



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**

**Facultad de Ingeniería  
Campus I**

**Coordinación de Investigación y Posgrado**

**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ARCILLAS Y SU  
RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DE LOS FILTROS  
CERÁMICOS PARA POTABILIZAR AGUA EN  
CHIAPAS”.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN HIDRÁULICA**

**PRESENTA:  
ING. IRENE SÁNTIZ GÓMEZ 13012031**

**DIRECTOR DE TESIS  
DRA. PATRICIA ELKE RODRÍGUEZ SCHAEFFER**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; NOVIEMBRE 2021.**





Tuxtla Gutiérrez; Chiapas.  
A 11 de junio del 2021  
Oficio. FI. 01/940/2021

**C. Irene Santíz Gómez**  
**Maestría en Ingeniería con formación en Hidráulica**  
**Presente.**

Por este medio comunico a usted, que se autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado:  
"Análisis de la variación de las propiedades físicas de las arcillas y su relación con la eficiencia de los  
filtros cerámicos para potabilizar agua en Chiapas", para que pueda continuar con los trámites de  
titulación para la obtención del Grado de la Maestría en Ingeniería con formación en Hidráulica.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**Atentamente.**  
**"Por la conciencia de la necesidad de servir"**

**Dr. José Alonso Figueroa Gallegos**  
**Encargado de Dirección**



**DIRECCIÓN DE LA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

C. c. p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. - F.I.  
Archivo Minutario.  
JAFG/DEC/tcpg\*





Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.**

El (la) suscrito (a) ING. IRENE SANTIZ GOMEZ  
Autor (a) de la tesis bajo el título de "ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ARCILLAS Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DE LOS FILTROS CERÁMICOS PARA POTABILIZAR AGUA EN CHIAPAS" presentada y aprobada en el año 20 21 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN HIDRÁULICA autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 20 días del mes de NOVIEMBRE del año 20 21.

IRENE SANTIZ GOMEZ

Nombre y firma del Tesista o Tesistas



AUTONOMA

DEDICATORIA:

A mis padres.

Sr. Alonso y sra. María; por ser el cimiento de mi educación y metas en la vida, por enseñarme que la educación es primordial, y por darme paz en los momentos de ansiedad. Todo mi amor.

A mis hijos.

Héctor y Valeria; por ser la energía que necesito día con día, por darme una felicidad que no conocía, gracias por darle sentido a mis metas en el presente y darme un futuro.

AGRADECIMIENTOS:

A mis asesores.

Mi más grande y sincero agradecimiento a mis asesores por toda la paciencia y palabras de aliento. Por su tiempo, sus enseñanzas y todo su apoyo.

A la Universidad Autónoma de Chiapas.

En especial a la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de ser un alumno más, facilitarme las instalaciones y laboratorios durante el proceso de investigación de este documento.



## ÍNDICE

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                 | 1  |
| CAPÍTULO 1. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN .....                       | 4  |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                                | 5  |
| 1.1.1 GENERAL .....                                                | 5  |
| 1.1.2 ESPECÍFICOS .....                                            | 5  |
| 1.2 HIPÓTESIS .....                                                | 5  |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN .....                                            | 6  |
| 1.4 ALCANCES DEL PROYECTO .....                                    | 9  |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....                                    | 10 |
| 2.1 ANTECEDENTES .....                                             | 11 |
| 2.2 COMPONENTES DEL FILTRO CERÁMICO .....                          | 14 |
| 2.2.1 VENTAJAS .....                                               | 15 |
| 2.2.1.1 IMPACTO SOCIOECONÓMICO .....                               | 16 |
| 2.2.2 DESVENTAJAS .....                                            | 17 |
| 2.3 MANUFACTURA DEL FILTRO CERÁMICO .....                          | 17 |
| 2.3.1 OBTENCIÓN DE INSUMOS .....                                   | 17 |
| 2.3.2 DISPOSICIÓN DE INSUMOS .....                                 | 18 |
| 2.3.3 MEZCLADO .....                                               | 19 |
| 2.3.4 MOLDEADO .....                                               | 19 |
| 2.3.5 COCCIÓN .....                                                | 20 |
| 2.3.6 VERIFICACIÓN DE TASA DE FILTRACIÓN (PRUEBA DEL CAUDAL) ..... | 21 |
| 2.3.7 IMPREGNACIÓN DE PLATA COLOIDAL .....                         | 23 |
| CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS .....                      | 24 |
| 3.1 CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS .....                                | 27 |
| 3.1.1 GRANULOMETRÍA .....                                          | 28 |

|                                              |                                                                              |    |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2                                        | LÍMITES DE ATTERBERG .....                                                   | 31 |
| 3.1.2.1                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD .....                                                 | 32 |
| 3.1.2.2                                      | LÍMITE PLÁSTICO .....                                                        | 36 |
| CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DE LOS FILTROS ..... |                                                                              | 38 |
| 4.1                                          | PREPARACIÓN DE INSUMOS .....                                                 | 39 |
| 4.1.1                                        | ARCILLA .....                                                                | 39 |
| 4.1.2                                        | ASERRÍN.....                                                                 | 40 |
| 4.1.3                                        | AGUA.....                                                                    | 40 |
| 4.2                                          | MEZCLA .....                                                                 | 41 |
| 4.3                                          | MOLDEAR.....                                                                 | 42 |
| 4.4                                          | COCCIÓN DE FILTROS.....                                                      | 45 |
| 4.5                                          | VERIFICACIÓN DE FUNCIONALIDAD .....                                          | 48 |
| 4.6                                          | FILTRO CERÁMICO EN CHIAPAS (FILTROCHIS).....                                 | 49 |
| CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....     |                                                                              | 53 |
| 5.1                                          | ESTUDIO DE ARCILLA .....                                                     | 54 |
| 5.1.1                                        | GRANULOMETRÍA.....                                                           | 54 |
| 5.1.2                                        | LÍMITES DE ATTERBERG.....                                                    | 60 |
| 5.2                                          | PRODUCCIÓN DE FILTROS CERÁMICOS .....                                        | 63 |
| 5.2.1                                        | PROCESO DE FABRICACIÓN .....                                                 | 63 |
| 5.2.2                                        | ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO .....                                             | 65 |
| 5.3                                          | CORRELACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS Y LOS FILTROS CERÁMICOS ..... | 67 |
| CONCLUSIONES .....                           |                                                                              | 71 |
| RECOMENDACIONES .....                        |                                                                              | 73 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                           |                                                                              | 74 |



## ÍNDICE DE IMÁGENES

|            |                                                                                      |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.  | Captación de agua para sistema de distribución. 4 de Agosto Cintalapa, Chiapas. .... | 6  |
| Figura 2.  | Recolección de agua directo de la fuente. El Remolino Huitiupán, Chiapas .....       | 6  |
| Figura 3.  | Filtros despedazados por altas temperaturas. ....                                    | 8  |
| Figura 4.  | Filtro vitrificado por altas temperaturas. ....                                      | 8  |
| Figura 5.  | Principales elementos del filtro cerámico .....                                      | 14 |
| Figura 6.  | Pirómetro con temperatura necesaria. ....                                            | 21 |
| Figura 7.  | Pirómetros después de cocción. ....                                                  | 21 |
| Figura 8.  | Filtro con fisuras o con poros de mayor tamaño. ....                                 | 22 |
| Figura 9.  | Prueba de burbujas en filtros cerámicos .....                                        | 22 |
| Figura 10. | Extracción de arcilla .....                                                          | 25 |
| Figura 11. | Embolsado de arcilla. ....                                                           | 25 |
| Figura 12. | Etiquetado de muestras. ....                                                         | 26 |
| Figura 13. | Ladrillera “los Mangos”. ....                                                        | 26 |
| Figura 14. | Secado de muestras. ....                                                             | 26 |
| Figura 15. | Disgregado de muestras. ....                                                         | 26 |
| Figura 16. | Colección de muestras. ....                                                          | 27 |
| Figura 17. | Secado de todas las muestras. ....                                                   | 27 |
| Figura 18. | Colocación de muestra en vaso metálico para saturación .....                         | 29 |
| Figura 19. | Lavado de muestra de arcilla .....                                                   | 29 |
| Figura 20. | Juego de mallas para cribado .....                                                   | 30 |
| Figura 21. | Material retenido en cada una de las mallas .....                                    | 31 |
| Figura 22. | Muestra en cápsula de porcelana para homogeneizar. ....                              | 33 |
| Figura 23. | Muestra ranurada en copa de Casagrande. ....                                         | 34 |
| Figura 24. | Peso de muestra más peso de cápsula. ....                                            | 34 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25. Llenado de barra, contracción lineal.....                      | 35 |
| Figura 26. Formación de cilindros de arcilla sobre placa de vidrio.....   | 36 |
| Figura 27. Límite plástico de la arcilla. ....                            | 37 |
| Figura 28. Molino de piedras.....                                         | 39 |
| Figura 29. Molienda de arcilla.....                                       | 39 |
| Figura 30. Reserva de arcilla cribada.....                                | 39 |
| Figura 31. Molino de piedras.....                                         | 39 |
| Figura 32. Cribado de aserrín. ....                                       | 40 |
| Figura 33. Secado de aserrín.....                                         | 40 |
| Figura 34. Mezclado de insumos en seco. ....                              | 41 |
| Figura 35. Mezclado de insumos con humedad. ....                          | 41 |
| Figura 36. Formación de cubo. ....                                        | 42 |
| Figura 37. Mezcla dentro de molde. ....                                   | 43 |
| Figura 38. Colocación de molde macho.....                                 | 43 |
| Figura 39. Acción de gato hidráulico.....                                 | 43 |
| Figura 40. Resanado de hendiduras. ....                                   | 43 |
| Figura 41. Separación de filtro del molde hembra. ....                    | 44 |
| Figura 42. Colocación filtro para secado. ....                            | 44 |
| Figura 43. Desembolsado de filtro cerámico. ....                          | 44 |
| Figura 44. Grietas en filtro cerámico por pérdida brusca de humedad. .... | 44 |
| Figura 45. Horno de leña para filtros cerámicos. ....                     | 45 |
| Figura 46. Llenado de horno.....                                          | 46 |
| Figura 47. Pirómetro digital.....                                         | 47 |
| Figura 48. Cono pirométrico dentro de horno.....                          | 47 |
| Figura 49. Saturación de prototipos.....                                  | 48 |
| Figura 50. Prueba tasa de filtración. ....                                | 48 |



|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Figura 51. Llenado de prototipos.....     | 65 |
| Figura 52. Medición de agua filtrada..... | 65 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.- Pruebas de calidad del agua muestra filtrada de la localidad de Zinacantán.....       | 51 |
| Tabla 2. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 1. .... | 55 |
| Tabla 3. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 2. .... | 55 |
| Tabla 4. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 3. .... | 56 |
| Tabla 5. Material retenido en mallas durante granulometría, muestra No. 4. ....                 | 56 |
| Tabla 6. Material retenido en mallas durante granulometría, muestra No. 5. ....                 | 57 |
| Tabla 7. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 6. .... | 57 |
| Tabla 8. Material retenido en mallas durante granulometría, muestra No. 7. ....                 | 58 |
| Tabla 9. Filtros moldeados con arcilla de ladrillera los mangos. ....                           | 64 |
| Tabla 10. Resultado de prueba de filtración. ....                                               | 66 |
| Tabla 11. Resumen muestra no. 1 .....                                                           | 67 |
| Tabla 12. Resumen muestra no. 2 .....                                                           | 67 |
| Tabla 13. Resumen muestra no. 3 .....                                                           | 68 |
| Tabla 14. Resumen muestra no. 4 .....                                                           | 68 |
| Tabla 15. Resumen muestra no. 5 .....                                                           | 68 |
| Tabla 16. Resumen muestra no. 6 .....                                                           | 69 |
| Tabla 17. Resumen muestra no. 7 .....                                                           | 69 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 1. Temperaturas en horno de ladrillo durante cocción de filtros. ....            | 47 |
| Gráfica 2. Granulometría de cada muestras recolectada en la ladrillera “los Mangos”..... | 54 |
| Gráfica 3. Porcentaje de arena en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”. .... | 59 |
| Gráfica 4. Límite líquido en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”. ....      | 60 |
| Gráfica 5. Límite plástico en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”. ....     | 61 |
| Gráfica 6. Índice plasticidad en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”. ....  | 61 |
| Gráfica 7. Carta de plasticidad, muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”. ....  | 62 |

# INTRODUCCIÓN

El filtro cerámico es una eco tecnología promovido por varias organizaciones no gubernamentales, entre ellas “Potters for Peace” (ceramistas por la paz; CPP), este sistema consiste en una unidad de tratamiento de agua a escala unifamiliar. Según Rivera (2005) el filtro esta fabricado con una mezcla que contiene 50% arcilla, 50% aserrín, es cocido a temperaturas de 890°C a 900°C aproximadamente para volatilizar el aserrín a fin de que el espacio ocupado por este se convierta en micro-poros del cuerpo filtrante.

Se han efectuado variedad de estudios en diversos lugares del mundo a cerca de la aceptación del filtro cerámico en la población, estos han demostrado que los filtros cerámicos son una opción para mejorar la calidad de agua de consumo en gran parte de la población de escasos recursos económicos y bajos niveles educativos que no cuentan con agua digna. Ayudando así, a la prevención de enfermedades generadas por el consumo de agua sin potabilizar.

En el estado de Chiapas, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) ha sido la única institución en realizar estudios buscando la adaptación de esta eco tecnología con materiales propios del estado, especialmente con arcillas de diferentes características provenientes de diversas regiones del Estado de Chiapas (pueblos dedicados principalmente a la elaboración de piezas de cerámica), también se han realizado estudios sobre la aceptación de la población a esta tecnología.

Durante el proceso de manufactura de las unidades filtrantes realizadas en dicha facultad, se reveló que no todas las arcillas cuentan con propiedades dignas para obtener piezas eficaces. Algunas de estas arcillas han sido manejables durante los procesos de manufactura, mientras que otras arcillas han presentado diversas dificultades, al buscar respuestas sobre lo ocurrido, se ha encontrado que hasta la fecha no existe documentación concluyente relacionada a la forma de identificar y medir las propiedades físicas de las arcillas que permita seleccionar a las que sean más adecuadas para la fabricación eficiente de los filtros cerámicos.

Se considera importante llevar a cabo los estudios pertinentes para mejorar los procesos de selección de las arcillas con propiedades adecuadas para la fabricación eficaz de los



dispositivos de purificación de agua, a fin de que con ello se pueda evitar las pérdidas de materiales, tiempo y otros recursos.

Por tal motivo, el presente proyecto, denominado: “Análisis de la variación de las propiedades físicas de las arcillas y su relación en la eficiencia de los filtros cerámicos”, pretende el estudio de las proporciones de materias primas principales (arcilla, aserrín y arena), así como la identificación de las arcillas óptimas para la fabricación de dicha eco tecnología.

Cabe mencionar que los filtros cerámicos logrados exitosamente, han sido sometidos a análisis de tasas filtración y pruebas de calidad al agua recolectada después de su paso por la unidad filtrante, obteniéndose resultados plausibles en la mayoría de los casos.

# **CAPÍTULO 1. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 GENERAL**

Mejorar el proceso de selección de las arcillas para la fabricación eficiente de los filtros cerámicos para potabilizar agua a escala unifamiliar, con el fin de lograr que la producción sea más consistente y eficaz, obteniendo productos más atractivos a ser utilizados en hogares de bajos recursos económicos, y con ello reducir las pérdidas de insumos que provoca una mala elección. Así como, presentar proporciones de insumos esenciales para la fabricación de estos.

### **1.1.2 ESPECÍFICOS**

- Identificar propiedades físicas de arcillas que intervienen en la manufactura y eficiencia de filtrado.
- Realizar piezas de filtros cerámicos con diferentes mezclas en proporciones de insumos.
- Analizar la eficiencia a las piezas elaboradas recientemente.
- Comparar resultados obtenidos con las diferentes mezclas de insumos y diversas arcillas utilizadas en las piezas elaboradas en el taller de filtros cerámicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

## **1.2 HIPÓTESIS**

Las propiedades físicas de las arcillas intervienen significativamente tanto en el proceso de manufactura como en la eficiencia del filtro cerámico para potabilizar agua a escala unifamiliar.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Para suministrar agua potable a la población, el gobierno y municipios han optado por realizarlo de manera convencional, es decir, con cantidades de redes de tuberías, lo cual atenúa la posibilidad de realizar este acceso a la mayoría de las comunidades rurales de nuestro estado, ya que las viviendas se encuentran ampliamente separadas unas de otras, razón que genera grandes costos y con ello la imposibilidad de cubrir al 100% este servicio.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015) el “94.57% de la población en Chiapas cuenta con servicio de agua entubada dentro de la vivienda y dentro del terreno, proveniente de redes públicas de abastecimiento o de otras fuentes, y tan solo el 49.9 % cuenta con agua entubada dentro de la vivienda”, agua entubada no es igual a agua potable, en algunas localidades rurales de Chiapas el agua suministrada proviene de riachuelos existentes en esas localidades, mismas que se recolectan y luego se distribuyen a la población, y no cumplen con las normas necesarias para ser consideradas agua de consumo humano (ver figura 1 y 2).



