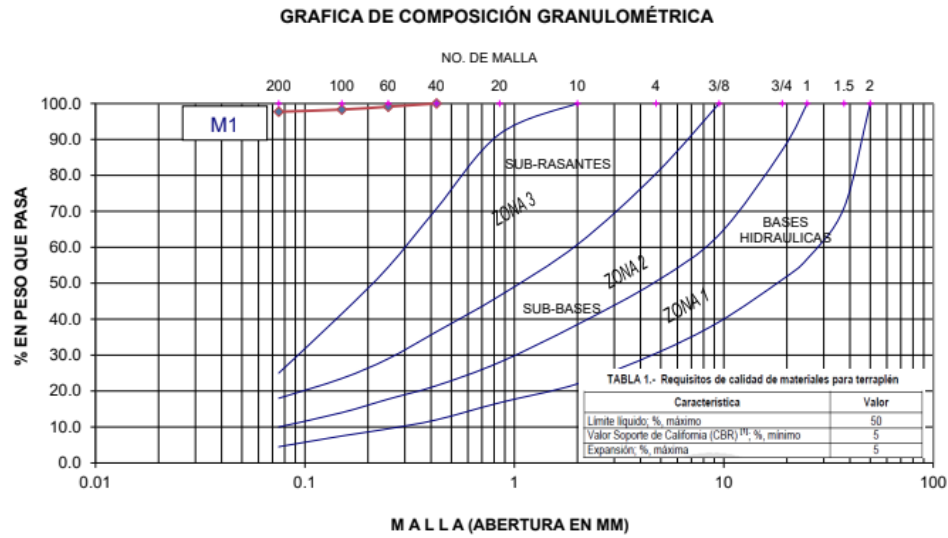
Nota. Los elementos se clasifican por color según su aplicación en la producción de cerámica.

6.2. Caracterización físico-cerámico

6.2.1. Granulometría por tamizado

Tabla 13

Resultados de granulometría de la muestra 1

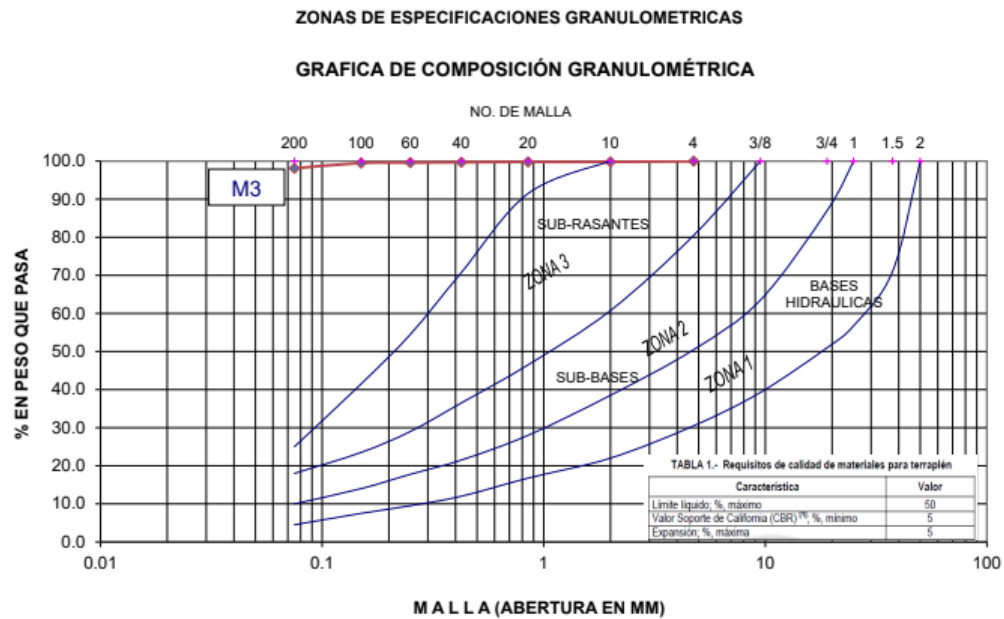


NOMBRE PROYECTO: SRA ALICIA
UBICACION: TONATIUH CONSULTORIAS 2023
CLAVE MUESTRA: M1, 0.0% GRAVAS, 2.3% ARENAS, 97.7% FINOS, CH

FIGURA C1-A
GEOSERVICIOS
GEOFISICA
GEOTECNIA

Tabla 14

Resultados de granulometría de la muestra 3

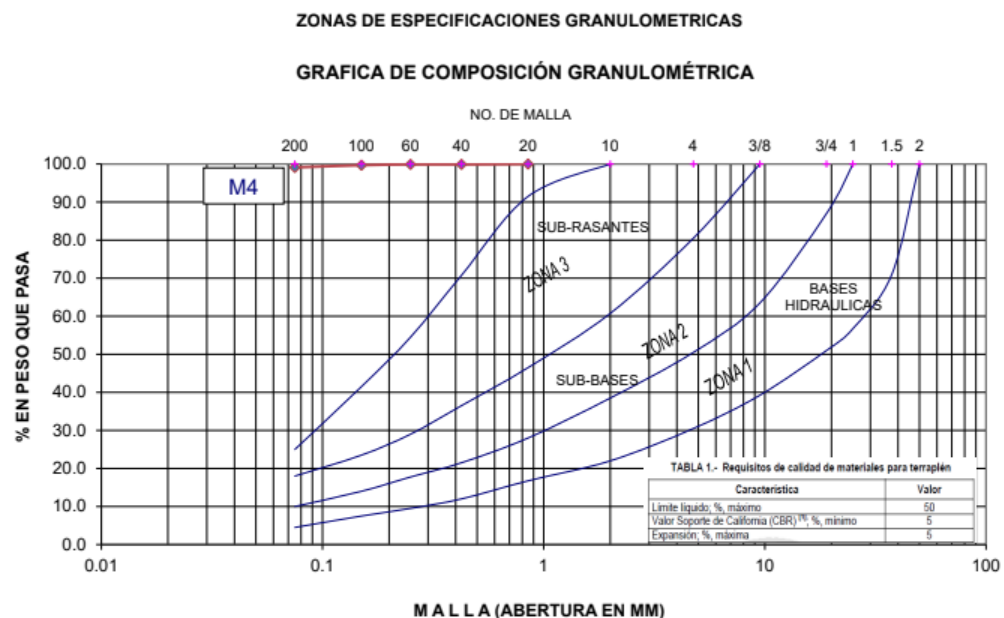


NOMBRE PROYECTO: SRA ALICIA
UBICACION: TONATIUH CONSULTORIAS 2023
CLAVE MUESTRA: M3, 0.0% GRAVAS, 1.9% ARENAS, 98.1% FINOS, CH