Figura 1. Captación de agua para sistema de distribución. 4 de Agosto Cintalapa, Chiapas.

Fuente: Sántiz 2013



Figura 2. Recolección de agua directo de la fuente. El Remolino Huitiupán, Chiapas

Fuente: Sántiz 2012

Es entonces donde se tiene la necesidad de adaptar una eco tecnología que pueda ayudar a la población a convertir el agua existente o recolectada en las comunidades rurales en agua de buena calidad para consumo humano. Este sistema debe contar con ciertas características para no ser rechazado por los Chiapanecos; la producción, instalación y mantenimiento tienen que ser de bajo costo, fácil de operar y principalmente, la tecnología

aplicada no debe requerir alguna fuente de energía para poderse operar, ya que existen comunidades en donde no cuentan ni con energía eléctrica.

El sistema de tratamiento que puede definirse como: “filtro cerámico para potabilizar agua” cumple con estas características, además de ser unifamiliar. Este sistema consta de cuatro elementos que son los siguientes; recipiente contenedor, elemento filtrante, llave de agua plástica y tapa. Debe prestársele mayor importancia al elemento filtrante, ya que es en donde quedaran retenidas y deshabilitadas las bacterias contenidas en el agua, sin menospreciar a los otros tres elementos que también cumplen funciones elementales.

En 2012 surgieron las primeras investigaciones para adaptar dicha eco tecnología, la idea principal era proponer a las comunidades que cada una pudiera elaborar las piezas dentro de los talleres artesanales ubicados en sus localidades. Por este motivo se recolectaron arcillas principalmente de comunidades dedicadas a la alfarería en Chiapas (San Cristóbal de las Casas (tres muestras), Ocuilapa de Juárez (una muestra), Amatenango del Valle (una muestra), Yajalón (tres muestras), La Modelo, municipio de Ixtapa (una muestra), Suchiapa (dos muestras) y la Rivera las Flechas municipio de Chiapa de Corzo (una muestra), ya que estas contaban con materia prima (arcilla y horno de cerámica, entre otros).

Después de elaborar piezas de filtro cerámico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), se observó que dependiendo la procedencia de la arcilla utilizada, los prototipos elaborados mostraron una gran variedad de porosidad, y de igual manera resultados variados en cuanto a la potabilización del agua. Cabe mencionar que la primera cocción de los prototipos se realizó en un taller de cerámica ubicado en Ocuilapa de Juárez, ahí se reconocieron dificultades para el proceso de fabricación en los talleres de alfarería, ya que los hornos no alcanzan las temperaturas necesarias, ni cuentan con el equipo necesario para la fabricación de los elementos filtrantes. Se observaron ciertas diferencias en cuanto a la resistencia a las altas temperaturas.

Por ejemplo, los prototipos elaborados con la arcilla de Amatenango del Valle no resistieron la temperatura durante su cocción y si bien, al principio se agrietaron, al

momento de sumergirlos en agua tronaron y se despedazaron. Por otra parte, una de las arcillas de San Cristóbal de las Casas al elevarle la temperatura se fundió uniendo 4 prototipos de filtro en una sola pieza (ver figura 3 y 4).



Figura 3. Filtros despedazados por altas temperaturas.

Fuente: Sántiz 2010



Figura 4. Filtro vitrificado por altas temperaturas.

Fuente: Sántiz 2014

Por otro lado, en cuanto a la parte del mezclado de los insumos para elaborar los filtros cerámicos, esto se realiza gracias a una mezcladora de paletas, diseñada especialmente para mezcla de arcillas. Durante este proceso las arcillas también mostraron comportamientos diferentes, algunas de ellas presentaron facilidad de mezclado, otras tuvieron un comportamiento totalmente contrario.

En cuanto a porosidad y calidad de agua, también se observaron diversos resultados, por ejemplo, algunos tuvieron una muy alta tasa de filtración sin contener grietas y otras, baja tasa de filtración. Tratando de explicar estos fenómenos se buscó información acerca de cuáles eran las principales características que deben poseer las arcillas que garantizan un buen mezclado y funcionamiento del filtro cerámico, ya que existen un gran números de arcillas con diversas características dentro del Estado.

Después de cierto tiempo de búsqueda, no se logró encontrar una base con este tipo de datos. En la actualidad, en todo el mundo, se han realizado muchas investigaciones acerca del proceso de manufactura y aceptación del filtro, pero existen pocos trabajos en la que se estudie las características de las arcillas y su relación con la manufactura y eficiencia de este filtro.

Por tales motivos se pretende estudiar la variación de las propiedades de las arcillas y conocer su comportamiento durante la manufactura y uso de los filtros cerámicos, para hacer una aportación a los alfareros y fábricas que producen o pretendan producir esta tecnología, reconociendo e identificando un tipo de arcilla esclarecido, así como, proporciones de insumos y su variación en las tasas de filtración.

## **1.4 ALCANCES DEL PROYECTO**

Para la realización de esta investigación se cuenta con todos los datos obtenidos durante los primeros ensayos de la adaptación de esta eco tecnología, además de que se ha recolectado 7 muestras de una ladrillera denominada “Los Mangos”, del municipio de Chiapa de Corzo, esto con el fin de obtener un mayor número de comparativas de muestras. En cuanto a recursos monetarios cabe mencionar que este proyecto no cuenta con ninguna clase de recursos externos.

Con respecto a equipo y herramientas, se cuenta con lo necesario para la realización de dicho proyecto, esto es; una portátil propiedad del investigador, por parte de la UNACH están disponibles los laboratorios de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Facultad de Arquitectura, para ejecutar todas las pruebas requeridas para los insumos. Así como el taller de filtros cerámicos en Tuxtla Gutiérrez en el cual se encuentran los equipos y herramientas para la fabricación de filtros que han sido donados por la organización no gubernamental “Potters for Peace”, tales como; pulverizador, mezcladora de arcilla, prensa y moldes, horno de leña, entre otros.

Además se cuenta con asesores, docentes de la Facultad de Ingeniería quienes han trabajado y darán seguimiento a todo el proceso de manufactura y apoyaran el proyecto durante el tiempo destinado para este. También se posee asesoría de uno de los miembros distinguidos de la ONG, quien se ha mantenido en contacto y ha sido de gran ayuda durante el proceso de creación del taller de filtros en Chiapas.

# **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**



Para realizar el reconocimiento y estudio del filtro cerámico, es necesario conocer parte de su historia y características que aporten pautas para obtener productos confiables y de fácil aceptación para la población de Chiapas. Por lo cual este capítulo está destinado para presentar la información que se considera más pertinente.

## 2.1 ANTECEDENTES

Palma en (1994) escribió que, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 1981 financió un estudio que consistió en diseñar una tecnología apropiada para abastecer de agua potable a bajo costo a poblaciones de bajos recursos, los objetivos del proyecto consistían principalmente en:

- Producir un filtro doméstico.
- En una manera auto sostenible.
- Cuya producción promoviese la actividad económica de bajos ingresos
- Y que promoviera la actividad artesanal.

Se evaluaron los siguientes diez sistemas o métodos que podían ser soluciones en el marco de los objetivos fijados:

- 1) Filtro de vidrio con capas filtrantes de arena, grava y carbón vegetal.
- 2) Filtro de piedra tallada.
- 3) Filtro de arcilla moldeada en yeso, con capas filtrantes de carbón impregnado.
- 4) Filtro de hojalata con capas filtrantes de arena, grava y carbón.
- 5) Filtro de arcilla torneada con incorporación de candela filtrante.
- 6) Filtro de arcilla torneada con la adaptación de una candela de piedra pómez.
- 7) Filtro de arcilla torneada con incorporación de carbón vegetal.
- 8) Filtro de arcilla con capas filtrantes de carbón, arena y grava en la parte superior.
- 9) Filtro de arcilla torneada con incorporación de feldespatos, aserrín e impregnación de plata coloidal.

10) Filtro de arcilla torneada con incorporación de arena y aserrín e impregnación de plata coloidal.

Los diez sistemas o métodos fueron evaluados utilizando los criterios siguientes:

- Flujo de filtración
- Eficiencia bacteriológica.
- Sencillez de manufactura
- Disponibilidad de materiales
- Costo final
- Contribución a la actividad productiva de los sectores socioeconómicos de escasos ingresos
- Facilidad de distribución

Todos los modelos, con excepción de dos, fueron descartados después de la revisión inicial, debido a que no cumplían con los criterios básicos. Los dos modelos no descartados fueron:

- 1) El filtro de barro torneado, con feldespatos, aserrín e impregnación de plata coloidal.
- 2) El filtro de barro torneado, con arena, aserrín, e impregnación de plata coloidal.

La investigación se centró en los dos modelos que cumplían con los criterios básicos. Estos fueron propuestos por el Dr. Fernando Mazariegos quien investigó durante dos años (1981-1983), y extendidos por un periodo de 3 a 10 meses en el cual se realizaron análisis bacteriológicos. Los resultados del estudio incluyeron:

1. De 302 muestras filtradas que se analizaron, solo 6.3 por ciento tuvieron concentraciones menores a 1 coliforme por 100 ml de agua.
2. Se determinó que cuando la aplicación de la plata coloidal se efectuaba con una brocha su distribución era más uniforme en oposición al método de aplicación en el que filtraba agua con plata coloidal a través del elemento filtrante.
3. Se encontró contaminación frecuente tanto en el primer par de filtraciones (41% de contaminación) y después de levantar el filtro con la mano durante el muestreo. Lo que

se atribuyó al levantamiento del filtro con la mano, por lo cual se recomendó a los usuarios que evitaran tocar el elemento filtrante durante su vida útil. En correspondencia con las bacterias presentes en el ambiente “El uso del filtro debe acompañarse con prácticas de salud e higiene a fin de maximizar los beneficios potenciales en la salud”.

4. La tasa de permeabilidad del filtro declinó gradualmente de 3.5 L por hora en el primer día a 1.97 L por hora en el día 365. Basándose en estos resultados se concluyó que el filtro de barro impregnado con plata coloidal era el único que llenaba todos los criterios establecidos para el estudio.

Adicionalmente, Palma (1994) en las pruebas de laboratorio realizado durante su experimento indico que con una baja turbidez en el agua, la tasa de filtración sería mayor. Por lo cual el control de la producción fue considerada crucial para asegurar el tiempo de contacto suficiente entre la plata coloidal y el agua a fin de reducir efectivamente la contaminación bacteriológica. Ron Rivera quien fue un artesano que actuó como consultor del MAP (Programas de asistencia médica). Fue llevado para proveer asistencia técnica.

El siguiente logro en la historia del filtro se concretó cuando Ron Rivera fue contratado por la organización de Ceramistas Por la Paz, como el supervisor permanente de Ceramistas por La Paz en Nicaragua. También se puede mencionar que pese a que MAP internacional finalizó con resultados menores a lo esperado, Ron Rivera continuó brindando consultorías a otros proyectos y procedió a presentar el filtro como parte de La organización de CPP (ceramistas por la paz) en Ecuador, Bolivia y Nicaragua.

El siguiente paso en la evolución de los filtros se dio cuando Dominique Wilson se mostró interesada en el filtro. Ella había estado estudiando los métodos de purificación del agua y encontró que las personas no estaban utilizando correctamente el cloro y además que no había tiempo suficientemente largo para hervir el agua que asegura la desinfección. Wilson recibió fondos para estudiar el filtro de cerámica, encontrando que la educación en salud y el filtro podrían disminuir la diarrea infantil. Desafortunadamente el proyecto terminó con el estudio y el ONG carecía de una estrategia de mercado por lo cual discontinuó el trabajo con el filtro.

## 2.2 COMPONENTES DEL FILTRO CERÁMICO

Es una eco tecnología de tratamiento de agua en el punto de consumo que también permite rescatar valores propios de la entidad, debido a que se trabaja con barro, que es la base de la cultura en Chiapas. Socialmente, el consumo de agua potable, al reducir enfermedades gastrointestinales, protege la economía familiar de quien la utiliza. Este sistema consta de cuatro elementos importantes que son los siguientes; recipiente contenedor, elemento filtrante, llave de agua plástica y tapa (ver figura 5). Cada uno de estos elementos cumple con un papel importante, los cuales son los siguientes:

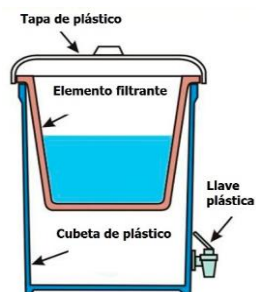


Figura 5. Principales elementos del filtro cerámico

Fuente: Rivera 2005

- Recipiente contenedor: es en el que se recibe y almacena el agua tratada, este recipiente debe ser esencialmente ocupado solo para esta labor, ya que al estar en contacto con otras sustancias o usado para otros fines podría contaminarse y con ello contaminar el agua filtrada, debe ser limpiada específicamente con agua tratada por el mismo filtro y clorada para no generar el crecimiento de bacterias que puedan quedar durante su limpieza.
- Elemento filtrante: El cuerpo filtrante de este sistema de potabilización, por su labor y diseño, puede considerarse como un medio poroso, en términos de la hidráulica. Según Rodríguez & Sánchez (2012) un medio poroso se distribuye de forma continua, tortuosa y lo componen tres fases bien diferenciadas: sólida, líquida y gaseosa. La primera, denominada matriz, está formada por las partículas minerales y orgánicas del suelo unidas mediante agregados más o menos estables. Las otras dos, compuestas por agua y aire con vapor de agua, ocupan los espacios huecos, poros, entre las partículas sólidas del

suelo. En este se retienen todos los contaminantes contenidos en el agua a tratar, es el responsable de la buena o mala calidad de agua para beber obtenida en este sistema, si el agua a tratar esta demasiada turbia (contiene tierra o partículas muy grandes) debe filtrarse antes por un trapo para no obstruir los poros del elemento y con ello deteriorar rápidamente su funcionalidad.

- Llave de agua plástica: la mayoría de la población de las localidades rurales, en el mejor de los casos, hierben el agua de consumo. Pero cometen error al almacenar esa agua en diversos recipientes como por ejemplo, cantaros, botes, cubetas, entre otros, en el que después introducen objetos pequeños para servirse de esa agua. Acción que contamina el agua de beber, si el objeto pequeño contiene bacterias o es tocada con las manos sucias. Esa es la principal justificación de la llave plástica en este sistema, evita la introducción de objetos ajenos y asegura el servicio de agua limpia.
- Tapa: la función de este elemento es el de mantener el agua tapada, lo cual evita la producción de mosquitos transmisores de enfermedades o introducción de insectos al recipiente, además de que previene la contaminación del agua.

### 2.2.1 **VENTAJAS**

Según Romero & Mejillón (2018) las ventajas que presenta el filtro cerámico son las siguientes:

- Reduce el contagio de enfermedades causadas por bactericidas.
- Propiedades organolépticas (textura, olor, color, sabor, temperatura) no se ven afectadas.
- Fácil empleo del filtro.

Por otra parte, en comparación con otras tecnologías de purificación, según Rivera en 2005 las ventajas que presenta el filtro cerámico se mencionan a continuación:

- Supera a los filtros lentos de arena, así como a otros sistemas de filtrado, debido a que estos solo aclaran el agua. Además de esta función inactiva bacterias.

- El filtro cerámico es una unidad de tratamiento y almacenamiento seguro de agua a escala familiar.
- Es fácil de utilizar, funciona todo el año y a toda hora (No requiere de suministro de energía).
- Supera al agua embotellada, al considerar los altos costos y las fuentes dudosas de dichos productos.
- Se compra solamente una vez por lo cual es un sistema económico.
- Culturalmente aceptable ya que muchas culturas almacenan su agua en ollas o tinajas.
- El recipiente permite servir directamente el agua gracias a que tiene una llave de agua.
- Producido por artesanos locales con materiales locales.

#### **2.2.1.1 IMPACTO SOCIOECONÓMICO**

El proceso de producción del filtro cerámico resulta ser de bajo costo debido a su diseño. El corazón de este sistema de tratamiento de agua; “el elemento filtrante” es fabricado con arcilla y aserrín en condiciones que no requieren tecnologías de alto nivel, pueden ser elaboradas en cualquier centro artesanal alfarero con insumos locales, para abaratar el costo.

Si se establece un proceso de control de calidad durante su manufactura, se puede garantizar una efectividad de potabilización de agua durante más de tres años, dependiendo de la cantidad de contaminantes contenidos en el agua a purificar, y mientras la pieza filtrante no se rompa. En estudios realizados por Vidal en (2010) encontró que los filtros con vida útil de hasta 7 años removieron el 100% de coliformes fecales y totales, indicando que la vida útil de los filtros cerámicos aun es indefinida, de cualquier modo, debe existir una política de re aplicación de plata coloidal, puesto que esta es la forma de hacer mantenimiento eficiente con un importante margen de seguridad.

El uso de este sistema tiene un gran impacto en la economía de los usuarios y de los alfareros, a los primeros abarata el costo de agua de consumo a gran escala. Por otro lado,

al hacer público la producción del filtro, a los ceramistas interesados les da la oportunidad de otro producto para comercializar.

### 2.2.2 **DESVENTAJAS**

Son pocas las desventajas que se tienen al usar este sistema de filtrado, de acuerdo a Rivera (2005), las siguientes son las únicas registradas hasta la fecha.

- El elemento filtrante es frágil y requiere de mantenimiento periódico.
- Necesita combustible para su producción.
- El agua al ser filtrada se deposita en el recipiente de plástico, por lo que debe tenerse cuidado en que este se mantenga siempre tapado con la finalidad de prevenir la contaminación del agua.
- Cambios en la tasa de filtración con el transcurso del tiempo, dependiendo la turbiedad del agua a filtrar, este puede, ser a la brevedad o retardado.

## 2.3 **MANUFACTURA DEL FILTRO CERÁMICO**

Para tener la producción de un filtro cerámico funcional es necesario prestar atención a cada uno de los pasos. A continuación se presentan cada uno de los procesos.

### 2.3.1 **OBTENCIÓN DE INSUMOS**

El primer paso para la elaboración de los filtros cerámicos comienza con la extracción de la arcilla a utilizar, para ello es necesario ir al banco de materiales con herramientas y recipientes o costales para recibir y almacenar el material mientras se extrae. La selección y extracción de la arcilla son procedimientos esenciales para la fabricación de los filtros cerámicos, ya que de esto depende la posterior creación de las piezas. Una arcilla mal

seleccionada o con impurezas por su mal manejo, entorpece una pieza de buena calidad o puede resultar imposible de trabajar.

En lo que respecta a la selección del material, es un paso de vital importancia pero a pesar de esto, poca información hay acerca de cómo realizarlo. Según los datos obtenidos por CMWG (2011) las fábricas en el mundo que se dedican a la fabricación de este filtro mencionaron haber identificado fuentes de arcilla confiables, las fábricas que se encuentran en Yemen y Colombia mencionaron los desafíos y los efectos de la calidad inconsistente de la arcilla en la producción de filtros. Las fuentes de arcilla generalmente son las que suelen utilizar los alfareros locales, mientras otras fábricas reciclan arcilla preformada en ladrillos.

### **2.3.2 DISPOSICIÓN DE INSUMOS**

La preparación de la arcilla inicia dependiendo la saturación que contenga, si esta contiene un alto grado de saturación debe extenderse sobre un suelo limpio para secarse, si esta se encuentra seca se continua con la pulverización en un molino o de manera manual; después de que esté bien pulverizado, se hace pasar por un tamiz bastante fino (malla número 30 semejante al tamaño de la malla mosquitero) para retener las partículas gruesas y otro tipo de impurezas que pueda tener la arcilla. De la misma manera son preparados el aserrín y la arena (se ocupa en algunos casos) si estos se encuentran saturados deben ponerse a secar y después de esto, son tamizados por el mismo número de malla. El tamaño de las partículas de los insumos es de vital importancia en la elaboración del filtro cerámico, ya que de estos depende el tamaño de los poros que contendrá al final de este proceso.

Lantagne (2001) asegura que el tamaño de los poros en el filtro se controla a través del tamaño y la cantidad de aserrín que es adicionado a la arcilla. Este aserrín es calcinado durante el proceso de quema, y crea una membrana de micro-poros dentro del filtro. Entonces el agua fluye a través de estos poros, con una tasa de filtración más alta si los poros son grandes y tasa baja de filtración si los poros son más pequeños, de igual forma



entre más pequeño sea el tamaño del poro, asegura retener más bacterias contenidas en el agua filtrada.

### 2.3.3 **MEZCLADO**

El mezclado de los insumos se realiza cuando estos se encuentran tamizados, en la receta original propuesta se encuentra que deben ser mezclados en volumen; 50% de arcilla y 50% de aserrín o algún otro material combustible, si es necesario las proporciones pueden variar ya que en algunos casos se ocupa arena que va en función de la calidad de la arcilla. Según CMWG (2011) Los insumos son colocados dentro del molino y son mezclados en seco durante 5 a 20 minutos, después se agrega agua y se mezcla húmedo durante 5 a 30 min, todos los ingredientes se mezclan en un total de tiempo de 45 minutos aproximadamente.

Existen fábricas donde el mezclado se realiza a mano, para ello es necesario mezclar en seco durante un periodo de 60 minutos y en húmedo por más tiempo, el proceso de mezcla manual lleva un tiempo aproximado de medio día. Esto es para garantizar enlaces uniformes de 1 a 1, es decir; una partícula de arcilla por una de aserrín. Con el fin de obtener micro poros de tamaño adecuado que imposibilite el paso de las bacterias.

### 2.3.4 **MOLDEADO**

Para dar forma a la mezcla de los insumos en estado húmedo, este primero es presionada con la mano hasta formar un cubo, tanto el molde masculino como el femenino de la prensa se cubren con una bolsa de plástico y se coloca un disco metálico dentro del molde hembra, este disco permite que el filtro se desmolde con facilidad al final del proceso, además de que le da firmeza al fondo del filtro mientras se encuentra húmedo.

La arcilla es colocada dentro del molde hembra, se deja caer el molde macho aflojando los cables que lo sostienen asegurando que este se encuentre horizontalmente, sobre este se coloca un gato hidráulico el cual se hace funcionar con la palanca hasta que los moldes del filtro se cierren, después de esto el gato es retirado para elevar un poco el molde macho

activando la manivela de la prensa, se da unos golpecitos al molde macho con el martillo de goma hasta que el filtro caiga dentro del molde hembra, enseguida se eleva el molde macho para poder retirar al molde hembra junto con el filtro, se quita la bolsa de plástico y se reparan las hendiduras o imperfecciones menores generadas en la circunferencia del filtro. Con ayuda de una manivela que se introduce dentro del molde hembra, el filtro es retirado y el plástico se separa del filtro para que durante el proceso de secado no se adhiera al él, enseguida se coloca una marca para reconocimiento y se deja secar dentro de la bolsa plástica para que pierda humedad de manera gradual y evitar que se generen grietas.

Pasado 2 o 3 días dependiendo del clima, al filtro se le retira el plástico y se reparan de igual forma las hendiduras o imperfecciones menores. Enseguida se colocan sobre un mueble para dejarlos secar por completo teniendo especial cuidado de que este no sea rápido y se generen grietas, y de igual forma cuidando que no se mueva mientras se encuentra secando, ya que esto también podría generar grietas y en el peor de los casos rompimiento de la pieza.

### 2.3.5 COCCIÓN

La cocción de las piezas filtrantes es uno de los pasos donde debe prestarse especial cuidado, este debe realizarse en un horno especial que alcance temperaturas altas, entre 700°C a 980°C. La literatura señala que el horno debe alcanzar los 890°C como mínimo para efectos de volatizar el aserrín contenido dentro de la mezcla. Por lo tanto el horno generalmente usado para este fin, es construido a base de ladrillo, concreto y acero. Para alcanzar esas temperaturas se pueden quemar dentro del horno diferentes combustibles (aceite quemado, gas, leña, entre otros).

Según Hester (2012) el horno no debe sobrepasar los 887 ° C porque los filtros podrían vitrificarse completamente (partículas de arcilla soldadas al vidrio) y no quedar porosidad. Para verificar que la temperatura se logre alcanzar se utiliza un juego de tres conos pirométricos (011, 012 y 014) para medir el trabajo térmico realizado en el horno. Cuando el cono 014 se dobla (llamado cono "guía"), es una indicación de que la cocción está casi

terminada. Cuando el cono 012 se dobla, es hora de dejar que el fuego se apague y comenzar el proceso de enfriamiento. Si el cono 011 se dobla, es una señal de que la temperatura se elevó en exceso (ver figura 6 y 7).



Figura 6. Pirómetro con temperatura necesaria.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 7. Pirómetros después de cocción.

Fuente: Sántiz 2016

El proceso de cocción comienza de manera lenta en las primeras 2 horas, este no debe sobrepasar los 100°C con la finalidad de eliminar de manera gradual la humedad aun contenida en las piezas filtrantes. Después se eleva poco a poco la temperatura a modo de alcanzar los 300°C a 400°C momento en el cual debe ocurrir el quemado del aserrín. Pasado ese tiempo debe incrementarse la temperatura hasta alcanzar la temperatura deseada, todo el proceso de cocción tarda entre 8 a 12 horas aproximadamente. Pasado este tiempo se termina la cocción y las piezas deben permanecer y enfriar dentro del horno aproximadamente por 24 horas, esto con el fin de que las piezas filtrantes no sufran cambio brusco de temperatura y se rompan.

### 2.3.6 VERIFICACIÓN DE TASA DE FILTRACIÓN (PRUEBA DEL CAUDAL)

Según CMWG (2011) el caudal de un filtro es la cantidad de agua que pasa a través de un filtro saturado lleno en la primera hora. Medido localmente, se utiliza como indicador de: 1) consistencia de la producción; 2) la presencia de grietas, agujeros o poros dilatados; y

3) tiempo de contacto potencial con la plata para que se desactive las bacterias de menor tamaño que pueden pasar a través de los poros del filtro. También es una consideración práctica importante, ya que los filtros necesitan tratar diariamente suficiente agua para una familia a un ritmo que sea conveniente para un patrón de uso apropiado, se recomienda un caudal mínimo de 1L/hr y un máximo de 2.5-3.5 L/hr dependiendo del tamaño de la olla (para 7.2L y 10L, respectivamente), aquí el tamaño de los poros juegan un papel importante, estos garantizan la retención de bacterias de tamaños mayores a un micrón.

Para verificar que las piezas filtrantes no contengan grietas o espacios mayores a los requeridos, después de sacarlos del horno se sumerge en agua con el borde hacia abajo. El tamaño y la frecuencia de las burbujas liberadas pueden detectar si hay una grieta ó espacios mayores y proporcionar evidencia de que, aunque la velocidad de flujo de este filtro podría estar dentro del rango correcto, se deben realizar inspecciones adicionales, como pruebas de bacterias (ver figuras 8 y 9). Después de realizar dicho procedimiento se dejan en saturación por un tiempo de 24 horas. Pasado el tiempo se procede a medir el caudal; los filtros son colocados dentro de un balde y llenados de agua por completo, después de dejarlos actuar por 1 hora se mide la cantidad de agua recibida. Se finaliza con el reconocimiento del filtro si paso o no la prueba de caudal, si este no pasa la prueba debe ser perforado para no ser utilizado como potabilizador.



Figura 8. Filtro con fisuras o con poros de mayor tamaño.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 9. Prueba de burbujas en filtros cerámicos

Fuente: Sántiz 2015

### **2.3.7 IMPREGNACIÓN DE PLATA COLOIDAL**

Vidal en (2010) detalló que la plata se ata a la membrana celular de las bacterias. Las células sensitivas entonces incrementan su tamaño y contenido citoplásmico, y las membranas celulares y estructuras celulares externas presenten anormalidades. Estas anormalidades resultan en lisis celular, ya que la plata reemplaza compuestos en la membrana celular que son requeridos para la estabilidad de la membrana celular.

Cabe mencionar que la aplicación de plata coloidal no afecta la tasa de filtración, ni el ph, ni la conductividad del agua filtrada. La plata coloidal necesita ser aplicada por dentro y por fuera del filtro para lograr el 100% de la inactivación bacterial.

# **CAPÍTULO 3.**

## **CARACTERIZACIÓN DE**

### **ARCILLAS**

Actualmente el término arcilla se usa con diferentes significados dependiendo de su aplicación, algunos de ellos son los siguientes:

- Para Juárez (2009) las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son productos finales de la descomposición química de las rocas modificando su constitución mineralógica o química.
- El término arcilla no sólo tiene relaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 mm. Lo cual indica que existe una gran variedad de arcillas.
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica que puede ser usado para varios fines, tales como; piezas de cerámica, utensilios, edificios, entre otros.

El primer objetivo de este estudio es medir la variación de las propiedades de la arcilla, para tener muestras de estudio se localizó una ladrillera denominada “los mangos” del municipio de Chiapa de Corzo, ubicada a unos minutos la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, ahí se encuentra un banco de arcilla que es explotada para la fabricación de ladrillos de venta local. Con los permisos del dueño del lugar y con ayuda de las herramientas facilitadas por los trabajadores se logró extraer 7 muestras localizadas a diferentes estratos del suelo (ver figuras 10, 11, 12 y 13). Cabe mencionar que las muestras fueron debidamente etiquetadas.



Figura 10. Extracción de arcilla  
Fuente: Sántiz 2015



Figura 11. Embolsado de arcilla.  
Fuente: Villalobos 2015



Figura 12. Etiketado de muestras.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 13. Ladrillera "los Mangos".

Fuente: Villalobos 2015

Las muestras se extendieron en pilas sobre una lona limpia para que se secasen al aire, de modo que pudieran ser disgregados los terrones que tuvieran mayor tamaño por un pisón metálico de manera manual. Todas las muestras se secaron al sol durante varias horas a temperatura ambiente cuidando que estas no se contaminaran con partículas ajenas o se mezclaran entre sí, luego se devolvieron a los costales etiquetados (ver figuras 14, 15, 16 y 17).-



Figura 14. Secado de muestras.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 15. Disgregado de muestras.

Fuente: Sántiz 2015





Figura 16. Colección de muestras.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 17. Secado de todas las muestras.

Fuente: Sántiz 2015

### 3.1 CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS

Hester (2012) redacta que en las fábricas dedicadas a la manufactura de filtros cerámicos; una prueba simple para la plasticidad de la arcilla que puede realizarse en campo, es formar una cuerda pequeña y enroscarla en un anillo. La medida en que la arcilla permanece en forma de anillo sin agrietarse ni desmoronarse es una indicación de su plasticidad, es decir; buena calidad para elaboración de filtros. Si este procedimiento no puede lograrse con la arcilla significa que no es de utilidad.

Los suelos son materiales con partículas de tamaño menor de 7.5 cm. Se pueden clasificar mediante procedimientos indicados en algunos manuales. Los suelos se clasifican como suelos gruesos cuando más del 50% de sus partículas son de tamaño mayor que 0,075 (malla núm. 200) y como suelos finos cuando el 50% de sus partículas o más, son de tamaño menor.

Según Juárez (2009), “En los granos gruesos de los suelos, las fuerzas de gravitación predominan fuertemente sobre cualquier otra fuerza; por ello, todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar. Por el contrario en suelos de grano muy fino, fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significancia.

Para determinar características físicas de un suelo es necesario conocer el tamaño de sus partículas o granos. Para ello se lleva a cabo la prueba denominada granulometría a todas las muestras de arcillas recolectadas de los diferentes bancos. Para reconocer a las arcillas (suelos finos) se realiza la clasificación mediante los límites de plasticidad, todas estas pruebas están regidas por la normativa del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). A continuación se relatan cada una de las pruebas realizadas.

### 3.1.1 GRANULOMETRÍA

Para la realización de esta prueba, la metodología se basa en la normativa M-M-1-06/03 la cual procede de la siguiente manera (IMT, a 06. Granulometría de materiales compactables para terracerías, 2007):

Los materiales requeridos son los siguientes:

- Un juego de mallas para arena. (Números: 4,10, 20, 40, 60, 100 y 200)
- Horno
- Báscula (con aproximación de 1gr.)
- Vaso de aluminio de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad
- Agitador de varilla
- Tapa y charola para el juego de mallas.
- Cepillo o brocha

Se comenzó cribando porciones de las muestras por la malla núm. 4. En la cual todas las muestras pasaron al cien por ciento, lo cual indica que todos los materiales utilizados, están dentro de la clasificación de suelos o de arenas. De la porción que pasó dicha malla se separa una porción que tenga el peso de 200 gr. Esta porción es colocada en un vaso metálico (ver figura 18) al cual se le agrega agua y se deja reposar durante 12 horas, como mínimo.



Figura 18. Colocación de muestra en vaso metálico para saturación

Fuente: Sántiz 2015

Para continuar, se efectúa el cribado de la porción de cada una de las muestras a través de la malla núm. 200, este procedimiento también es denominado “lavado” por agregarse agua a la arcilla para facilitar su cribado. Éste se lleva a cabo como se describe a continuación paso a paso:

- Con ayuda de una varilla, se agita el contenido del vaso en forma de ochos durante 15 seg.
- Se deja reposar durante 30 seg, e inmediatamente se decanta sobre la malla núm. 200 (ver figura 19).



Figura 19. Lavado de muestra de arcilla

Fuente: Sántiz 2015

Se repiten los puntos anteriores las veces necesarias, hasta que el agua decantada salga limpia.