FIGURA C2-A
GEOSERVICIOS
GEOTECNIA

Tabla 15

Resultados de granulometría de la muestra 4



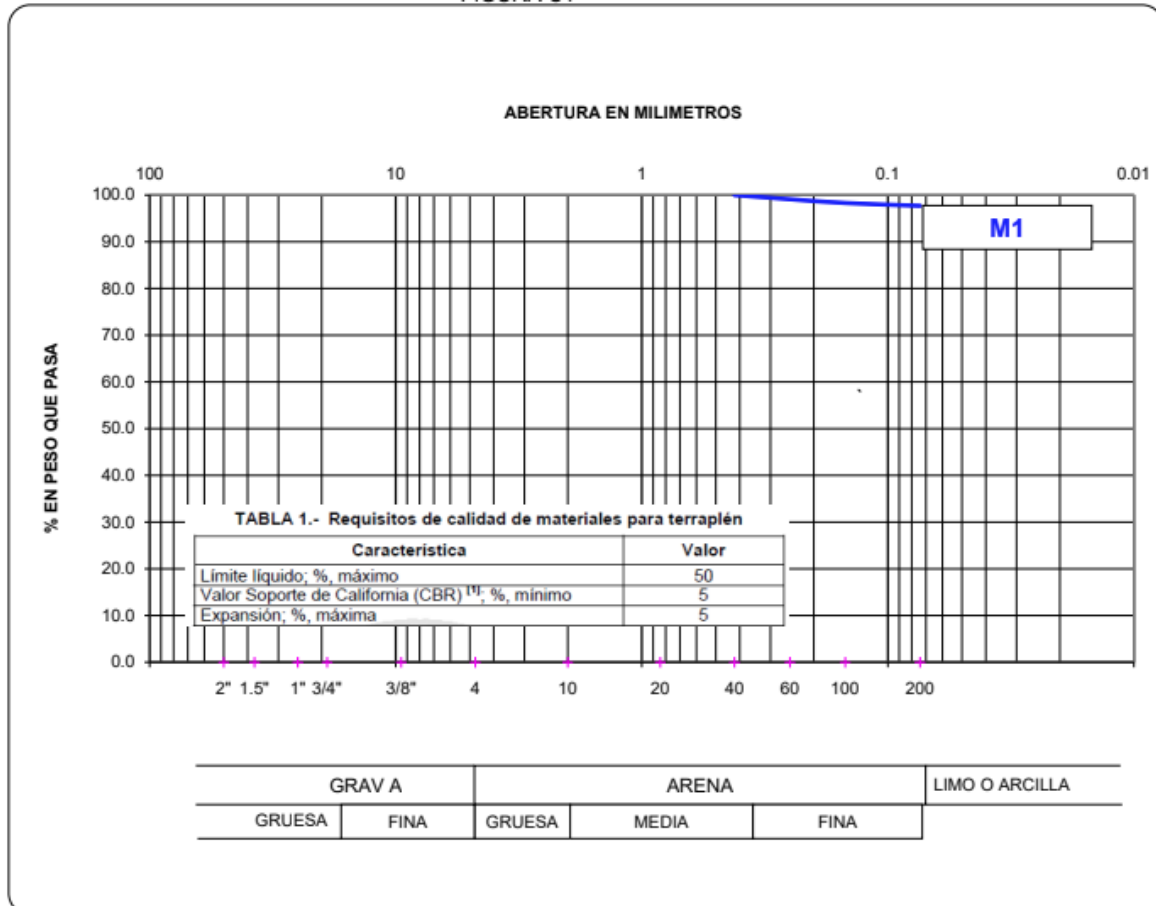
NOMBRE PROYECTO: SRA ALICIA
UBICACION: TONATIUH CONSULTORIAS 2023
CLAVE MUESTRA: M4, 0.0% GRAVAS, 0.9% ARENAS, 99.1% FINOS, CH

FIGURA C3-A
GEOSERVICIOS
GEOTECNIA

6.2.2. Plasticidad Límites de Atterberg

Tabla 16

Resultados de límites plásticos de la muestra 1



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LÍMITES Y CARACTERÍSTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación S.U.C.S.
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	L.L	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
M1												
	1	-	33.1	61.5	28.4	12.0			0.0	2.3	97.7	CH
ICc= 0.464 Compresibilidad alta						Humedad natural = 6.0 %						
Ic= 1.677						IL= -0.677						

PROYECTO	SRA ALICIA
UBICACIÓN	TONATIUH CONSULTORIAS 2023

NOMENCLATURA:

W= humedad. L.L.= Límite Líquido. P.L.= Límite plástico. C.L.= Contracción natural. Cc= D60/D10. Cc=(D30)²/(D10xD60)

S.U.C.S.= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresion según Terzaghi y Peck Ic= Índice de consistencia

Tabla 17

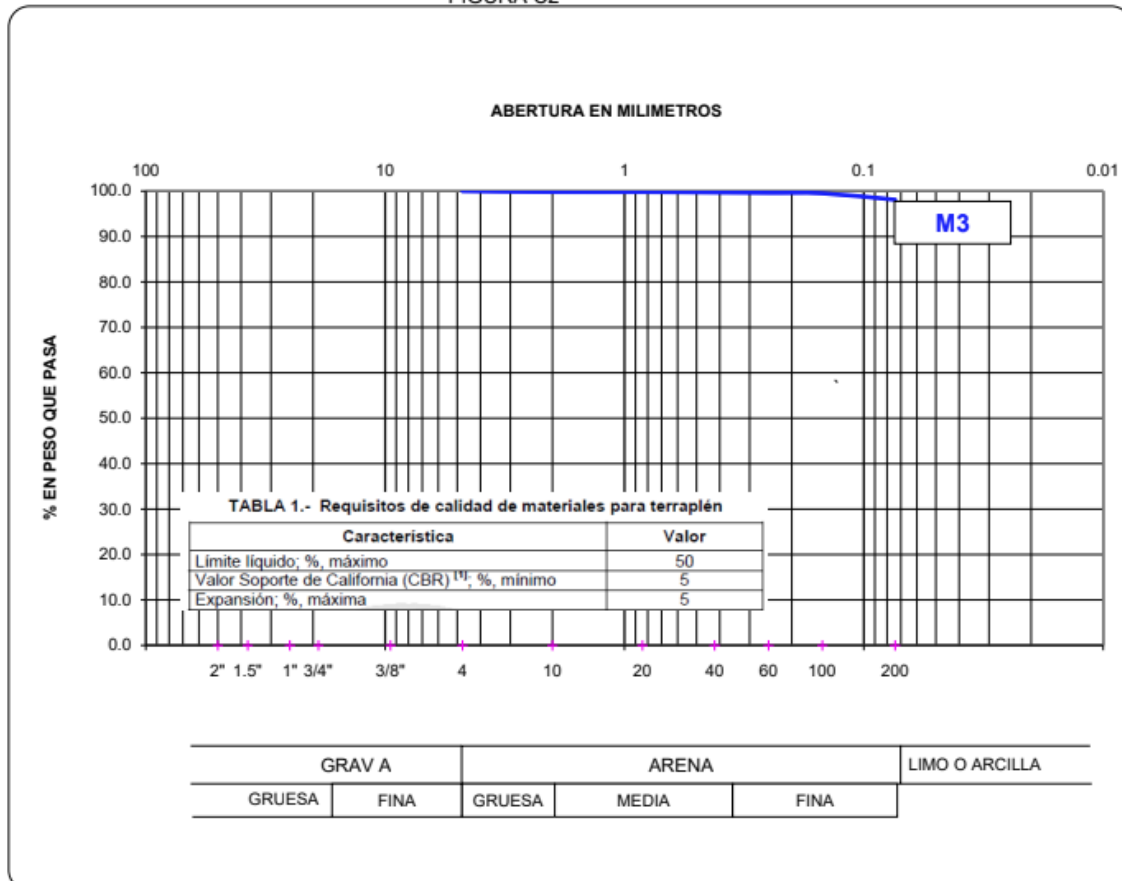
Resultados de límites plásticos de la muestra 3

NORMA ASTM C136 Y D2487

ENSAYE DE DISTRIBUCCION
GRANULOMETRICA Y LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NMX-C-416

FIGURA C2



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITES Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación S.U.C.S.
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	LL	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
M3												
	3		33.3	57.8	24.5	12.8			0.0	1.9	98.1	CH
ICc= 0.430 Compresibilidad alta						Humedad natural = 6.8 %						
Ic= 1.532						IL= -0.532						
PROYECTO	SRA ALICIA											
UBICACIÓN	TONATIUH CONSULTORIAS 2023											