- Las muestras retenidas en la malla núm. 200 se regresaron a sus respectivos vasos, los cuales se introdujeron al horno por un periodo mínimo de 16 horas aproximadamente para secar el material a temperatura de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ .
- Transcurrido el tiempo se retiraron del horno y se dejaron enfriar hasta que alcanzaron temperatura ambiente.
- Seguido se ensambla el juego de mallas y se vierte el material seco sobre la malla superior, se coloca la tapa sobre ella y antes debe colocarse una charola bajo la malla núm. 200 (ver figura 20).



Figura 20. Juego de mallas para cribado

Fuente: Sántiz 2015

- Se efectúa la operación de cribado con movimiento vertical y rotación horizontal durante 5 min sobre las mallas.
- Concluido el paso del inciso anterior, se quita la tapa y el material retenido en la malla núm. 10 es vaciado sobre la báscula para calcular el peso retenido.
- Se repite el inciso anterior con las porciones retenidas en el resto de las mallas, y se registran los datos en una tabla para obtener resultados.
- Se efectuó el procedimiento para todas las muestras recolectadas (ver figura 21).



Figura 21. Material retenido en cada una de las mallas

Fuente: Sántiz 2015

### 3.1.2 LÍMITES DE ATTERBERG

Según Juárez (2009), pág. 127 “la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente del contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido.”

Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia”, dependiendo el contenido de agua en orden decreciente, un suelo puede estar en los siguientes estados:

- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye su volumen al estar expuesto a secado.
- Estado sólido, en el que el volumen del suelo no varía aun estando expuesto al secado.

La frontera entre el estado semilíquido y plástico es llamado “límite líquido”, mientras, la frontera entre los estados plástico y semisólido es llamada “límite plástico”. El índice

plástico se calcula como la diferencia entre límite líquido y plástico. Esta información es relevante para la producción de filtros cerámicos porque solo el suelo que se comporta como un sólido plástico puede moldearse y conservar su forma. Con base en el límite de líquido y el índice de plasticidad, un suelo con un alto porcentaje de partículas finas se puede clasificar por tipo (limo o arcilla) y por plasticidad (de baja a extremadamente alta) utilizando una tabla de plasticidad como la de Craig.

### **3.1.2.1 LÍMITES DE PLASTICIDAD**

Esta prueba se lleva a cabo bajo los lineamientos de la norma M-MMP-1-07/07, que se refiere a los límites de consistencia (IMT, 2007). El procedimiento para los límites de plasticidad se determina con la fracción de las muestras que pasa por la malla núm. 40 por ello es necesario disgregar una porción de las muestras. Para realizar este estudio es necesario contar con el siguiente equipo:

- Copa de Casagrande, calibrada para una altura de caída de 1cm, provista con un ranurador plano.
- Una balanza con aproximación de 0.01gr
- Un horno eléctrico o de gas a temperatura constante 100 °C +/-5°C
- Vidrios de reloj
- Vaso o recipiente
- Cápsula de porcelana
- Cápsula metálica
- Espátulas flexibles
- Placa de vidrio, con dimensiones mínimas de 40 x 40 cm por lado y 0.6 cm de espesor
- Malla núm. 40

El procedimiento a seguir durante el estudio, es el que se describe a continuación:

1. Las muestras se disgregaron durante el secado, por lo cual se cribaron por la malla núm. 40. El estudio se realizó muestra por muestra.
2. De la porción cribada se toma material en cantidad suficiente para llenar  $\frac{3}{4}$  partes de una lata de refresco, en esta misma, el material es saturado y se deja en reposo durante 24 horas, aproximadamente.
3. Se toma la mitad de material saturado de la lata y se coloca en la cápsula de porcelana en la cual es mezclada con una espátula hasta homogeneizar (ver figura 22).



Figura 22. Muestra en cápsula de porcelana para homogeneizar.

Fuente: Sántiz 2015

4. De esta mezcla se coloca una porción en la copa de Casagrande, con un espesor máximo de 1 cm (debe eliminarse el sobrante al enrasarlo con la espátula) y se hace una abertura con el ranurador, la cual debe ser normal a la superficie de la copa (ver figura 23).



Figura 23. Muestra ranurada en copa de Casagrande.

Fuente: Sántiz 2015

5. Se acciona la manivela de la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes para que la parte inferior del talud de la muestra se cierre en una longitud de 13 mm.

6. De lo anterior, con ayuda de la espátula, se toma material de la porción cerrada de la ranura y se calcula su contenido (ver figura 24).



Figura 24. Peso de muestra más peso de cápsula.

Fuente: Sántiz 2015

7. Se determina el peso de una cápsula y sobre ella se coloca material húmedo de la porción cerrada de la ranura en la copa de Casagrande, por lo consiguiente se determina el peso de ambos (material húmedo más cápsula).

8. La cápsula junto con el material se colocó dentro del horno por 24 horas aproximadamente.



9. Pasado el tiempo necesario, la cápsula es pesada nuevamente junto con el material seco.
10. Una vez que se ha tomado la porción requerida para la determinación del contenido de agua, el material restante se devuelve a la cápsula para ser homogeneizada con el resto de la muestra.
11. Se llevaron a cabo nuevamente los puntos 4 a 7, hasta que se logró cuatro determinaciones de contenido de agua que queden comprendidas entre 5 y 35 golpes en la copa de Casagrande, siendo necesario obtener dos valores por arriba y dos por debajo de los 25 golpes. Es decir, que las muestras sean tomadas cuando la ranura cierre a cierta cantidad de golpes.
12. Cuando se obtiene un número de golpes cercano a los 25 golpes, se debe llenar una barra metálica para analizar la contracción lineal del material.
13. La barra se llena en tres capas, a las cuales debe darse 25 pequeños golpes a los costados, para acomodar el material (ver figura 25).



Figura 25. Llenado de barra, contracción lineal

Fuente: Sántiz 2015

14. Una vez obtenido los resultados esperados, se dibujó la curva de fluidez con el número de golpes en el eje de las abscisas y el contenido de agua en el de las ordenadas.

### 3.1.2.2 LÍMITE PLÁSTICO

Del material sobrante contenido en la cápsula de porcelana ocupada en la prueba de límite líquido, se tomó una porción de modo que se pueda formar una pequeña esfera. El cual según las normas debe ser de 12 mm de diámetro, misma que se moldea con los dedos para que pierda agua y se manipula sobre la palma de la mano para formar un pequeño cilindro. En cuanto la esfera formada con material, haya perdido la suficiente humedad como para formar el cilindro se hace girar con los dedos de las manos sobre la placa de vidrio para reducir su diámetro hasta que sea aproximadamente de 3 mm en toda su longitud (ver figura 26).



Figura 26. Formación de cilindros de arcilla sobre placa de vidrio.

Fuente: Sántiz 2015

En cuanto el cilindro llega a medir 3 mm de diámetro sin importar su longitud, debe colocarse horizontal sobre la palma de la mano y con pequeñas flexiones con los dedos debe romperse en tres secciones, lo cual asegura haber perdido la suficiente humedad para determinar su límite plástico, de lo contrario si el cilindro no se rompe en tres secciones simultáneamente, debe juntarse el material nuevamente para formar la pequeña esfera, seguir manipulándola con los dedos para facilitar la pérdida de humedad. A continuación, se calcula el peso de la pequeña cápsula metálica, después se colocan las secciones del cilindro sobre esta, debe pesarse de nueva cuenta obteniendo con esto el peso del material más el peso de la cápsula (ver figura 27).



Figura 27. Límite plástico de la arcilla.

Fuente: Sántiz 2015

Para garantizar la efectividad de la prueba, ésta debe realizarse tres veces, es decir, debe realizarse tres cilindros del mismo material. Posteriormente se determina la cantidad de agua, metiendo las cápsulas al horno durante 24 horas, con sus respectivos cilindros. Pasado el tiempo, las cápsulas son sacadas del horno, se procede a pesarlas con el material seco y se llevan a cabo los cálculos necesarios para determinar el límite plástico.

# **CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DE LOS FILTROS**

## 4.1 PREPARACIÓN DE INSUMOS

### 4.1.1 *ARCILLA*

Después de fletar la arcilla del banco de materiales hacia el taller de filtros, esta fue puesta a secar a la intemperie colocándolo sobre lonas limpias, al mismo tiempo de ser disgregados los terrones que estaban de gran tamaño con la ayuda de un pisón metálico, al tener partículas secas y de tamaños manejables estos luego fueron pulverizados pasándolos por un molino de piedras diseñado para nixtamal (maíz cocido), pero que ha sido adaptado para la molienda de arcillas ya que, tomando las medidas de seguridad necesarias resulta ser de gran apoyo para realizar esta labor (ver figura 28y 29). Para continuar, cada una de las muestras fue cribada por una malla mosquitero la cual se asemeja en tamaño a la malla núm. 40 de los usados en los laboratorios de mecánica de suelos y fueron reservadas en botes de plástico (ver figura 30 Y 31).



Figura 28. Molino de piedras.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 29. Molienda de arcilla.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 30. Reserva de arcilla cribada.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 31. Molino de piedras.

Fuente: Sántiz 2015

#### 4.1.2 **ASERRÍN**

El aserrín usado para las diferentes mezclas en este ensayo fue obtenido en carpinterías de Tuxtla Gutiérrez, y por el olor característico, se considera que la mayor parte es de madera de pino. Para este insumo no fue necesario realizar ningún tipo de prueba, pues este podía ser de cualquier tipo de madera. Los granos del aserrín fueron secados a la intemperie sobre lonas limpias para después ser cribados por una malla mosquitero, lo cual al final del proceso de quemado asegura micro-poros con tamaños adecuados (ver figura 32 y 33).



Figura 32. Cribado de aserrín.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 33. Secado de aserrín.

Fuente: Sántiz 2015

#### 4.1.3 **AGUA**

El agua utilizada en la fabricación de los prototipos de filtros, estaba libre de impurezas y turbidez. Se optó por utilizar agua disponible en una llave del sistema de agua potable que está cerca del taller de filtros. Para determinar la cantidad de agua que se agregó a cada mezcla, se hicieron las mediciones correspondientes de los volúmenes agregados mediante una jarra de medición, con capacidad de dos litros. Estudios anteriores han demostrado que para arcillas con estas características la cantidad de agua necesaria es aproximadamente 2.5 litros para una proporción de insumos de un filtro cerámico, este varía cantidades mínimas dependiendo la temperatura del ambiente.

## 4.2 MEZCLA

Según los datos expuestos por CMWG (2011) de las fábricas de filtros existentes en el mundo, donde se utiliza aserrín como material combustible el 60% de las fábricas miden los insumos por peso y el 40% miden por volumen. El porcentaje de aserrín varía entre el 5% y el 25% en peso o entre el 47% y el 50% en volumen. En el caso de los primeros estudios relacionados a los filtros, en la Facultad de Ingeniería se midió la cantidad de materiales por peso, después de varias mezclas realizadas se encontró como resultado que se necesitan un total de 7.05 kg de material seco para formar un filtro cerámico en la prensa manual disponible en el taller y se necesitan aproximadamente 2 litro de agua.

La mezcladora a nuestro alcance en el taller es una amasadora de paletas con el principio de la harina para tortillas diseñada especialmente para arcillas, en este caso de estudio es importante mencionar que ésta tiene una capacidad para mezclar la cantidad de material para moldear 4 filtros cerámicos. Es por ello que se pesaron como máximo: 24.56 kg., de arcilla seca, la cual fue colocada dentro de la mezcladora, enseguida se pesaron 3.64 kg de aserrín, se cerró la tapa de la mezcladora y se giró por aproximadamente 20 minutos, pasado el tiempo, se detuvo el mecanismo de esta máquina y se agregó agua necesaria a la mezcla para alcanzar la plasticidad ideal, la cantidad de agua varía en cada muestra en cantidades pequeñas, de igual modo se cerró la tapa de la mezcladora y de activo el mecanismo para mezclar por 10 minutos el material húmedo (ver figura 34 y 35).



Figura 34. Mezclado de insumos en seco.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 35. Mezclado de insumos con humedad.

Fuente: Sántiz 2015

### 4.3 MOLDEAR

Para el moldeado se cuenta con una prensa portátil donada por la ONG CPP la cual cuenta con un molde macho, un molde hembra, una manivela, un pivote y cuerda para sostener al molde macho, para este paso también es necesario un gato hidráulico, nivel de mano y discos metálicos con tamaños que puedan introducirse dentro del molde. Después de mezclado el material, se toma una porción con un peso de 9 kg., a este se da forma de cubo antes de introducirse a los moldes (ver figura 36), se prepara la prensa forrando con plástico tanto el molde macho y el molde hembra, además de que, un disco metálico es introducido al molde hembra.



Figura 36. Formación de cubo.

Fuente: Sántiz 2015

Después de introducir la mezcla dentro del molde hembra, se suelta la manivela de la prensa y con ello el cable que sostiene al molde macho, se verifica con un nivel de mano que este plano y se coloca el gato hidráulico sobre el molde macho, se activa el mecanismo del gato hidráulico con la palanca hasta que el molde hembra y el molde macho se cierran. Completada esta labor se suelta el mecanismo del gato hidráulico, este es retirado y de activa el mecanismo de la manivela de la prensa para levantar al molde macho por unos pocos centímetros, se sostiene el molde y se da pequeños golpes con un mazo de goma hasta que el molde hembra se separe del molde macho, enseguida se levanta el molde macho, se retira la bolsa plástica dentro del filtro cerámico moldeado y se resanan las pequeñas hendiduras creadas por las bolsa plástica y los moldes (ver figura 37, 38, 39 Y 40).





Figura 37. Mezcla dentro de molde.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 38. Colocación de molde macho.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 39. Acción de gato hidráulico.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 40. Resanado de hendiduras.

Fuente: Villalobos 2015

Con ayuda del pivote, el filtro cerámico es retirado del molde hembra sosteniéndolo con el disco metálico, la bolsa plástica es separada del filtro para que cuando este seque no quede impregnada, pero no se retira porque esta bolsa plástica cubrirá al filtro durante su proceso de secado y evitara que pierda humedad de manera brusca. Pasado 3 o 4 días dependiendo del clima, el filtro cerámico es desembolsado para que pierda más humedad y se enliste para la cocción, el proceso de secado del filtro es un paso de vital importancia en la manufactura ya que, de no realizarse de manera gradual este puede agrietarse (ver figura 41, 42, 43 Y 44).



Figura 41. Separación de filtro del molde hembra.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 42. Colocación filtro para secado.

Fuente: Villalobos 2015



Figura 43. Desembolsado de filtro cerámico.

Fuente: Villalobos 2015



Figura 44. Grietas en filtro cerámico por pérdida brusca de humedad.

Fuente: Sántiz 2015

#### 4.4 COCCIÓN DE FILTROS

El taller de filtros cerámicos ubicado en Tuxtla Gutiérrez cuenta con un horno de ladrillos diseñado y construido para alcanzar temperaturas cercanas a los 1000 °C, Este comenzó su construcción en el año 2013 y terminó en 2015. Este horno está construido especialmente para realizar estudios y manufactura de los filtros cerámicos, esto bajo la asesoría y conocimientos adquiridos por el señor Stubna. Este horno cuenta con dos cámaras de combustión donde el material combustible usado principalmente es leña, cuenta con una cámara de cocción con una capacidad de 24 filtros aproximadamente, también dispone de una chimenea y una puerta metálica cubierta de fibra de vidrio (ver figura 45).



Figura 45. Horno de leña para filtros cerámicos.

Fuente: Sántiz 2015

El procedimiento de cocción inicia cuando los filtros se encuentran con mínima humedad, se comenzó con el llenado del horno por cada una de las piezas de filtro cerámico teniendo especial cuidado de no bloquear ninguna parte de los filtros para que el calor circule de manera uniforme por toda la superficie de ellos (esto se realizó con ayuda de pequeños trozos de ladrillos o restos de filtros quebrados, ver figura 46), durante el llenado se colocaron también los pirómetros indicadores de temperatura de modo que se tuviera visibilidad de ellos durante el quemado para controlar las temperaturas y tiempo final, se colocaron 3, una en la parte baja de la cámara de cocción, otra en la parte media y una más en la parte alta para corroborar que la temperatura fue uniforme en toda la cámara.



Figura 46. Llenado de horno.

Fuente: Sántiz 2015

El fuego se inicia en una de las cámaras de combustión, este debe ser débil; para eliminar la humedad aun contenida en los filtros cerámicos, evitando cambios bruscos de temperatura y agrietamiento en las piezas. Durante un tiempo de 2 o 3 horas debe llegarse de manera gradual a  $200^{\circ}\text{C}$  aproximadamente (se colocaron un pirómetro digital en cada lado del horno para controlar el incremento de temperaturas), en la próxima hora se incrementa  $150^{\circ}\text{C}$ , llegando entre los  $400^{\circ}\text{C}$  y  $450^{\circ}\text{C}$  debe iniciarse fuego en la otra cámara de combustión para incrementar la temperatura y poder alcanzar la deseada, este fue después de las 4 horas 15 minutos de iniciarse el quemado. Se comienza el fuego en la otra cámara de manera gradual midiendo el combustible en trozo por trozo de leña, esto para no tener un incremento excesivo y después un deceso, poco a poco se incrementa la temperatura hasta alcanzar entre  $880^{\circ}\text{C}$  y  $900^{\circ}\text{C}$ , este terminó cuando se logró este alcance, se verificó tanto los pirómetros digitales, como los conos paramétricos dentro de la cámara de cocción (ver figura 47 y 48), Es importante destacar que el tiempo de quemado ideal es entre 8 a 12 horas dependiendo las condiciones del ambiente, en este caso fueron 8 horas. Las temperaturas registradas fueron las siguientes (ver grafica 1), después de parar el fuego en las cámaras, se cierra la chimenea del horno y la puerta permanece cerrada con los filtros dentro por 24 horas para que el deceso de temperatura sea gradual y la temperatura ambiente no golpee el funcionamiento de los filtros.



Figura 47. Pirómetro digital.

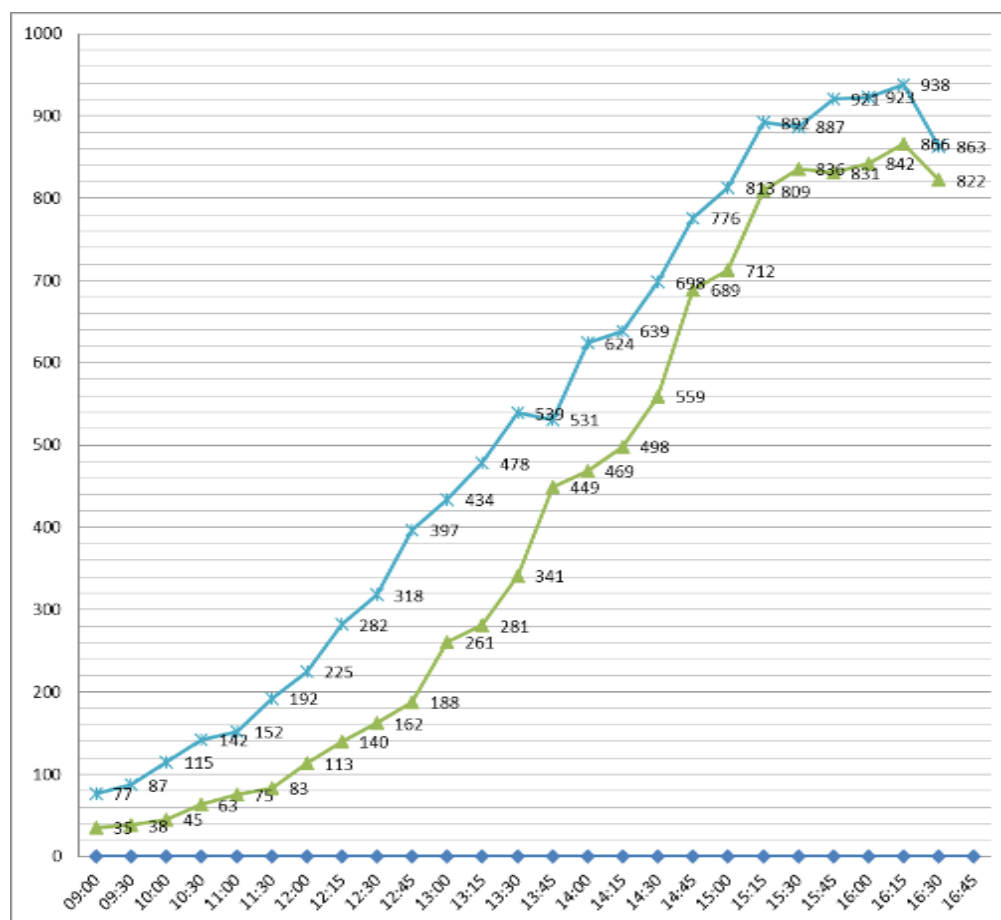
Fuente: Sántiz 2015



Figura 48. Cono pirométrico dentro de horno.

Fuente: Sántiz 2015

Gráfica 1. Temperaturas en horno de ladrillo durante cocción de filtros.



Fuente: Sántiz 2015

## 4.5 VERIFICACIÓN DE FUNCIONALIDAD

A 24 horas de la cocción la puerta del horno se abre, se verifican los conos pirométricos mientras los filtros son retirados del horno y se golpean ligeramente uno por uno con el puño de la mano, si este emite un sonido parecido a una campana podría deducirse que el quemado fue exitoso. Aunque la prueba real de funcionalidad es la del caudal, es decir la cantidad de agua que filtra en una hora, sin tener grietas o poros grandes.

Los filtros son sumergidos en una pila llena de agua por 24 horas, pasado ese tiempo con la boca hacia abajo se verifica la frecuencia de burbujas que genera, si esta frecuencia es generosa y continua puede significar que los filtros están agrietados o contienen micro poros mayores a los esperados (ver figura 49 y 50). Después de esto los filtros son sacados de la pila y se dejan escurrir por aproximadamente una hora, a continuación son colocados dentro de cubetas y llenados completamente con agua para medir su caudal. Pasado el tiempo los filtros son retirados de las cubetas y una por una se mide la cantidad de agua recibida. Las piezas que filtraron más de 3 litros de agua fueron perforadas.



Figura 49. Saturación de prototipos.

Fuente: Sántiz 2015

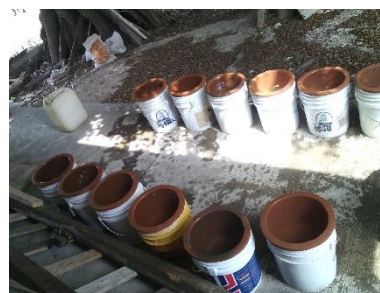


Figura 50. Prueba tasa de filtración.

Fuente: Sántiz 2015

## **4.6 FILTRO CERÁMICO EN CHIAPAS (FILTROCHIS)**

La Facultad de Ingeniería de la UNACH ha buscado adaptar esta tecnología para ayudar a las poblaciones rurales de Chiapas. En el año 2010 surgieron los primeros estudios con arcillas recolectadas en Ocuilapa de Juárez y Amatenango del Valle, localidades que son reconocidas por su gran aportación a las artesanías de Cerámica. Estos estudios se realizaron siguiendo únicamente los manuales descargados de páginas de internet, sin contar con equipo o asesoría especial. Todo el estudio se realizó con equipos que están dentro del laboratorio de suelos de dicha Facultad y con hornos prestados por los alfareros de Ocuilapa de Juárez.

Por lo anterior se buscó un acercamiento con la ONG CPP, quienes contactaron con los asesores de este proyecto mediante un miembro de dicha organización. Realizado el contacto el ciudadano estadounidense Michael Stubna miembro de esta ONG viajó a la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez para brindar asesoría y ayudar en el diseño y construcción de un taller de filtros cerámicos. Gracias a esto se ha podido seguir con estudios de mezclas entre arcillas, aserrín y arena en diferentes proporciones, para elaborar filtros cerámicos, con intención de encontrar la arcilla adecuada para la manufactura de los filtros cerámicos.

Estos estudios se han hecho con diferentes arcillas que se recolectaron en regiones diversas de Chiapas, tales como; San Cristóbal de las Casas (tres muestras), Ocuilapa de Juárez (una muestra), Amatenango del Valle (una muestra), Yajalón (tres muestras), La Modelo, municipio de Ixtapa (una muestra), Suchiapa (dos muestras) y la Rivera las Flechas municipio de Chiapa de Corzo (una muestra) en el año 2012.

Las arcillas fueron sometidas a todos los procedimientos requeridos de preparación para elaboración de filtros cerámicos. Después de elaboradas las piezas, éstas primero fueron sumergidas en agua para verificar que no tuvieran grietas en su estructura, después fueron sometidas a pruebas de filtración para verificar su porosidad, al finalizar se les realizó análisis de calidad al agua filtrada, obteniendo agradables resultados (agua potabilizada).



Dependiendo la procedencia, la arcilla utilizada mostro diversas variaciones en sus propiedades y comportamiento durante el proceso de manufactura de los filtros cerámicos. Por ejemplo; durante el mezclado de los insumos, cabe destacar que esto se realiza gracias a una mezcladora de paletas, diseñada especialmente para mezcla de arcillas. Durante este proceso, la mayoría de las arcillas presentaron facilidad de mezclado en húmedo, mientras que una de las arcillas provenientes de San Cristóbal de las Casas tuvo un comportamiento totalmente contrario.

Por otra parte, los prototipos elaborados con la arcilla de Amatenango del Valle no resistieron las altas temperatura durante su cocción y si bien, al principio se agrietaron, al momento de sumergirlos en agua tronaron y se despedazaron. Una de las arcillas de San Cristóbal de las Casas al elevarle la temperatura se fundió vitrificando 4 prototipos de filtro en una sola pieza. En cuanto a porosidad y calidad de agua los prototipos elaborados mostraron una gran variedad de porosidad, algunas piezas tuvieron una muy alta tasa de filtración sin contener grietas y otras bajas tasas de filtración. Los mejores resultados en este estudio se encontraron en los filtros elaborados con arcilla de las localidades de Yajalón y Suchiapa.

Los primeros filtros se entregaron a pobladores de la comunidad de Zinacantán para estudios de aceptación de la población. No se encontraron inconvenientes por parte de ellos y después de tiempo de uso, los filtros siguen asegurando agua de buena calidad. Esto pudo verificarse mediante un estudio de campo realizado en 2016, gracias a un kits de prueba microbiológica de la calidad del agua in situ, este kits da resultados rápidos y precisos para E. coli, coliformes totales o bacterias H 2 S. Pérez en (2017) realizó pruebas en laboratorio al agua a tratar (agua de arroyo existente) de la comunidad de Zinacantán y del agua tratada obtenida del filtro cerámico, todo el estudio estuvo bajo la NOM-127-SSA1-1994. En donde Pérez concluyó con los resultados de dichas pruebas que: el filtro cerámico cumple con los estándares de calidad de acuerdo a dicha norma, teniendo valores de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por debajo de los límites máximos permisibles (ver tabla 1).



Tabla 1.- Pruebas de calidad del agua muestra filtrada de la localidad de Zinacantán

| DETERMINACIONES                     | RESULTADOS | UNIDADES              | MÉTODO DE REFEREN    | NO M<br>127-SSA1-94                 |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| <b>Análisis Fisicoquímicos</b>      |            |                       |                      | <b>Límites máximos permisibles.</b> |
| Temperatura ambiente/agua           | 28/26      | ° C                   | NMX-AA-007-SCFI-2000 | -                                   |
| pH                                  | 7.0        | Unidades              | NMX-AA-008-SCFI-2000 | 6.5 – 8.5                           |
| Conductividad eléctrica             | 1130       | µS/cm                 | NMX-AA-093-SCFI-2000 | -                                   |
| Oxígeno disuelto (OD)               | 7.15       | mg/l                  | NMX-AA-012-SCFI-2001 | -                                   |
| Alcalinidad a la fenoltaleína       | 0          | mgCaCO <sub>3</sub>   | NMX-AA-036-SCFI-2001 | 400                                 |
| Alcalinidad al anaranjado de metilo | 370        | mgCaCO <sub>3</sub>   | NMX-AA-036-SCFI-2001 | 400                                 |
| Dureza cálcica                      | 85         | mg/lCaCO <sub>3</sub> | NMX-AA-007-SCFI-2000 | -                                   |
| Dureza magnésica                    | 115        | mg/lCaCO <sub>3</sub> | NMX-AA-007-SCFI-2000 | -                                   |
| Dureza total                        | 200        | mg/lCaCO <sub>3</sub> | NMX-AA-072-SCFI-2001 | 500                                 |
| Dióxido de carbono libre            | 9          | mg/l                  |                      | -                                   |
| Cloruros                            | 35.5       | mgO <sub>2</sub> /l   | NMX-AA-073-SCFI-2001 | 250                                 |
| Demanda química de oxígeno (DQO)    | 82.18      | ppm                   | NMX-AA-030-SCFI-2001 | -                                   |
| <b>Análisis Microbiológicos.</b>    |            |                       |                      |                                     |
| Coliformes fecales                  | 0          | NMP/100 ml            | NMX-AA-106-SCFI-2001 | 2 NMP/100 ml                        |
| Coliformes totales                  | 0          | NMP/100 ml            | NMX-AA-106-SCFI-2001 | No detectable<br>NMP/100 ml         |

Fuente: (Pérez, 2017)

Continuando con las investigaciones, tomando en cuenta los resultados obtenidos en el primer estudio; la arcilla de Yajalon a pesar de presentar resultados plausibles resulta un poco insostenible trabajarlo debido a la lejanía. Refiriéndose arcilla de Suchiapa, estas fueron muestras donadas por alfareros de dicha comunidad, quienes bajo ninguna circunstancia revelaron el lugar de extracción, por estos obstáculos se recurrió a la búsqueda de una arcilla que presentara propiedades similares a la de la localidad de Suchiapa por la cercanía al taller.

Se localizó un banco de materiales de una ladrillera en la localidad de Rivera las Flechas, de esta ladrillera fue posible fletar una muestra de arcilla en 2013 de la cual se elaboraron prototipos de filtro cerámico obteniendo resultados agradables, desafortunadamente no es posible conseguir más cantidad de arcillas de este lugar. Motivo por lo cual nos enfrentamos a la necesidad de ubicar otro banco de materiales.

En 2015 se logró recaudar muestras de arcilla de una ladrillera denominada “Los Mangos”, arcilla con la cual se elaboraron filtros cerámicos, en este caso se obtuvieron resultados, no tan admirables pero si prometedores. Tomando en cuenta que este banco de materiales es extenso y para beneficio de este proyecto se recolectaron siete muestras de arcilla en diferentes sitios y estratos de la mencionada ladrillera ubicada en el municipio de Chiapa de Corzo. Esto con el fin de obtener más muestras y pruebas de estudio para analizar el comportamiento de cada una de ellas durante el proceso de manufactura y uso de los filtros cerámicos manufacturados con este.

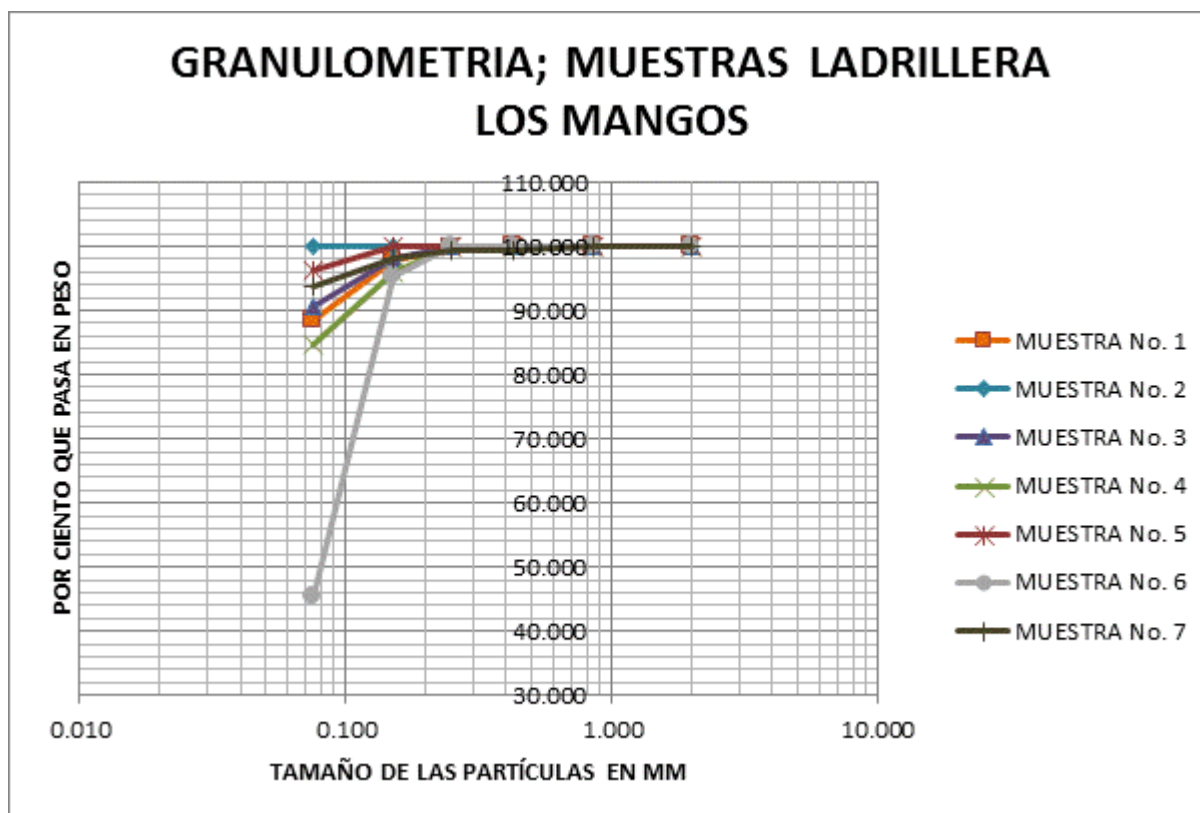
# **CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 5.1 ESTUDIO DE ARCILLA

### 5.1.1 GRANULOMETRÍA

Una vez efectuados los procedimientos de las pruebas de granulometría a cada una de las 7 muestras recolectadas, se registraron los datos de porcentajes de cada muestra que se retienen en cada una de las mallas, prosiguiendo con calcular los porcentajes que pasan por las mallas. Los datos obtenidos se registraron en tablas para después ser graficados. Los resultados se muestran en la gráfica núm. 2, mientras que las tablas que ostentan dicha información están expuestas en las siguientes páginas.