NOMENCLATURA:

W= humedad. L.L.= Límite Líquido. L.P.= Límite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D60/D10. Cc=(D30)²/(D10xD60)

S.U.C.S.= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. Ic= Índice de consistencia

IL=Índice de liquidez

Tabla 18

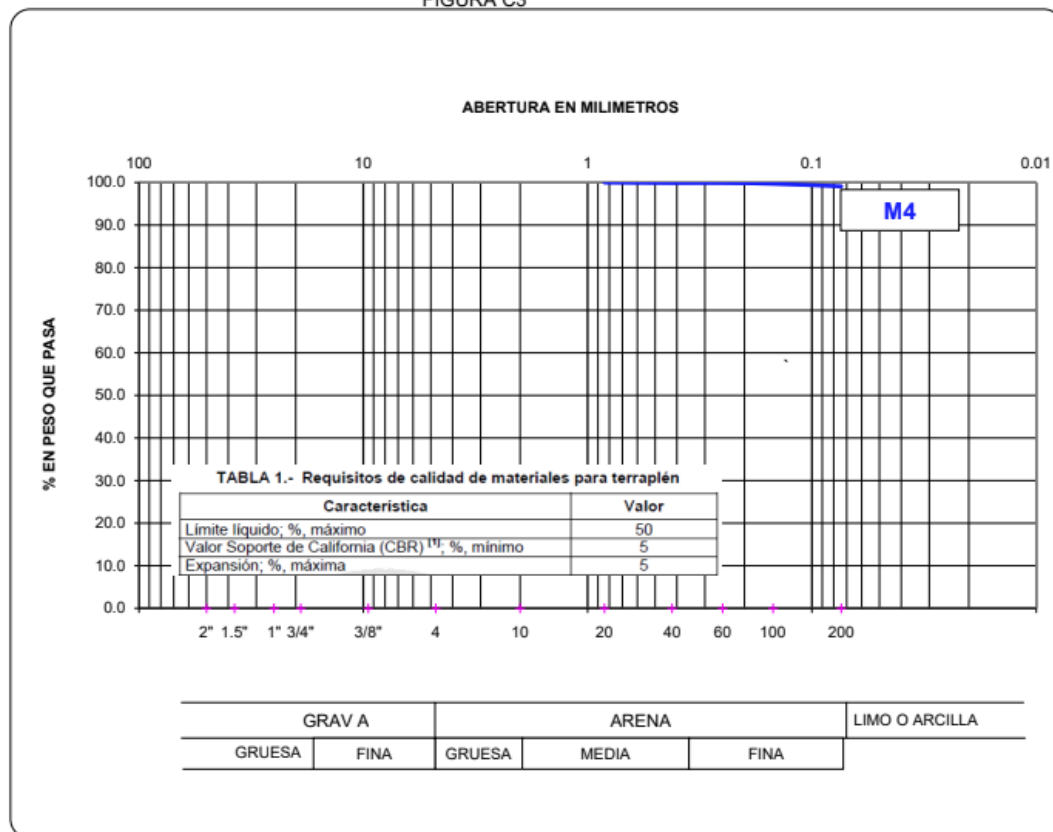
Resultados de límites plásticos de la muestra 4

NORMA ASTM C136 Y D2487

ENSAYE DE DISTRIBUCCION
GRANULOMETRICA Y LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NMX-C-416

FIGURA C3



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITES Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación S.U.C.S.
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	L.L.	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
M4												CH
	4		25.1	51.8	26.7	9.0			0.0	0.9	99.1	

ICc=	0.376	Compresibilidad media	Humedad natural =	7.4	%
Ic=	1.769		IL=	-0.769	

PROYECTO	SRA ALICIA
UBICACIÓN	TONATIUH CONSULTORIAS 2023

NOMENCLATURA:

W= humedad. L.L.= Límite Líquido. L.P.= Límite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D60/D10. Cc=(D30)²/(D10xD60)

S.U.C.S.= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. Ic= Índice de consistencia

IL=Índice de liquidez

6.3. Caracterización físico-química

6.4. Plasticidad

Tabla 19

Plasticidad de las muestras en estado natural

Pruebas de plasticidad			
	M1	M3	M4
Agua requerida	40 ml	40 ml	35 ml
Peso con agua	132 gr	131 gr	130 gr
Cola de cochi	Mala	Buena	Regular
Moño	Mala	Buena	Buena
Aro	Mala	Buena	Buena

Nota: Peso de las muestras antes de su preparación 100gr

Tabla 20

Maleabilidad de fórmulas elaboradas en ceramicolor

	M1					M3					M4				
Fórmula	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Maleabilidad por forma de moño	m	b	b	b	b	m	b	b	b	b	b	b	m	b	m

Nota: e= excelente, b= buena, m= mala,

Tabla 21

Maleabilidad de fórmulas elaboradas en la FAD

	M1						M3						M4					
Fórmula	5	8	9	12	13	14	5	8	9	12	13	14	5	8	9	12	13	14
Maleabilidad por Aro	b	b	b	b	e	m	m	b	b	e	b	b	b	b	b	b	b	b
Maleabilidad por cola de cochino	b	b	m	b	m	m	m	b	b	m	m	b	b	m	e	m	b	m

Nota: e= excelente, b= buena, m= mala,

6.5. Contracción lineal

Tabla 22

Contracción de muestras en estado natural

Muestra	Contracción en secado	Contracción en bizcocho
M1	9.7%	12%
M3	9.3%	10.1%
M4	10%	11.6%

Tabla 23

Contracción lineal de fórmulas de ceramicolor muestra 1

Muestra 1.0 - Arcilla Valle de Mexicali - Ejido Chihuahua							
Código de la muestra	Dimensión lineal en estado de bizcocho (mm)					Contracción	
	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio	Porcentaje
M1.0F1	43.3	43.1	43.8	39.7	43.5	42.68	14.64%
M1.0F2	45	43.3	44.1	42.8	43.2	43.68	12.64%
M1.0F3	43.7	43.9	44.3	43.5	44.2	43.92	12.16%
M1.0F4	42.5	43.4	43	41.8	43.4	42.82	14.36%
M1.0F5	44.4	43.1	46.3	44.6	43.3	44.34	11.32%

Nota M= muestra F= formula

Tabla 24

Contracción lineal de fórmulas de ceramicolor muestra 3

Muestra 3.0 - Arcilla de Ladrillera - Carretera San Felipe							
Contracción - bizcocho (mm)							
Código de la muestra	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio	Porcentaje
M3.0F1	46.3	45	44.8	44.8	44.4	45.06	9.88
M3.0F2	45.2	44.3	44.1	45.4	44.7	44.74	10.52
M3.0F3	46.1	45.6	44.3	42.9	45.3	44.84	10.32
M3.0F4	45.3	44.6	46	46.7	45.3	45.58	8.84
M3.0F5	44.4	45.3	45.4	45.7	45.4	45.24	9.52

Tabla 25*Contracción lineal de fórmulas de ceramicolor muestra 4*

Muestra 4.0 - Arcilla de Ladrillera - Carretera San Felipe							
Contracción - bizcocho (mm)							
Código de la muestra	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio	Porcentaje
M4.0F1	43	45.3	43.1	42.8	44.5	43.74	12.52
M4.0F2	43.7	45	44.9	45	43.8	44.48	11.04
M4.0F3	44.8	44.1	43.8	44.4	44.8	44.38	11.24
M4.0F4	42.3	43.7	42.4	44	42.6	43	14
M4.0F5	43.4	45.6	43.9	44.6	44.3	44.36	11.28

Tabla 26*Contracción lineal de mezclas por método triaxial***6.6. Deformabilidad****Figura 27***Placas de deformabilidad de ceramicolor***Tabla 27***Deformabilidad de muestras en estado natural*

Muestra	Deformación por secado	Deformación por cocción
M1	Sin deformación	Sin deformación
M3	Sin deformación	Sin deformación
M4	Sin deformación	Sin deformación

Tabla 28*Deformabilidad de las fórmulas realizadas en ceramicolor*

M1					
Fórmula	1	2	3	4	5
P1	S/D	S/D	S/D	S/D	Pandeo
P2	S/D	Pandeo	S/D	S/D	Pandeo
P3	S/D	Pandeo	Pandeo	S/D	S/D
P4	S/D	S/D	S/D	Pandeo	S/D
P5	S/D	Pandeo	S/D	S/D	S/D
M3					
Fórmula	1	2	3	4	5
P1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
P2	S/D	S/D	Pandeo	Pandeo	S/D
P3	S/D	S/D	Pandeo	Pandeo	Pandeo
P4	Pandeo	S/D	Pandeo	S/D	Pandeo
P5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
M4					
Fórmula	1	2	3	4	5
P1	S/D	S/D	Pandeo	S/D	S/D
P2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
P3	S/D	S/D	S/D	Pandeo	Pandeo
P4	S/D	S/D	S/D	S/D	Pandeo
P5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

Nota: P= Probeta, S/D = sin deformación

Figura 28*Probetas de deformabilidad y contracción fórmulas FAD*



Tabla 29

Deformabilidad de las fórmulas realizadas por método triaxial

M1						
Fórmula	5	8	9	12	13	14
P1	S/D	Pandeo	S/D	Ruptura	Pandeo	Pandeo
P2	S/D	S/D	S/D	Ruptura	Pandeo	Pandeo
P3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
P4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
P5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
M3						
Fórmula	5	8	9	12	13	14
P1	S/D	Pandeo	Pandeo	Ruptura	Pandeo	Pandeo
P2	Pandeo	Pandeo	Pandeo	Ruptura	S/D	Pandeo
P3	Pandeo	Pandeo	Pandeo	Pandeo	S/D	S/D
P4	Pandeo	S/D	S/D	Pandeo	S/D	S/D
P5	Pandeo	Pandeo	S/D	S/D	S/D	S/D
M4						
Fórmula	5	8	9	12	13	14
P1	S/D	S/D	Pandeo	S/D	Pandeo	Pandeo
P2	S/D	S/D	Pandeo	S/D	Pandeo	Pandeo
P3	S/D	S/D	Pandeo	S/D	S/D	Pandeo
P4	S/D	S/D	Pandeo	S/D	S/D	Pandeo
P5	S/D	S/D	Pandeo	S/D	S/D	Pandeo

Nota: P= Probeta, S/D = sin deformación

6.7. Análisis de resultados

Durante la prueba de cocción previa las muestras 2 y 2.1 fueron descartadas, en la figura 29 se puede observar diferencias entre los tamaños de granos y coloraciones. El color rojo indicó la

presencia de hierro que posteriormente se confirmó en la prueba de difracción de Rayos X mostrando que todas las muestras presentaron óxido de hierro en la prueba de difracción de Rayos X, mismo que se puede observar en la coloración rojiza después de su cocción.

Figura 29

Muestras de arcillas en polvo



Nota. Muestras en su estado natural después de una cocción a 1060 C

Los porcentajes de hierro fueron M1 4% M3 5% y M4 3% lo que generó pastas cafés rojizas que tras su cocción generan productos rojizos, sin embargo la integración de caolín y ball-clay cambian su tonalidad obteniendo productos con menor intensidad. En terminos de color y aditivos las muestras presentaron una aceptación a pigmentos negro, verdes, cafés, amarillos y rojos permitiendo modelar cordones y placas sin presentar problemas durante el conformado según lo mencionado por la artista plástica Ximena de la Facultad de Artes UABC en su bitácora de proceso.

Figura 30

Pastas pigmentadas



Nota. La pigmentación de pastas se realizó en proporción de 20% pigmento 80% pasta con arcilla regional.

Siguiendo con el análisis de resultados entorno a la cocción previa la muestra 1 se cuarteó indicando que falta plasticidad, la contracción fue de 12% por lo cual es necesario bajar la temperatura de cocción para bizcocho entre 700 a 900 C para cono 018 a 08 y para vidriado 04, dentro del rango requerido. M3 Contracción de 10.1% mostrando variación de tonos provocando una ligera deformación. Las variaciones de color pueden generar variaciones en los tonos de los pigmentos que

se apliquen en un futuro, sin embargo, presenta una buena absorción. M3.1 Contracción 0% presenta excelente absorción, estos dos datos nos indican que se puede subir la temperatura de cocción para continuar con más pruebas. M4 Tono parejo deforma poco y tiene una buena absorción de esmalte, contracción de 11.6% en contraste con M4.1 con una contracción 2% con gran deformación cuenta con un color parejo solidificado y llegó a su punto de cierre por lo que requiere menor temperatura para sancocho y poder esmaltar, no cumple con el rango de cocción requerido por lo cual se descarta para continuar con las siguientes fases del proceso de experimentación.

La sumatoria de impurezas en la muestra 1 es de 8% con presencia de mica y hierro en las tres muestras, en el caso de la muestra 3 presenta 11% de impurezas incluyendo yeso al igual que la muestra 4 con 7% de impurezas, todas las muestras se encuentran dentro del rango aceptable de impurezas considerando de un 10% hasta un 29% antes de perder refractariedad, plasticidad y otras propiedades (Cáceres et al., 2021). Esto se comprueba al revisar las tablas de deformabilidad en donde M3 obtiene resultados menos favorables incluso después de su formulación con aditivos.

Como menciona Cáceres 2021 las impurezas de sales solubles se evidenciaron la aparición de áreas blancas demeritando el aspecto físico de las piezas como se aprecia en la imagen 28 las sales se evidencian en el secado del objeto cerámico demeritando el aspecto físico. Con la aplicación de esmalte se logra disminuir aparentemente las diferencias de color que generan las sales, así mismo la integración de pigmentos de colores cálidos mejora el aspecto de las piezas como se muestra en la figura 30 por el alto contenido de hierro es favorable la integración de pigmentos rojo, amarillo, café y verde. Otra forma de mejorar la apariencia se puede lograr aplicando el método conocido como “TP” triple lavado (Chiti, 2012).