Gráfica 2. Granulometría de cada muestras recolectada en la ladrillera “los Mangos”.



Fuente: Sántiz 2021.

Tabla 2. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 1.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 1  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.000                      | 0.000                      | 100.000                     |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.000                      | 0.000                      | 100.000                     |
| No. 40                                 | 0.425 | 0.100                      | 0.050                      | 99.950                      |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.300                      | 0.150                      | 99.800                      |
| No. 100                                | 0.150 | 4.200                      | 2.100                      | 97.700                      |
| No. 200                                | 0.075 | 18.200                     | 9.100                      | 88.600                      |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 2.000                      | 1.000                      | 89.600                      |
| SUMA                                   |       | <b>24.80</b>               | 12.40%                     |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 3. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 2.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 2  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| No. 40                                 | 0.425 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| No. 100                                | 0.150 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| No. 200                                | 0.075 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| SUMA                                   |       | <b>0.00</b>                | 0.00%                      |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 4. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 3.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 3  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.00                       | 0.000                      | 100.000                     |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.00                       | 0.000                      | 100.000                     |
| No. 40                                 | 0.425 | 0.01                       | 0.005                      | 99.995                      |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.02                       | 0.010                      | 99.985                      |
| No. 100                                | 0.150 | 4.00                       | 2.000                      | 97.985                      |
| No. 200                                | 0.075 | 14.80                      | 7.400                      | 90.585                      |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 2.00                       | 1.000                      | 91.585                      |
| SUMA                                   |       | <b>20.83</b>               | 10.42%                     |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 5. Material retenido en mallas durante granulometría, muestra No. 4.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 4  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.04                       | 0.02                       | 99.980                      |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.08                       | 0.04                       | 99.940                      |
| No. 40                                 | 0.425 | 0.07                       | 0.04                       | 99.905                      |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.02                       | 0.01                       | 99.895                      |
| No. 100                                | 0.150 | 8.10                       | 4.05                       | 95.845                      |
| No. 200                                | 0.075 | 22.10                      | 11.05                      | 84.795                      |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 6.00                       | 3.00                       | 87.795                      |
| SUMA                                   |       | <b>36.41</b>               | 18.21%                     |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 6. Material retenido en mallas durante granulometría, muestra No. 5.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 5  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.03                       | 0.015                      | 99.985                      |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.02                       | 0.01                       | 99.975                      |
| No. 40                                 | 0.425 | 0.01                       | 0.005                      | 99.970                      |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.01                       | 0.005                      | 99.965                      |
| No. 100                                | 0.150 | 0.03                       | 0.015                      | 99.950                      |
| No. 200                                | 0.075 | 7.30                       | 3.65                       | 96.300                      |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 4.50                       | 2.25                       | 98.550                      |
| SUMA                                   |       | <b>11.90</b>               | 5.95%                      |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 7. Material retenido en cada una de las mallas durante granulometría, muestra No. 6.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 6  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.00                       | 0.00                       | 100.000                     |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.08                       | 0.04                       | 99.960                      |
| No. 40                                 | 0.425 | 0.04                       | 0.02                       | 99.940                      |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.05                       | 0.03                       | 99.915                      |
| No. 100                                | 0.150 | 9.40                       | 4.70                       | 95.215                      |
| No. 200                                | 0.075 | 100.00                     | 50.00                      | 45.215                      |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 11.00                      | 5.50                       | 39.715                      |
| <b>SUMA</b>                            |       | <b>120.57</b>              | 60.29%                     |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 8. Material retenido en mallas durante granulometría, muestra No. 7.

| PROCEDENCIA: LOS MANGOS MUESTRA No. 7  |       |                            |                            |                             |
|----------------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA (Wm): 200 gr. |       |                            |                            |                             |
| MALLA NUM.                             |       | MASA<br>RETENIDA<br>Wi (g) | RETENIDO<br>PARCIAL<br>(%) | MATERIAL<br>QUE PASA<br>(%) |
| LINEAS POR<br>PULG. LINEAL             | MM    |                            |                            |                             |
| No. 10                                 | 2.000 | 0.02                       | 0.01                       | 99.990                      |
| No. 20                                 | 0.850 | 0.07                       | 0.04                       | 99.955                      |
| No. 40                                 | 0.425 | 1.00                       | 0.50                       | 99.455                      |
| No. 60                                 | 0.250 | 0.03                       | 0.02                       | 99.440                      |
| No. 100                                | 0.150 | 2.50                       | 1.25                       | 98.190                      |
| No. 200                                | 0.075 | 9.10                       | 4.55                       | 93.640                      |
| PASA No. 200                           | 0.075 | 4.00                       | 2.00                       | 95.640                      |
| SUMA                                   |       | <b>16.72</b>               | 8.36%                      |                             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Continuando con la obtención de propiedades físicas de cada muestra, se prosigue a calcular el porcentaje de finos y porcentaje de arena contenido en cada una, cuyo resultados se encuentra en la gráfica 3. Esta característica se obtiene mediante la resolución de las siguientes formulas, donde:

Para cálculo de porcentaje de finos:

$$\% F = \left( \frac{\sum W_i}{W_d} \right) \times 100$$

Donde:

% F = Contenido de finos con relación a la muestra seca.

$\sum W_i$  = Suma de las masas de los materiales retenidos en las mallas N° 10 a la N° 200.

$W_d$  = Masa del material seco de la muestra (g)



Para cálculo de porcentaje de arena:

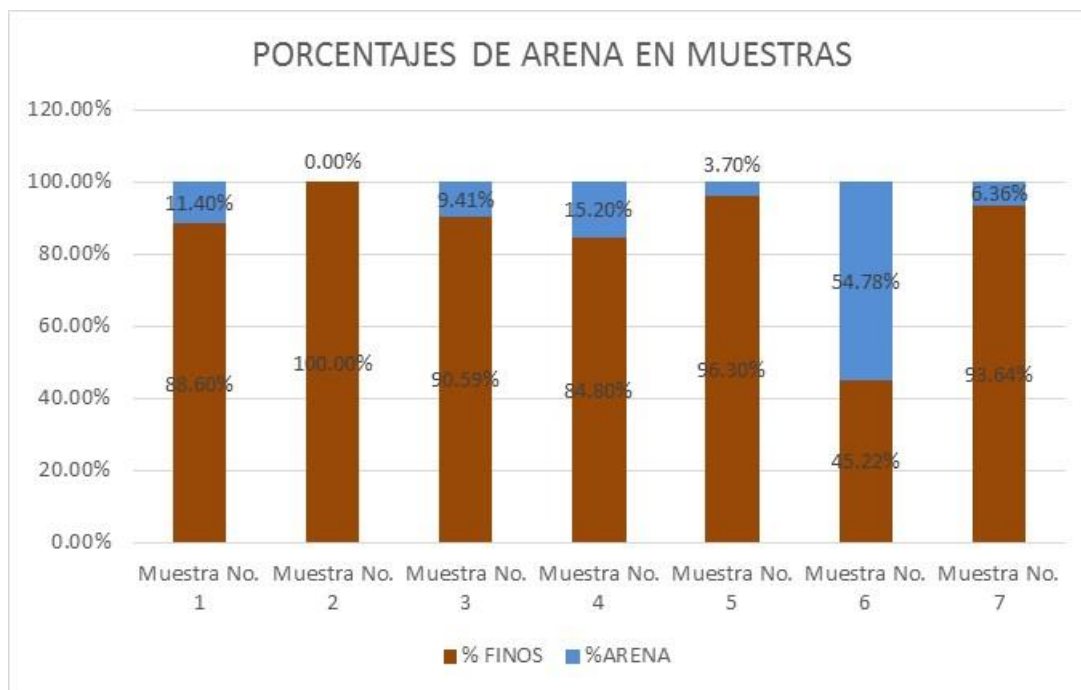
$$\% S = P (\%) - \% F$$

Donde:

$\% S$  = Contenido de arena con relación a la muestra seca (%).

$P (\%)$  = Material que pasa a través de la malla N°4, con relación a la muestra original (%).

$\% F$  = Contenido de finos con relación a la muestra seca (%).

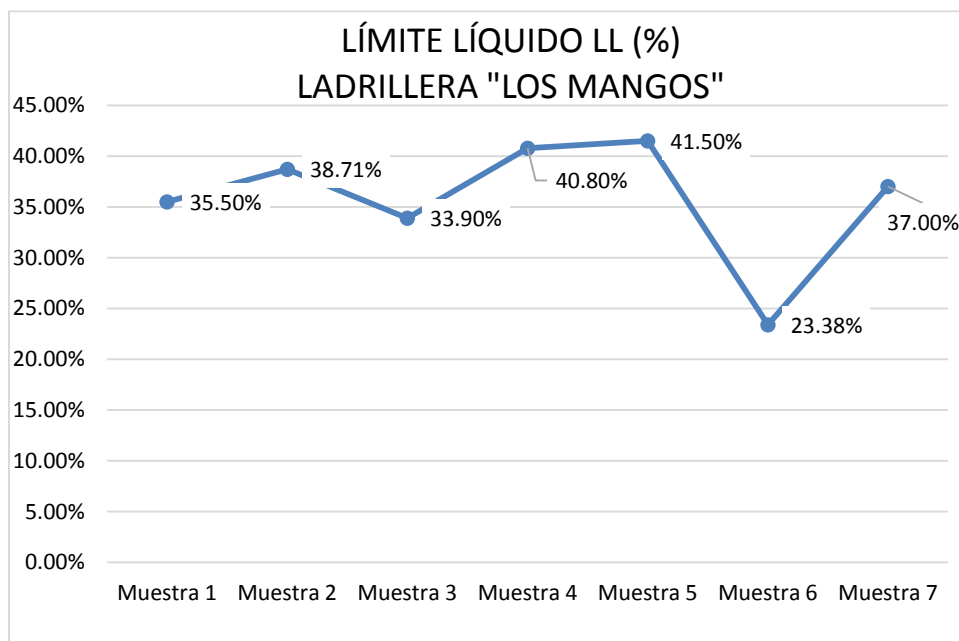


Gráfica 3. Porcentaje de arena en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”.

Fuente: Sántiz 2021.

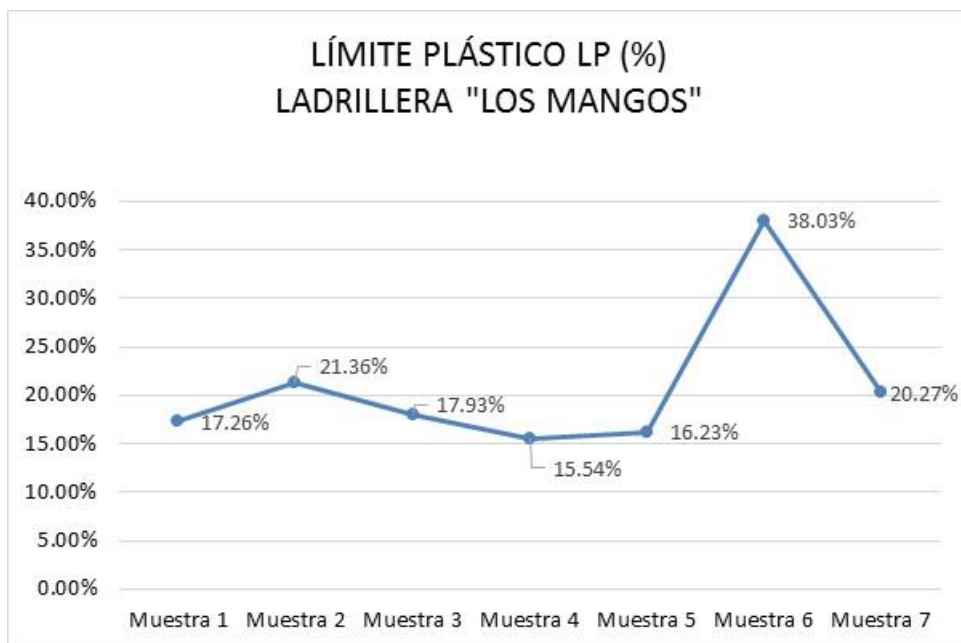
### 5.1.2 LÍMITES DE ATTERBERG

El principal objetivo de realizar los límites de Atterberg o límites de consistencia en esta investigación, es para definir e identificar las características físicas de este tipo de arcilla localizado en mencionado banco de materiales. Con el fin de obtener una relación con el funcionamiento de las piezas elaboradoras de filtros cerámicos, y posteriormente compararlo con resultados obtenidos anteriormente en estudios a arcillas procedentes de otras localidades de Chiapas. Esto para ir creando una gama de arcillas que sean factibles para la realización de los filtros cerámicos o en el mejor de los casos obtener las características de un tipo de arcilla ideal para dicho proceso. A continuación se resumen mediante las siguientes gráficas y tablas las características obtenidas durante los ensayos.



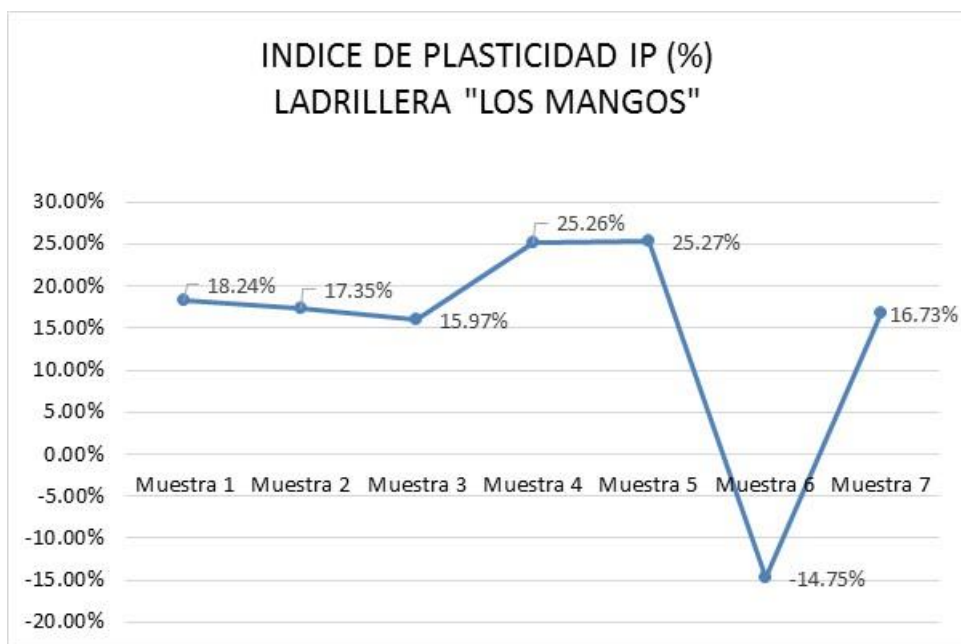
Gráfica 4. Límite líquido en muestras recolectadas en ladrillera "los Mangos".

Fuente: Sántiz 2021.



Gráfica 5. Límite plástico en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”.