Los materiales predominantes que se muestran en los resultados de difracción de Rayos X son cuarzo, feldespato y ortopiroxeno, clasificado como un silicato. Los porcentajes de cuarzo en las muestras distribuyen de la siguiente manera M1 29%, M3 36% y M4 35% respectivamente, en la cerámica el cuarzo es denominado una materia desengrasante o antiplástico el rango composicional admitido en la fabricación de cerámica estructural es de un 10 a un 30% de cuarzo por lo cual solo la muestra 1 se encuentra dentro del rango aceptado (Galan y Aparicio, 2006). Al contrastar estos resultados con las pruebas organolépticas se encontró que las fórmulas con mejor comportamiento

plástico fueron las elaboradas con M3, analizaremos estos resultados más adelante, por otra parte el feldespato potásico se encuentra en las muestras M3 y M4 con un 11% y 9% respectivamente, es un feldespato alcalino, en la cerámica es un material fundente que al integrarlo en la formulación de pastas cerámicas disminuye el costo energético en la producción lo que permite una temperatura de maduración menor disminuyendo los tiempos de cocción. El tercer elemento con mayor porcentaje presente en las muestras es el ortopiroxeno tipo enstatita MgSiO_3 es clasificado como silicato el cual es un material formador de vidrio, se encuentra presente con los siguientes porcentajes M1 13%, M3 15% y M4 6%. Estos resultados en comparación con los porcentajes de contracción son coincidentes al obtener la menor contracción en la muestra 3 que contiene más ortopiroxeno tipo enstatita MgSiO_3 con una reducción de 10.1 en comparación con 12% y 11.6% de las otras muestras. Acorde a los resultados obtenidos en la difracción de Rayos X la muestra 1 es la más favorable por la ausencia de yeso y por que mantiene dentro de los rangos de cuarzo recomendados.

Muestra	M1		M3				M4				
Fórmula	5	8	5	8	12	13	5	8	9	12	13
Porcentaje de contracción	13.4	13.1	12.1	12.9	13.3	12	11.2	11.2	13.1	13.1	13.7

Muestra	M1			M3					M4				
Fórmula	2	3	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Porcentaje de contracción	12.64	12.16	11.32	9.88	10.52	10.32	8.84	9.52	12.52	11.04	11.24	14	11.28

En relación a los resultados obtenidos en la prueba de plasticidad por el método atterberg y comparando los índices de plasticidad M1 33.1, M3 33.3 y M4 25.1 se puede concluir que las muestras 1 y 3 tienen índices de plasticidad similares y significativamente más altos que la muestra 4, aunque la diferencia entre M1 y M3 es pequeña teóricamente M3 es la mejor opción para el desarrollo de la pasta cerámica. Un índice plástico más alto por lo general es indicio de una mayor plasticidad, lo que facilita el modelado y la manipulación sin que la arcilla se agriete o se desmorone, esto se comprueba por medio de los métodos organolépticos en el caso de la muestra 3 tanto en su estado

natural como en la fórmula 5 elaborada en ceramicolor y 8 elaborada en la FAD a base de los mismos porcentajes 70% arcilla 10% caolín y 20% ball-clay. En el caso de la muestra 1 se comprueba lo mismo en la fórmula 5 y 8 respectivamente. Estos resultados demuestran la importancia de la experiencia práctica y la validación del uso de los métodos organolépticos ya que al comparar resultados en pruebas de laboratorio normadas y los resultados de las pruebas organolépticas existe coincidencia, es evidente que la generación de instrumentos de fácil acceso, bitácoras de vaciado de datos e interpretación son áreas de oportunidad que como resultado de esta investigación se atienden y abren la pauta a la réplica de los procesos de forma accesible para los ceramistas y validando su proceso en la investigación formal.

Las mezclas que presentan mejores propiedades en torno a maleabilidad, contracción y deformabilidad generadas por medio del método utilizado en ceramicolor se muestran en la tabla 30 coincidiendo la fórmula 5 como resultado favorable en la mayoría de las muestras y las pruebas realizadas. Las mezclas con resultados favorables coincidentes en la muestra 1 son F2 y F5. Por otra parte la muestra 2 presenta coincidencias en la F1. F2 y F5, mientras que la muestra 4 no presenta coincidencias.

Tabla 30

Resultados favorables de las formulaciones generadas en ceramicolor

Muestra	M1	M3	M4
Maleabilidad	F2, F5	F1, F2, F5	F1, F2 y F4
Contracción	F2, F3, F5	F1. F2, F3, F4, F5	F2, F3, F5

Las muestras que presentan mejores propiedades entorno a maleabilidad, contracción y deformabilidad generadas por medio del método triaxial se muestran en la tabla 31 mostrando coincidencias positivas la M1F5, la muestra 3 no muestra coincidencias, por último la muestra 4 coincide en la fórmula 5, una vez más se comprueba que la fórmula 5 es la mezcla ideal para las arcillas analizadas 70% arcilla 10% caolín y 20% ball clay.

Tabla 31

Resultados favorables de las formulaciones generadas en la FAD

Muestra	M1	M3	M4
Maleabilidad	M1F5 , M1F8 y M1F12	M3F8, M3F5 , M3F14	M4F5 , M4F13
Contracción	M1F9 y M1F5	M3F13 y M3F12	M4F5 y M4F12

Nota. La fórmula 5 elaborada en Ceramicolor contiene los mismos porcentajes de la fórmula 5 del método triaxial 70% arcilla 10% caolín y 20% ball-clay.

Tabla 32

Pastas seleccionadas

Pastas seleccionadas			
	M1F8	M3F8	M4F5
Arcilla	70%	70%	70%
Caolín	10%	10%	10%
Ball-Clay	20%	20%	20%
Maleabilidad	Buena	Buena	Buena
Color en seco	Café claro	Café claro	Café claro
Color en bizcocho	Café rojizo oscuro	Café amarillento	Café rojizo claro
Temperatura de quema	Cono 04	Cono 04	Cono 04
Contracción	11.32%	9.52%	11.28%

Tabla 33

Piezas Obtenidas



Fórmula: M1F8

Técnica: Placa con engobe

Resultados: La finalidad de esta experimentación fue obtener una placa de loseta cerámica inspirada en las imágenes generadas por la IA pero con diseño propio, para ello, se realizó una placa de 20 x 20 cm con pasta cerámica sin pigmentar y se trazó un diseño concéntrico de una flor de biznaga con detalles geométricos alusivos a la geografía de Baja California. La pasta se modeló de manera adecuada para la realización de la placa, no se presentaron grietas ni cuarteaduras, y a pesar de que el proceso duró algunos días, la placa de barro conserva la humedad permitiendo unir el engobe de manera adecuada.



Fórmula: M1F5

Técnica: Cordones con pasta pigmentada

Resultados:
La pasta utilizada, retiene la humedad por un tiempo prolongado, lo que permite utilizar la técnica de cordón para la elaboración de piezas con un buen control de la forma, ya que el material no presenta cuarteaduras y no es granuloso. Se realizó un jarrón con la técnica de cordón, dejando la estructura aparente, para evidenciar la plasticidad de la pasta cerámica. Para el diseño del jarrón, se tomaron como ejemplo una serie de imágenes generadas por inteligencia artificial, refiriendo la cerámica tradicional Pai pai, la técnica de cordón, barro pigmentado rojo, verde y café.

Facultad de Artes - Alumna Norma Ximena Perez Rul Ovalle



Fórmula: M1F8

Técnica: Pellizco

Resultados: Al tacto la pasta se siente particularmente suave y su pastiticad permite flexionarla sin observar cuarteaduras, la humedad además de dar un brillo homogéneo a la superficie, permite que sea amable con la piel al tacto sin reseca las manos, a diferencia de las pastas comerciales. Este material recibe y conserva la humedad permitiendo trabajar durante un largo periodo de tiempo sin agregar grandes cantidades de líquido.

Facultad de Arquitectura y Diseño - Paola Martinez Mendoza



Fórmula: M1F8

Técnica: Pellizco

Resultados:
Al realizar esta pieza se pudo apreciar características cualitativas de la pasta cerámica formulada, como su plasticidad, así como una ligera tendencia a presentar grietas al perder humedad rápidamente. Y, en general, una buena trabajabilidad de la pasta; ya que permitió el modelado de la pieza se dio sin mayores obstáculos, y se obtuvo el resultado deseado. Considerando lo anterior, se puede concluir que permite utilizar la técnica de pellizco para la elaboración de piezas con un buen control de la forma, ya que el material no presenta una buena capacidad plástica y no es granuloso.