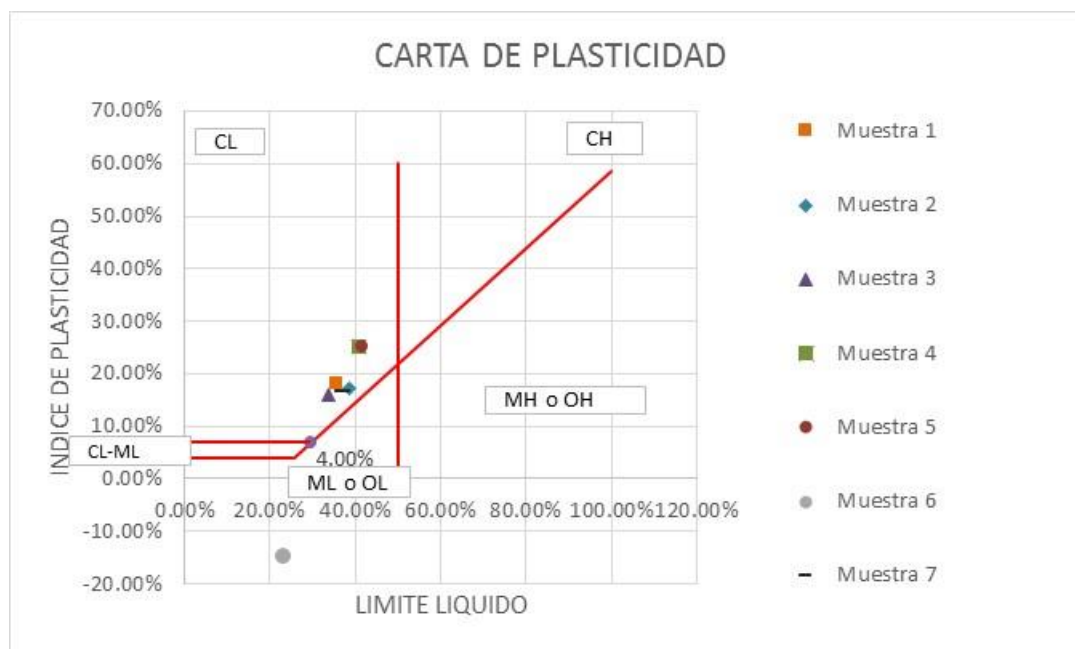
Fuente: Sántiz 2021.



Gráfica 6. Índice plasticidad en muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”.

Fuente: Sántiz 2021.

Cabe mencionar que según el IMT (2007) en su apartado 07 referente a los límites de consistencia hace hincapié en que si la muestra es demasiado arenosa y no pueda calcularse el límite plástico, se reporta el límite plástico y el índice plástico como NP (no plástico) tal como ocurrió con la muestra núm. 6 de los materiales recolectados. Y en nuestro caso de estudio este tipo de materiales no es apto para la manufactura de los filtros cerámicos. Este tipo de suelos se clasifican según sus características de plasticidad, según IMT (2007) en su apartado 06 referente a granulometría para materiales compactables para terracerías se grafican en la carta de plasticidad sus límites líquidos e índices de plasticidad, para ubicar el tipo de suelo al que pertenecen.



Gráfica 7. Carta de plasticidad, muestras recolectadas en ladrillera “los Mangos”.

Fuente: Sántiz 2021.

Se puede observar que las muestras se encuentran en la zona II de la carta de plasticidad, lugar donde se ubican las arcillas con baja compresibilidad identificadas con el símbolo CL.

## 5.2 PRODUCCIÓN DE FILTROS CERÁMICOS

Durante el proceso de elaboración de las piezas filtrantes se realizaron mezclas con las 7 muestras adquiridas pero en algunos casos no fue posible que estas se mantuvieran en pie, es decir se desmoronaban durante el proceso de formación del cubo, estas ni siquiera podían formarse, mientras algunas pudieron mezclarse y moldearse sin ninguna dificultad tal es el caso de las muestras; no.1, no. 2, no. 4, no. 5 y no. 7, a diferencias de las muestras no. 3 y no. 6 recolectadas que no hubo posibilidad alguna de moldearse.

Por este motivo, solo tendremos resultados y evaluación de filtros realizados con las muestras no.1, no. 2, no. 4, no. 5 y no. 7.

### 5.2.1 PROCESO DE FABRICACIÓN

Se mezclaron materiales de acuerdo a la cantidad de arcilla disponible por cada muestra, como se mencionó en apartados anteriores, se tiene el registro después de varios intentos que la cantidad adecuada para formar una pieza filtrante con el tamaño del molde disponible en el taller de filtros es de 6.14 kg de arcilla por 0.91 kg de aserrín y aproximadamente 2.5 litros de agua siempre que no se ocupe arena en la mezcla puesto que con esto las cantidades variarían. En nuestro caso de estudio no fue necesario el uso de arena en ninguna mezcla.

Cabe mencionar que en estudios previos se ha logrado acertar que la mezcladora de insumos soporta mezclar hasta cantidades de arcilla para elaboración de 4 filtros, siempre que la arcilla no sea de las denominadas de alta plasticidad. En nuestro caso de estudio se trabajó a la máxima capacidad la mezcladora para que nuestros prototipos obtenidos tuvieran la certeza de ser elaboradas bajo las mismas condiciones. Se le asignaron números de reconocimiento a cada pieza elaborada de filtro; los primeros números corresponden al número estudio de arcilla en el taller en nuestro caso es el caso número 20, el segundo corresponde al número de muestra recolectada, y el tercero al orden en que fueron moldeados. Por lo tanto las mezclas efectuadas y prototipos logrados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Filtros moldeados con arcilla de ladrillera los mangos.

| RECONOCIMIENTO       | ARCILLA (KG) | ARENA (KG) | ASERRIN (KG) | AGUA (L) |
|----------------------|--------------|------------|--------------|----------|
| <b>MUESTRA NO. 1</b> |              |            |              |          |
| 20 1 0001            | 24.56        |            | 3.64         | 10.00    |
| 20 1 0002            |              |            |              |          |
| 20 1 0003            |              |            |              |          |
| 20 1 0004            |              |            |              |          |
|                      |              |            |              |          |
| <b>MUESTRA NO. 2</b> |              |            |              |          |
| 20 2 001             | 24.56        |            | 3.64         | 10.50    |
| 20 2 002             |              |            |              |          |
| 20 2 003             |              |            |              |          |
| 20 2 004             |              |            |              |          |
|                      |              |            |              |          |
| <b>MUESTRA NO. 4</b> |              |            |              |          |
| 20 4 0001            | 24.56        |            | 3.64         | 10.00    |
| 20 4 0002            |              |            |              |          |
| 20 4 0003            |              |            |              |          |
| 20 4 0004            |              |            |              |          |
|                      |              |            |              |          |
| <b>MUESTRA NO. 5</b> |              |            |              |          |
| 20 5 001             | 12.28        |            | 1.82         | 5.00     |
| 20 5 002             |              |            |              |          |
|                      |              |            |              |          |
| <b>MUESTRA NO. 7</b> |              |            |              |          |
| 20 7 001             | 6.14         |            | 0.91         | 2.50     |

Fuente: Sántiz, 2021.

### 5.2.2 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO

Después del proceso de cocción, que fue detallado en el apartado 4.4 de este documento y la prueba de burbujas detalla en el apartado 4.5 se procedió a realizar el análisis de funcionamiento mediante el caudal. Los filtros fueron colocados dentro de cubetas plásticas y llenados completamente, se les dejó actuar por una hora para después ser retirados y proseguir con la medición de cantidad de agua filtrada durante este tiempo (ver imágenes 51 Y 52), los resultados obtenidos se encuentran detallados en la siguiente tabla.



Figura 51. Llenado de prototipos.

Fuente: Sántiz 2015



Figura 52. Medición de agua filtrada.

Fuente: Sántiz 2015

Tabla 10. Resultado de prueba de filtración.

|                      | FILTRACIÓN (L / HR.) |          | FECHA     | REGISTRO | OBSERVACIONES |
|----------------------|----------------------|----------|-----------|----------|---------------|
| RECONOCIMIENTO       | PRUEBA 1             | PRUEBA 2 | QUEMADA   | DATOS    |               |
| <b>MUESTRA NO. 1</b> |                      |          |           |          |               |
| 20 1 0001            |                      |          |           | jul-15   | GRIETAS       |
| 20 1 0002            | 5.00                 |          | 22-jul-15 |          | PERFORADO     |
| 20 1 0003            |                      |          |           |          | GRIETAS       |
| 20 1 0004            | 7.00                 |          | 22-jul-15 |          | PERFORADO     |
|                      |                      |          |           |          |               |
| <b>MUESTRA NO. 2</b> |                      |          |           |          |               |
| 20 2 001             |                      |          |           | jul-15   | GRIETAS       |
| 20 2 002             |                      |          |           |          | GRIETAS       |
| 20 2 003             |                      |          |           |          | GRIETAS       |
| 20 2 004             |                      |          |           |          | GRIETAS       |
|                      |                      |          |           |          |               |
| <b>MUESTRA NO. 4</b> |                      |          |           |          |               |
| 20 4 0001            | 3.70                 | 3.50     | 22-jul-15 | jul-15   |               |
| 20 4 0002            |                      |          |           |          | GRIETAS       |
| 20 4 0003            | 2.60                 |          | 22-jul-15 |          |               |
| 20 4 0004            | 2.60                 |          | 22-jul-15 |          |               |
|                      |                      |          |           |          |               |
| <b>MUESTRA NO. 5</b> |                      |          |           |          |               |
| 20 5 001             | 2.35                 | 1.60     | 22-jul-15 | jul-15   |               |
| 20 5 002             | 2.00                 | 1.50     | 22-jul-15 |          |               |
|                      |                      |          |           |          |               |
| <b>MUESTRA NO. 7</b> |                      |          |           |          |               |
| 20 7 001             | 3.00                 | 2.30     | 22-jul-15 | jul-15   |               |

Fuente: Sántiz, 2021

Es posible observar que en la mayoría de los prototipos se encontraron grietas, estas fueron significativas haciendo innecesarias otras pruebas de caudal, mientras que los prototipos que no obtuvieron un caudal tan elevado se sometieron a una segunda prueba. Los prototipos que presentan grietas son perforados y desechados como medida de seguridad, para evitar que puedan ser utilizados como filtro de agua potable.



### 5.3 CORRELACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS Y LOS FILTROS CERÁMICOS

Es de suma importancia conocer y resumir las propiedades físicas de cada muestra, y relacionarlo con el funcionamiento del prototipo o prototipos elaborados, esto con el fin de ir identificando a arcillas estudiadas y quizá en un futuro lograr un catálogo de arcillas que pueda estar disponible para los artesanos o fabricantes de filtros cerámicos, para con esto poder predecir de cierta forma el comportamiento de sus arcillas disponibles. A continuación se presentan los resúmenes de cada muestra estudiada.

Tabla 11. Resumen muestra no. 1

| % ARENA     | % FINOS  | CARTA DE PLASTICIDAD                  |             |
|-------------|----------|---------------------------------------|-------------|
| 12.40%      | 87.60%   | CL : ARCILLA CON BAJA COMPRESIBILIDAD |             |
| CAUDAL L/HR |          |                                       |             |
| PROTOTIPO   | PRUEBA 1 | PRUEBA 2                              | OBSERVACION |
| 20 1 0001   |          |                                       | GRIETAS     |
| 20 1 0002   | 5.00     |                                       | PERFORADO   |
| 20 1 0003   |          |                                       | GRIETAS     |
| 20 1 0004   | 7.00     |                                       | PERFORADO   |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 12. Resumen muestra no. 2

| % ARENA     | % FINOS  | CARTA DE PLASTICIDAD                  |             |
|-------------|----------|---------------------------------------|-------------|
| 0.00%       | 100.00%  | CL : ARCILLA CON BAJA COMPRESIBILIDAD |             |
| CAUDAL L/HR |          |                                       |             |
| PROTOTIPO   | PRUEBA 1 | PRUEBA 2                              | OBSERVACION |
| 20 1 0001   |          |                                       | GRIETAS     |
| 20 1 0002   |          |                                       | GRIETAS     |
| 20 1 0003   |          |                                       | GRIETAS     |
| 20 1 0004   |          |                                       | GRIETAS     |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 13. Resumen muestra no. 3

|                                    |                 |                                       |                    |
|------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| % ARENA                            | % FINOS         | CARTA DE PLASTICIDAD                  |                    |
| 10.42%                             | 89.59%          | CL : ARCILLA CON BAJA COMPRESIBILIDAD |                    |
|                                    | CAUDAL L/HR     |                                       |                    |
| <b>PROTOTIPO</b>                   | <b>PRUEBA 1</b> | <b>PRUEBA 2</b>                       | <b>OBSERVACION</b> |
|                                    |                 |                                       |                    |
| NO FUE POSIBLE ELABORAR PROTOTIPOS |                 |                                       |                    |
|                                    |                 |                                       |                    |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 14. Resumen muestra no. 4

|                  |                 |                                       |                    |
|------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| % ARENA          | % FINOS         | CARTA DE PLASTICIDAD                  |                    |
| 18.20%           | 81.80%          | CL : ARCILLA CON BAJA COMPRESIBILIDAD |                    |
|                  | CAUDAL L/HR     |                                       |                    |
| <b>PROTOTIPO</b> | <b>PRUEBA 1</b> | <b>PRUEBA 2</b>                       | <b>OBSERVACION</b> |
| 20 4 0001        | 3.70            | 3.50                                  |                    |
| 20 4 0002        |                 |                                       | GRIETAS            |
| 20 4 0003        | 2.60            |                                       |                    |
| 20 4 0004        | 2.60            |                                       |                    |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 15. Resumen muestra no. 5

|                  |                 |                                       |                    |
|------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| % ARENA          | % FINOS         | CARTA DE PLASTICIDAD                  |                    |
| 5.95%            | 94.05%          | CL : ARCILLA CON BAJA COMPRESIBILIDAD |                    |
|                  | CAUDAL L/HR     |                                       |                    |
| <b>PROTOTIPO</b> | <b>PRUEBA 1</b> | <b>PRUEBA 2</b>                       | <b>OBSERVACION</b> |
| 20 5 001         | 2.35            | 1.60                                  |                    |
| 20 5 002         | 2.00            | 1.50                                  |                    |
|                  |                 |                                       |                    |
|                  |                 |                                       |                    |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 16. Resumen muestra no. 6

| % ARENA                                                                                                                       | % FINOS     | CARTA DE PLASTICIDAD |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| 60.29%                                                                                                                        | 39.71%      | CL :                 |             |
|                                                                                                                               | CAUDAL L/HR |                      |             |
| PROTOTIPO                                                                                                                     | PRUEBA 1    | PRUEBA 2             | OBSERVACION |
|                                                                                                                               |             |                      |             |
| POR SU GRAN CONTENIDO DE ARENA NI SIQUIERA FUE POSIBLE MOLDEAR UN SOLO FILTRO, NI HUBICARLO DENTRO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD |             |                      |             |
|                                                                                                                               |             |                      |             |

Fuente: Sántiz, 2021.

Tabla 17. Resumen muestra no. 7

| % ARENA   | % FINOS     | CARTA DE PLASTICIDAD |                                  |
|-----------|-------------|----------------------|----------------------------------|
| 8.36%     | 91.64%      | CL :                 | ARCILLA CON BAJA COMPRESIBILIDAD |
|           | CAUDAL L/HR |                      |                                  |
| PROTOTIPO | PRUEBA 1    | PRUEBA 2             | OBSERVACION                      |
| 20 7 001  | 3.00        | 2.30                 |                                  |
|           |             |                      |                                  |
|           |             |                      |                                  |
|           |             |                      |                                  |

Fuente: Sántiz, 2021.

Se puede observar como las muestras con mayor contenido de arena no pudieron mezclarse o los prototipos tuvieron grietas en su interior después de mezclarse, mientras que las muestras con bajo contenido de arena se obtuvieron prototipos que estuvieron dentro del rango admitido, el caso especial que puede observarse es en la muestra no. 2 que a pesar de contener poca arena, todos los prototipos logrados tuvieron grietas en su interior, esto pudo deberse a un mal manejo de la pieza durante el secado a la intemperie o durante su traslado al horno.

Para seguir con el estudio del banco de materiales de la ladrillera “Los mangos” y tomando en cuenta que la muestra no. 4 arrojó resultados que de alguna manera demuestran que podría ser buena para la fabricación de filtros cerámicos, se optó por recolectar más

cantidades de material de esta muestra y realizar prototipos de filtros con variaciones en porcentajes de aserrín y agregado de arena en algunos casos. Para esto se realizaron todos los procesos necesarios de preparación del material, así como mezclado, secado y cocción de los prototipos moldeados. Los resultados obtenidos se encuentran resumidos en el anexo 1 de este documento.

Se mencionó en párrafos anteriores que las muestras estudiadas en este documento pertenecen a la arcilla no. 20 de todos los casos estudiados en el taller de filtros cerámicos, por esto, se resumirán en el anexo 2 los datos encontrados en los estudios anteriores, esto con el fin de tener otro campo de comparativa y más datos que nos ayuden a respaldar nuestra hipótesis y alcanzar los objetivos propuestos al inicio de nuestra investigación.

## CONCLUSIONES

Gracias a este estudio y a pesar de que no se logró obtener gran cantidad de filtros cerámicos funcionales, se puede demostrar que las propiedades físicas de las arcillas si intervienen durante el proceso de manufactura y eficiencia del filtro cerámico. Por ejemplo; en cuanto al proceso de manufactura se refiere, se pudo deducir gracias a que las muestras arrojaron cantidades diferentes en porcentajes de contenido de arena, más claro es el de la muestra no. 6 el cual contiene más de 60 % de arena lo cual hizo imposible su mezclado y moldeado. De igual modo la muestra no. 3 que contiene más de 10% de arena no pudo ser moldeado.