Facultad de Arquitectura y Diseño - Paola Martinez Mendoza



Fórmula: M1F8

Técnica: Placa

Resultados: Esta pieza se realizó con apoyo de propuestas conceptuales y visuales generadas mediante inteligencia artificial, con indicaciones de crear una pieza cerámica con pasta no pigmentada e inspirada en la naturaleza. El trabajo de modelado con la pasta cerámica se dio sin ningún problema, se apreciaron características de plasticidad, textura homogénea, buena capacidad para conservar la humedad y, en general, facilidad para el trabajo de piezas mediante técnica de placa.



Fórmula: M3 Compuesta

Técnica: Pellizco

Resultados: La pasta utilizada presentó excelentes cualidades para el modelado y conformado cerámico. Su alta plasticidad y suavidad al tacto permitieron una manipulación fluida, sin necesidad de una hidratación constante durante el trabajo, lo que evitó su endurecimiento prematuro. Tampoco se presentaron fisuras.

Durante el proceso de modelado, fue notablemente sencillo corregir cualquier irregularidad o imperfección, ya que la pasta respondía bien al alisado y detallado fino. Se mostró una textura homogénea y lisa, facilitando acabados limpios sin necesidad de un trabajo de refinamiento excesivo.

En la primera cocción, el comportamiento fue igualmente favorable: no se registraron grietas ni fracturas

6.8. Análisis costo beneficio

La presente investigación genera beneficios significativos y multifacéticos, que se reflejan principalmente en los siguientes aspectos, fomento de procesos sostenibles y reducción de costos: La formulación de una nueva pasta cerámica que utiliza un 70% de materiales locales reduce drásticamente los costos de producción para los ceramistas de Mexicali. Esta disminución de costos, con un impacto económico directo y sustancial, incrementa la viabilidad y competitividad de la práctica artesanal local. Adicionalmente, la priorización de recursos regionales promueve la sostenibilidad y disminuye la dependencia de insumos externos, otorgando mayor autonomía a la comunidad a través del aprendizaje de métodos productivos responsables con el medio ambiente.

Otro beneficio es la adaptación de materiales regionales a las necesidades específicas de las comunidades ceramistas, brindando autonomía en la selección y procesamiento de sus insumos. La divulgación de conocimientos a través de talleres de capacitación empodera a los artesanos al proporcionarles las herramientas para innovar y optimizar sus procesos. Esta incidencia social se evidencia en los talleres impartidos a maestros, estudiantes, artesanos y artistas plásticos, quienes requieren constantemente materias primas para sus proyectos. La transferencia de conocimiento en eventos como la Semana de Diseño y World Design Capital demuestra un compromiso con el desarrollo de habilidades y la adopción de nuevas técnicas y materiales, impulsando una investigación experimental e intuitiva hacia metodologías más organizadas que permitan el registro sistemático de resultados y estimulen el crecimiento del sector a nivel local.

El diseño de instrumentos de medición de código abierto y la creación de manuales de procedimiento de acceso libre garantizan la disponibilidad global de información crucial para el desarrollo de pastas cerámicas más sostenibles. Estos recursos facilitan la adopción de procesos experimentales controlados, fáciles de aplicar e interpretar por parte de los ceramistas, al basarse en sus propias prácticas y experiencia.

Esta investigación ha generado modificaciones significativas en el plan de estudios de la carrera de Diseño Industrial 2022 de la FAD-UABC, integrando dos materias enfocadas en la cerámica y prácticas sostenibles. Asimismo, se capacitó a docentes mediante talleres especializados en la formulación de pastas cerámicas. Este enfoque educativo promueve una evaluación centrada en el

aprendizaje y el desarrollo de mentes críticas capaces de proponer soluciones adaptadas a las necesidades regionales. La formación integral de estudiantes, docentes y ceramistas fortalece las capacidades locales en el campo de la cerámica, impulsando la innovación y la pertinencia en la formación profesional.

En congruencia con el compromiso social inherente a la labor investigativa, se realizaron talleres de divulgación dirigidos a diversos sectores de la comunidad. En el evento de la SEP "Aprendizaje para una vida saludable y sostenible," se capacitó a 38 alumnos de preparatoria. Durante las semanas de divulgación de ciencias, artes y humanidades, se impartieron dos talleres: uno para 360 estudiantes de secundaria del Valle de Mexicali en 2022, y otro titulado "Visitando la casa del abuelo para compartir el arte y la ciencia de hacer cerámica," atendiendo a 45 adultos mayores de la Casa del Abuelo de DIF en Mexicali en 2024. Estas actividades demuestran el impacto social de la investigación al extender el conocimiento y las prácticas sostenibles a diferentes grupos de la comunidad.

Al impulsar la producción cerámica local con recursos regionales, se contribuye directamente al desarrollo económico y social de Mexicali y Baja California. La reducción de costos para los artesanos incrementa su competitividad y potencial de crecimiento económico. Simultáneamente, el enfoque en materiales locales y prácticas sostenibles responde a la creciente necesidad de modelos de producción más amigables con el medio ambiente, promoviendo la conservación de recursos y la minimización del impacto ecológico.

El diseño de instrumentos de código abierto y la formulación de nuevas pastas representan innovaciones tecnológicas accesibles que se transfieren directamente a la comunidad educativa y artesanal, democratizando el conocimiento y fomentando la experimentación. La formación integral de estudiantes, docentes y ceramistas fortalece las capacidades locales en el campo de la cerámica, generando un capital humano más preparado y consciente de las prácticas sostenibles.

6.9. Conclusiones

Esta investigación demuestra que es viable formular una pasta cerámica que integre arcillas regionales del Valle de Mexicali, logrando una alternativa productiva que favorece la accesibilidad a materias primas locales y reduce los costos de producción. La caracterización fisicoquímica y los ensayos realizados confirmaron que, con la incorporación adecuada de aditivos, las arcillas regionales pueden alcanzar la plasticidad y resistencia térmica necesarias para el modelado manual y la cocción a baja temperatura (cono 04). La formulación optimizada, con un alto porcentaje de arcilla regional (70%), no solo mejora las propiedades físicas de la pasta, sino que también representa una opción más económica en comparación con las pastas comerciales que dependen mayormente de materiales externos. Estos resultados abren la posibilidad de fortalecer la producción cerámica local, promoviendo la sostenibilidad, la identidad cultural y el desarrollo económico en Baja California.

6.10. Recomendaciones

Es recomendable continuar con el diseño de un manual que permita al ceramista realizar pruebas organolépticas con instrumentos y replicarlas bajo las mismas condiciones, para hacer una evaluación acertada, registrar tanto el manual como el modelo de utilidad de cada herramienta diseñada. Por otra parte es importante continuar con el diseño de bitácoras para la captura de datos que permitan interpretarlos de manera acertada, esto puede ser a partir de la generación de tablas de materias primas recomendadas basadas en los datos recabados, como material de apoyo de aprendizaje para los ceramistas. Es elemental continuar evaluando las herramientas desarrolladas durante este proyecto de investigación.

Es elemental dotar de capacitación y herramientas a estas comunidades, retornar a las prácticas tradicionales que les permitan el desarrollo de nuevos productos implementando prácticas sostenibles a partir de materias primas que se encuentran en su entorno. Para contrarrestar los efectos negativos de la industria cerámica es necesario compartir herramientas y capacitación a las comunidades de ceramistas que producen cerámica a menor escala, abriendo posibilidades de desarrollo empresarial regional.

Se recomienda también la impartición de talleres en comunidades de ceramistas para dar a conocer los procesos, herramientas y conocimientos de esta investigación así como el acceso libre a los manuales, herramientas y bitácoras

En relación al uso de las arcillas de Mexicali es altamente recomendable continuar con la formulación de una barbotina y una pasta para torno cerámico como una alternativa para los ceramistas de la región. Se recomienda continuar con análisis de absorción para identificar el comportamiento esperado con esmalte, así mismo se recomienda continuar con análisis de resistencia al impacto y determinar si se requieren otros aditivos para mejorar la pasta.

En relación a la creación de una pasta cerámica 100% a base de materiales regionales es importante comenzar a experimentar con residuos y arcillas regionales para estabilizarlas y reducir el consumo de ball-clay y caolín.

Anexos

Video de los procesos

[Mezcla](#)

[Plasticidad por aro](#)

[Plasticidad por moño](#)

[Plasticidad por cola de cochi](#)

Referencias

Aguiar, M. C. de, Gadioli, M. C. B., Sant'Ana, M. A. K., Almeida, K. M. de, Vidal, F. W. H., y Vieira, C. M. F. (2022). Cerámica roja producida con procesamiento primario de residuos finos de piedras ornamentales según el modelo de economía circular.

Ahmed, M. M., El Naggar, K. A. M., Abadir, M. F., Abbas, W., y Hamid, E. M. A. (2022). Reciclaje de residuos de escorias de hierro en la producción de tejas cerámicas.

Banda Castro, A. L., Pinto Martínez, A. M., y Santa Cruz Castillo, N. (2018). *Acciones prácticas en materia de sustentabilidad* (1.^a ed.). Qartuppi.

<https://doi.org/10.29410/QTP.18.08>

Bárbaro, L., Quaranta, N., y Pelozo, G. (2020). Aprovechamiento de cenizas volantes y sedimentables provenientes de la valorización energética de cáscaras de maní, como materia prima de la industria cerámica. *AJEA*, 5, Article 5. <https://doi.org/10.33414/ajea.5.673.2020>

Bartolomé, J. F. (1997). *El Caolín: Composición, estructura, génesis y aplicaciones* (No. 1). 36(1), Article 1.

Bedoya Salazar, A., y Valencia González, M. P. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática.

Benítez, S. M. D. H. (2020). El método científico y la filosofía como herramientas para generar conocimiento. *Revista Filosofía UIS*, 19(1), Article 1.

<https://doi.org/10.18273/revfil.v19n1-2020010>

Bernardo, E., Elsayed, H., Mazzi, A., Tameni, J., Gazzo, S., y Contrafatto, L. (2022). Materiales de construcción sostenibles de doble vida a partir de la activación alcalina de cenizas volcánicas / mezcla de vidrio desechada.

Biblioteca digital ¿Qué son las arcillas? (2024, noviembre 15).

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.html

Cáceres, V. I., García, A. L. C., y Molina, J. S. (2021). Caracterización de materiales arcillosos y su potencial aplicación en la industria cerámica. En *Sello Editorial Unipamplona*. Sello Editorial Unipamplona. <https://doi.org/10.24054/seu.18>

Carretero Ayuso, M. J., y García Sanz-Calcedo, J. (2018). Comparación entre sistemas de construcción de techos de edificios basados en el ACV.

Chin, C. L., Ahmad, Z. A., y Sow, S. S. (2017). Relationship between the thermal behaviour of the clays and their mineralogical and chemical composition: Example of Ipoh, Kuala Rompin and Mersing (Malaysia). *Applied Clay Science*, 143(March), 327–335.

<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.037>

Clop García, X. (2019a). Grounds, pastes and pots. Some questions on research on the management of raw materials to make pottery. *Treballs d'Arqueologia*, 23, 13.

<https://doi.org/10.5565/rev/tda.105>

Clop García, X. (2019b). 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, 13-35. <https://doi.org/10.5565/rev/tda.105>

Coutinho, N. C., Loiola, R. L., Paes, H. R., y Holanda, J. N. F. (2019). Aprovechamiento de residuos de ceniza de leña en porcelanato silíceo eléctrico.

Da Silva, R. G., y Da Silva, V. P. (2017). Contribución más limpia: contribuciones prácticas y teóricas para la sustentabilidad de la cerámica roja

Díaz, L. A., y Torrecillas, R. (2002). *Arcillas cerámicas: Una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones*. <https://digital.csic.es/handle/10261/4676>

Dolors. (2017). *CERÁMICA ARTÍSTICA: LAS TÉCNICAS PARA TRABAJAR LA CERÁMICA CON OFICIO Y ARTE*. Parramón.

Dominguez, J. (2024). *LAS ARCILLAS: EL BARRO NOBLE*.

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/arcillas.html>

Efecto de la adición de residuos orgánicos (polvo de corcho, cáscara de nuez, posos de café y lodos de papel) en arcillas para la obtención de áridos ligeros expandidos. (2024, noviembre 16). <https://www.elsevier.es/en-revista-boletin-sociedad-espanola-ceramica-vidrio-26-pdf-S0366317522000152>

Efecto de la adición de residuos orgánicos (polvo de corcho, cáscara de nuez, posos de café y lodos de papel) en arcillas para la obtención de áridos ligeros expandidos. (s. f.).

Recuperado 15 de noviembre de 2024, de

<https://www.elsevier.es/en-revista-boletin-sociedad-espanola-ceramica-vidrio-26-pdf-S0366317522000152>

Fabara Salazar, D. K., y Rodríguez Carrillo, C. P. (2016). Reutilización de residuos industriales del proceso de fabricación de sanitarios, como materia prima para la producción de ladrillos de la Planta de Edesa Quito.

Fabara Salazar, D. K., y Rodríguez Carrillo, C. P. (2016). Reutilización de residuos industriales del proceso de fabricación de sanitarios, como materia prima para la producción de ladrillos de la Planta de Edesa Quito.

Fernández Hevia, D., Caballero, A. C., De Frutos, J., y Fernández, J. F. (2004). Espectroscopia de admitancias de banda ancha aplicada al control microestructural de propiedades eléctricas en varistores cerámicos. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 43(3), Article 3. <https://doi.org/10.3989/cyv.2004.v43.i3.474>

Fernández, J. (1962). Plasticidad de las arcillas. *Plasticidad de las arcillas*, 1(7), Article 7.

Fernández, J. (2007a). *Diccionario de cerámica tomo 1* (2.^a ed., Vol. 1). Condorhuasi.

Fernández, J. (2007b). *Diccionario de cerámica tomo 2* (Vol. 2). Condorhuasi.

Fernández, J. (2007c). *Diccionario de cerámica tomo 3* (2.^a ed., Vol. 3). Condorhuasi.

Ferrero, J. (2024, noviembre 16). *Tecnología Cerámica*. Tecnología de los Materiales Cerámicos. <https://ceramica.name/teoria/arcilla>

Fuentes Molina, N., Isenia León, S. A., y Ascencio Mendoza, J. G. (2019). Adición de lodos residuales en la elaboración de matrices de cerámicas. *Revista EIA*, 16(32), Article 32. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1061>

Gaibor, N., Mateus, R., Leitão, D., Cristelo, N., Miranda, T., Pereira, E. N. B., y Cunha, V. M. C. F. (2023). Evaluación de la sostenibilidad de paneles semisándwich basados en cemento de

residuos de cerámica/escoria activados con álcali frente a soluciones de construcción convencionales.

Galan, E., y Aparicio, P. (2006). *Materias primas para la industria cerámica*.

https://www.researchgate.net/publication/233911019_Materias_primas_para_la_industria_ceramica

García Martínez, K. M. (2017). *Alternativas para la producción de obra artística en cerámica: Caso taller de cerámica de la Universidad Autónoma de Baja California de Mexicali*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Artes y Diseño.

Garduño, E. (with Universidad Autónoma de Baja California). (2016). *En donde sale el sol: Decadencia y revitalización de la cultura yumana en Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California.

Ginés, F., Feliu, C., García Ten, J., y Sanz, V. (1997). Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 36(1), Article 1 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4585752>

y

Guillem, C., y Guillem, C. (1988). *Terminología cerámica (i)*. 27, 87.

Hevia, R. (2012). *Materias primas: importancia de su conocimiento para la formulación cerámica*. [Documento en línea]. [REPOSITORIO SEGEMAR](#) Consultado el 25 de abril de 2025.

Inoriza, R. (2003). Introducción a los materiales refractarios. *Técnica Industrial*, 248, 54-57.
consulta 29 de abril 2025

<https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/6/43/a43.pdf>

Li, R., Yin, Z., y Lin, H. (2023). Estado de la investigación y perspectivas para la utilización de relaves de plomo-zinc como materiales de construcción.

Lin, D.-F., Wang, W.-J., Chen, C.-W., y Lin, K. L. (2021). Aplicación de una mezcla de cenizas de fondo de incineradores municipales y cenizas de lodos de depuradora para cerámicos fabricación de azulejos.

Llopis-Castelló, D., Alonso-Troyano, C., Álvarez-Troncoso, P., Marzá-Beltrán, A., y García, A. (2022). Diseño de Mezclas Asfálticas Sustentables para Ciclovías Utilizando RAP y Cerámico Desperdiciar como sustitutos de los agregados naturales.

Luzán Cervantes, M., y López Zamora, R. de J. (2017). *Factores de localización y especialización en la industria de la cerámica en México. El caso de la fabricación de azulejos cerámicos y muebles de baño.*

<https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2017/industria-ceramica-mexico.html>

Meena, R. V., Jain, J. K., Chouhan, H. S., y Beniwal, A. S. (2022). Uso de desperdicio cerámica para producir hormigón sostenible: una revisión.

Meijueiro Morosini, M. (2004). *La química de los materiales cerámicos para el diseño y la industria* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].

<https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000336778>

Mir, N., Khan, S. A., Kul, A., Sahin, O., Lachemi, M., Sahmaran, M., y Koç, M. (2022). Análisis del ciclo de vida de baldosas cerámicas recicladas binarias y geopolímeros a base de residuos de ladrillos reciclados.

Molina, N. F., León, S. A. I., y Mendoza, J. G. A. (2019). Adición de lodos residuales en la elaboración de matrices de cerámicas. *Revista EIA*, 16(32), Article 32.

<https://www.redalyc.org/journal/1492/149259728001/html/>

Morales Güeto, Juan. (2005). *Tecnología de los materiales cerámicos*. Diaz de Santos : Consejería de Educación, Comunidad de Madrid.

Moran, M. (2024, noviembre 14). Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. *Naciones Unidas*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Morosini, M. M. (s. f.). *LA QUÍMICA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS PARA EL DISEÑO Y LA INDUSTRIA*.

Neves, C. M. M., Faria, O. B., Rotondaro, R., Salas, P. C., y Hoffmann, M. V. (s. f.). *RED IBEROAMERICANA PROTERRA REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA*. 34.

News. (2024, noviembre 8). Ceramic World Web. <https://ceramicworldweb.com/en/news>

News. (s. f.). Ceramic World Web. Recuperado 7 de noviembre de 2024, de

<https://ceramicworldweb.com/en/news>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

Pescari, S., Budaú, L., Ciubotaru, R., y Stoian, V. (2022). Estudio de sostenibilidad de bloques de hormigón con astillas de madera utilizados en muros estructurales en zonas sísmicas.

Pitarch, A. M., Reig, L., Tomás, A. E., Forcada, G., Soriano, L., Borrachero, M. V., Payá, J., y Monzó, J. M. (2021). Actividad puzolánica de azulejos, ladrillos y cerámico sanitarios en cementos mezclados Portland ecológicos.

Pranckevičienė, J., y Pundienė, I. (2022). Uso de silicato de magnesio contaminado con compuestos orgánicos en materiales cerámicos como modificador de poros.

Robayo-Salazar, R., Valencia-Saavedra, W., y Mejía de Gutiérrez, R. (2022). Reutilización de Polvos y Áridos Reciclados de Residuos Mixtos de Construcción y Demolición en Materiales Alcalinos Activados y Unidades Prefabricadas de Hormigón.

Sánchez, J., Gonzalez, J., y Ramirez, W. (2019). *EL CLÚSTER CERÁMICO Apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander* (2019.^a ed.).

Sánchez-Zúñiga, J. V., Sánchez-Molina, J., y Flores-Vargas, A. (2020). Empleo del residuo agroindustrial del plátano como sustituto parcial del feldespatos en la formulación de pastas en cerámica.

Schön, D. A. (2013). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Ashgate.

Secretaría de economía. (2022). *Perfil de mercado del caolín* (p. 46).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/692303/3._Perfil_Caol_n_2021_T_.pdf

Silva, A. C. M., Castro, F. C., Valente Neto, M. M. N. S., Soares, D. S. de Resende, y Bezerra, A. C. S. (2019). Reciclaje de residuos cerámicos como materia prima en la producción de sanitarios.

Silva, K. R., Menezes, R. R., Campos, L. F. A., y Santana, L. N. L. (2022). Una revisión sobre la producción de cerámica porosa utilizando residuos industriales orgánicos e inorgánicos.

Singer, F., Singer, S. S., y Dominguez Sanz, J. (1979). *Cerámica industrial*. URMO.

Terrones-Saeta, J. M., Fortes, J. C., Luís, A. T., Aroba, J., Díaz-Curiel, J., Romero, E., y Grande, J. A. (2022). Aplicación de herramientas de lógica difusa a la caracterización de procesos de tensión-deformación en geopolímeros de presas de construcción de residuos: una nueva minería circular.

Uchegbulam, I., Momoh, E. O., y Agan, S. A. (2022). Potenciales de los derivados de la cáscara de palmiste: una revisión crítica sobre la recuperación de residuos para la sostenibilidad ambiental.

Valencia, N. (2015). TU Delft desarrolla prototipo de bioconcreto, el concreto que se repara a sí mismo.

Vázquez Malagón, E. del C. (2001). *La cerámica en el diseño industrial, algunas propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados*. [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://repositorio.unam.mx>

Vázquez, E. (2005). *Materiales cerámicos propiedades, aplicaciones y elaboración*. UNAM.

Veiga Simão, F., Chambart, H., Vandemeulebroeke, L., y Cappuyns, V. (2021). Incorporación de residuos sulfurosos de minería en tejas y bloques cerámicos.

Younis, M. O., Amin, M., y Tahwia, A. M. (2022). Durabilidad y características mecánicas del hormigón autopolimerizable sostenible utilizando triturado cerámico y residuos de ladrillos.

Yuan, Q., Mohajerani, A., Kurmus, H., y Smith, J. V. (2021). Posibles opciones de reciclaje de materiales de desecho en la fabricación de baldosas cerámicas.

Zanelli, C., Domínguez, E., Iglesias, C., Conte, S., Molinari, C., Soldati, R., Guarini, G., y
Dondi, M. (2019). Reciclaje de lodos de boro residuales en baldosas cerámicas.