En cuanto a efectividad; observamos a la mezcla no. 1 con más de 12% de contenido de arena, que a pesar de haberse podido moldear, ésta contenía gran cantidad de grietas en su interior, lo cual no es útil para producir filtros funcionales. Por otro lado destacamos a las muestras no. 5 y no. 7 con un contenido de arena menor al 10%, fue posible moldearse y en cuanto a efectividad de las piezas elaboradas, éstas cumplieron satisfactoriamente con los requisitos necesarios para proveer de agua potable. Tenemos como caso especial la muestra no. 2 que a pesar de no contener arena, todos los prototipos elaborados presentaron grietas en su interior, en este caso quizá tuvimos algún mal manejo de las piezas durante su secado o durante el traslado e introducción al horno para su cocción.

También es importante mencionar a la muestra no. 4 la cual en un principio a pesar de contener arena, dio resultados medianamente aceptables. Pero gracias a que fue posible la recolección de más cantidad de esta muestra se pudo estudiar a fondo, los resultados se pueden observar en el anexo I, es posible ver que esta arcilla únicamente mezclada con aserrín genera filtros que pasan satisfactoriamente la prueba del caudal, mientras que al agregarle arena a la mezcla esta va deteriorando su efectividad.

Respondiendo al objetivo general planteado, sí es posible mejorar el proceso de fabricación mediante la identificación del tipo de arcilla a utilizar pues según Santiz (2012) las arcillas de alta plasticidad no son adecuadas para la fabricación de filtros cerámicos

mientras que las arcillas de baja compresibilidad si son adecuados, siempre y cuando su contenido de arena no sea excesivo.

Trabajando en los objetivos específicos propuestos al inicio de esta investigación:

- Identificar las propiedades físicas de arcillas que intervienen en la manufactura y eficiencia de filtrado, se mencionó en párrafos anteriores que el contenido de arena principalmente interviene, así como el índice plástico y limite líquido que nos permite graficarlos en la carta de plasticidad e identificar el tipo de arcilla al que pertenece.
- Realizar discos de las mezclas en proporciones de insumos, semejantes a los utilizados en la manufactura de los filtros diseñados con anterioridad en la Facultad de Ingeniería de la UNACH, para este punto se dificulta la elaboración de discos pues no se cuenta con parámetros en cuanto a grosor y tamaño, por cual motivo se resolvió elaborar prototipos de filtro cerámico pues se cuenta con todo el equipo necesario para dicha labor.
- Realizar el procedimiento de elaboración de los filtros cerámicos (proporciones de insumos, mezclas, secado, cocción) en los discos, para poder analizar la porosidad de las piezas mediante pruebas de filtración, los resultados de los filtros elaborados se encuentran disponibles en párrafos anteriores y en los anexos de este documento.

## RECOMENDACIONES

Es importante identificar las propiedades de las arcillas antes de ser utilizadas en mezclas para prototipos de filtros, entonces se recomienda principalmente, quizá para documentos futuros la recolección de datos de arcillas estudiadas y clasificadas, para con ellos poder elaborar una carpeta en el que se resuma las principales características de dichas arcillas, esto con el fin de tener antecedentes y comparativas para las arcillas que se quieran utilizar, evitando con esto, gastos innecesarios en transporte de material no apto para la elaboración de los filtros cerámicos, así como, un ahorro en tiempo, recurso humano y espacio en los talleres.

Otra recomendación importante es, tratar de estandarizar un método de reconocimiento en campo que sea de fácil entendimiento y aplicación, en la actualidad existe uno que consiste en realizar un anillo con una muestra de arcilla mezclada con un poco de agua, si la arcilla húmeda da la forma de un anillo sin romperse es idónea, pero si no se logra formar dicho anillo entonces no debe ser utilizada para elaboración de filtros.

## BIBLIOGRAFÍA

- CMWG. (2011). *Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment*. ed 1. Recuperado el 02 de enero de 2021, de [https://b06e35ce-2a1a-4f6b-935c-3a97c8f0fbb7.filesusr.com/ugd/2802c0\\_91b40a48e8a348e5989aa91b6d2d8998.pdf](https://b06e35ce-2a1a-4f6b-935c-3a97c8f0fbb7.filesusr.com/ugd/2802c0_91b40a48e8a348e5989aa91b6d2d8998.pdf)
- Hester, J. (2012). *Measuring Clay Property Variation and Effects on Ceramic Pot Filter Performance*. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Recuperado el agosto de 2015, de <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/70755>
- IMT. (2007). *a 06. Granulometría de materiales compactables para terracerías*. Recuperado el 15 de 01 de 2021, de <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-06-03.pdf>
- (2007). *b 07. Límites de consistencia*. Recuperado el 15 de 01 de 2021, de <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-07-07.pdf>
- INEGI, I. N. (2015). *INEGI*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/>
- Juárez, B. (2009). *Mecánica de suelos. Tomo 1*. México D.F.: Limusa, S.A. de C.V.
- Lantagne, D. S. (2001). Investigación del filtro de barro impregnado con plata coloidal promovido por Ceramistas por la Paz. *Reposte 1:intrinsic effectiveness*.
- Palma, D. (1994). Contra la morbilidad infantil. Filtros artesanales y educación. *Estudios sociales Universidad Rafael Landivar, Guatemala*, 26-30.
- Pérez, R. J. (2017). *Evaluación de un filtro para potabilización de agua en zonas rurales*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Rivera, R. (2005). *El filtrón, filtro cerámico para agua potable*. Managua, Nicaragua: IDEASS. Recuperado el 15 de enero de 2021, de [http://www.ideassonline.org/pdf/br\\_28\\_59.pdf](http://www.ideassonline.org/pdf/br_28_59.pdf)
- Rodríguez, L., & Sánchez, R. (2012). *Movimiento del agua en medios porosos*. Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Romero, L. M., & Mejillón, S. M. (2018). *Elaboración de un filtro de barro compuesto de arcilla roja, óxido de grafeno y nanopartículas de plata para el tratamiento de aguas de río chimbo*. Guayaquil Ecuador.



- Sántiz, I. (2012). *Evaluación de insumos para la elaboración de un filtro cerámico unifamiliar para agua potable en Chiapas*. Tuxtla Gutierrez: UNACH, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura en Ingeniería.
- Vidal, H. S. (2010). *Evaluacion de la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilizacion de agua, medidas por pruebas fisicoquimicas y microbiológicas*. Pereira, Colombia. Recuperado el 19 de enero de 2021, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2086/628352V648.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

# **ANEXO I. RESULTADO DE PROTOTIPOS CON MUESTRA NO. 4**

### A-1.1 PROTOTIPOS SIN ARENA

| Identificación | Arcilla | Arena | Aserrín | Agua | Reconocimiento | Filtración (L / hr.) |          | Fecha prueba filtracion | Fecha quemada | Observaciones         |
|----------------|---------|-------|---------|------|----------------|----------------------|----------|-------------------------|---------------|-----------------------|
|                | kg      | kg    | kg      | L    |                | prueba 1             | prueba 2 |                         |               |                       |
|                |         |       | 10.00%  |      |                |                      |          |                         |               |                       |
| 000000 1       | 12.80   |       | 1.42    | 2.00 | 000000 1       | 0.80                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 000000 2       |         |       |         |      | 000000 2       | 1.70                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 000000 3       | 25.60   |       | 2.84    | 8.00 | 000000 3       | 1.90                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 000000 4       |         |       |         |      | 000000 4       | 1.95                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 000000 5       |         |       |         |      | 000000 5       |                      |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | X                     |
| 000000 6       |         |       |         |      | 000000 6       | 2.00                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | ?                     |
| 000000 7       | 25.60   |       | 2.84    | 8.00 | 000000 7       | 1.65                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | remoldeado 28-10-2015 |
| 000000 8       |         |       |         |      | 000000 8       | 1.45                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | remoldeado 28-10-2015 |
| 000000 9       |         |       |         |      | 000000 9       | 1.40                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 10       |         |       |         |      | 00000 10       |                      |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | X                     |
| 00000 11       | 25.60   |       | 2.84    | 8.00 | 00000 11       | 1.00                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 12       |         |       |         |      | 00000 12       |                      |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | X                     |
| 00000 13       |         |       |         |      | 00000 13       |                      |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | X                     |
| 00000 14       |         |       |         |      | 00000 14       | 1.30                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 15       | 25.60   |       | 2.84    | 8.00 | 00000 15       | 0.90                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 16       |         |       |         |      | 00000 16       | 1.35                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 17       |         |       |         |      | 00000 17       |                      |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | X                     |
| 00000 18       |         |       |         |      | 00000 18       | 1.00                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 19       | 25.60   |       | 2.84    | 8.00 | 00000 19       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 20       |         |       |         |      | 00000 20       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 21       |         |       |         |      | 00000 21       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 22       |         |       |         |      | 00000 22       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 23       | 25.60   |       | 2.84    | 8.00 | 00000 23       |                      |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    | X                     |
| 00000 24       |         |       |         |      | 00000 24       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 25       |         |       |         |      | 00000 25       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 26       |         |       |         |      | 00000 26       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 27       | 19.20   |       | 2.13    | 6.50 | 00000 27       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 28       |         |       |         |      | 00000 28       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |
| 00000 29       |         |       |         |      | 00000 29       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |                       |

Fuente: Sántiz, 2021.

## A-1.2 PROTOTIPOS CON ARENA

| Identificación | Arcilla | Arena | Aserrín | Agua | Reconocimiento | Filtración (L / hr.) |          | Fecha prueba filtracion | Fecha quemada | Observaciones |
|----------------|---------|-------|---------|------|----------------|----------------------|----------|-------------------------|---------------|---------------|
|                | kg      | kg    | kg      | L    |                | prueba 1             | prueba 2 |                         |               |               |
| 00000 30       | 25.60   |       | 2.84    | 8.30 | 00000 30       | 0.50                 |          | 13/11/2015              | 12/11/2015    |               |
| 00000 31       |         |       |         |      | 00000 31       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 32       |         |       |         |      | 00000 32       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 33       |         |       |         |      | 00000 33       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 34       |         |       |         |      | 00000 34       | 0.50                 |          |                         |               |               |
| 00000 35       |         |       |         |      | 00000 35       | 0.50                 |          | 19/01/2016              |               |               |
|                |         |       | 11%     |      |                |                      |          |                         |               |               |
| 00000 44       | 25.20   |       | 3.11    | 8.00 | 00000 44       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 45       |         |       |         |      | 00000 45       | 0.80                 |          | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 46       |         |       |         |      | 00000 46       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 47       |         |       |         |      | 00000 47       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 48       |         |       |         |      | 00000 48       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 49       | 25.20   |       | 3.11    | 8.00 | 00000 49       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 50       |         |       |         |      | 00000 50       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 51       |         |       |         |      | 00000 51       | 0.40                 |          | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 52       |         |       |         |      | 00000 52       |                      |          |                         |               | sin datos     |
|                |         |       | 12%     |      |                |                      |          |                         |               |               |
| 00000 53       | 25.50   |       | 3.48    | 8.00 | 00000 53       | 1.00                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 00000 54       |         |       |         |      | 00000 54       | 0.60                 |          | 07/02/2016              |               |               |
| 00000 55       |         |       |         |      | 00000 55       | 1.50                 |          | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 56       |         |       |         |      | 00000 56       | 0.70                 |          | 07/02/2016              |               |               |
| 00000 57       |         |       |         |      | 00000 57       | 1.10                 |          | 07/02/2016              |               |               |
|                |         |       | 12%     |      |                |                      |          |                         |               |               |
| 00000 58       | 24.80   |       | 3.38    | 8.50 | 00000 58       | 0.50                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 00000 59       |         |       |         |      | 00000 59       |                      |          |                         |               |               |
| 00000 60       |         |       |         |      | 00000 60       | 0.50                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 00000 61       |         |       |         |      | 00000 61       | 0.60                 |          | 19/01/2016              |               |               |
|                |         |       | 13%     |      |                |                      |          |                         |               |               |
| 00000 62       | 24.40   |       | 3.65    | 8.20 | 00000 62       | 1.20                 |          | 07/02/2016              |               |               |
| 00000 63       |         |       |         |      | 00000 63       | 0.90                 | 0.70     | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 64       |         |       |         |      | 00000 64       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 00000 65       |         |       |         |      | 00000 65       | 1.10                 |          | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 66       | 24.40   |       | 3.65    | 8.20 | 00000 66       | 0.95                 |          | 07/02/2016              |               |               |
| 00000 67       |         |       |         |      | 00000 67       | 1.00                 | 1.00     | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 68       |         |       |         |      | 00000 68       | 0.90                 |          | 19/01/2016              |               |               |
| 00000 69       |         |       |         |      | 00000 69       | 1.00                 |          | 19/01/2016              |               |               |

Fuente: Sántiz, 2021.

## A-1.2 PROTOTIPOS CON ARENA

| Identificación | Arcilla | Arena | Aserrín | Agua | Reconocimiento | Filtración (L / hr.) |          | Fecha prueba filtración | Fecha quemada | Observaciones |
|----------------|---------|-------|---------|------|----------------|----------------------|----------|-------------------------|---------------|---------------|
|                | kg      | kg    | kg      | L    |                | prueba 1             | prueba 2 |                         |               |               |
| 0000 104       | 23.18   | 2.58  | 3.85    | 8.50 | 0000 104       | 1.00                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 105       |         |       |         |      | 0000 105       |                      |          |                         |               | sin datos     |
| 0000 106       |         |       |         |      | 0000 106       | 1.00                 | 1.10     | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 107       |         |       |         |      | 0000 107       | 1.30                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 108       | 23.18   | 2.58  | 3.85    | 8.40 | 0000 108       | 1.50                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 109       |         |       |         |      | 0000 109       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 110       |         |       |         |      | 0000 110       | 1.50                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 111       |         |       |         |      | 0000 111       | 1.50                 |          | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 112       |         |       |         |      | 0000 112       | 1.00                 | 1.00     | 20/01/2016              |               |               |
| 0000 113       | 23.18   | 2.58  | 3.85    | 8.30 | 0000 113       | 5.00                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 114       |         |       |         |      | 0000 114       |                      |          |                         |               | X             |
| 0000 115       |         |       |         |      | 0000 115       | 6.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 116       |         |       |         |      | 0000 116       | 5.90                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 117       | 23.18   | 2.58  | 3.85    | 8.50 | 0000 117       | 5.30                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 118       |         |       |         |      | 0000 118       | 6.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 119       |         |       |         |      | 0000 119       | 5.90                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 120       |         |       |         |      | 0000 120       | 5.70                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 121       |         |       |         |      | 0000 121       | 5.10                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 122       | 23.18   | 2.58  | 3.85    | 8.50 | 0000 122       | 5.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 123       |         |       |         |      | 0000 123       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 124       |         |       |         |      | 0000 124       | 7.00                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 125       |         |       |         |      | 0000 125       | 5.90                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 126       | 23.18   | 2.58  | 3.85    | 8.50 | 0000 126       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 127       |         |       |         |      | 0000 127       | 6.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 128       |         |       |         |      | 0000 128       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 129       |         |       |         |      | 0000 129       | 6.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 130       |         |       |         |      | 0000 130       | 6.00                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
|                |         | 10%   |         |      |                |                      |          |                         |               |               |
| 0000 135       | 21.96   | 2.44  | 3.65    | 8.00 | 0000 135       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 136       |         |       |         |      | 0000 136       | 6.00                 |          |                         |               | X             |
| 0000 137       |         |       |         |      | 0000 137       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 138       |         |       |         |      | 0000 138       | 4.00                 |          |                         |               | X             |
| 0000 139       | 21.96   | 2.44  | 3.65    | 8.00 | 0000 139       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 140       |         |       |         |      | 0000 140       | 3.60                 |          |                         |               | X             |
| 0000 141       |         |       |         |      | 0000 141       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 142       |         |       |         |      | 0000 142       | 3.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
|                |         | 15%   | 13%     |      |                |                      |          |                         |               |               |
| 0000 143       | 20.88   | 3.68  | 3.64    | 8.00 | 0000 143       | 4.50                 |          | 07/02/2016              |               | X             |
| 0000 144       |         |       |         |      | 0000 144       |                      |          | 07/02/2016              |               | grietas       |
| 0000 145       |         |       |         |      | 0000 145       |                      |          |                         |               | grietas       |
| 0000 146       |         |       |         |      | 0000 146       |                      |          |                         |               | grietas       |

Fuente: Sántiz, 2021.

# **ANEXO II. MUESTRA ESTUDIADA ANTES DE ESTA INVESTIGACIÓN**

## A-2.1 PROTOTIPOS LADRILLERA LOS MANGOS

| Identificación        | Arcilla | Arena | Aserín                                       | Agua  | Reconocimiento | Filtración (L / hr.) |          | Fecha quemada | Observaciones |
|-----------------------|---------|-------|----------------------------------------------|-------|----------------|----------------------|----------|---------------|---------------|
|                       | kg      | kg    | kg                                           | L     |                | prueba 1             | prueba 2 |               |               |
| LADRILLERA LOS MANGOS |         |       | Primera extracción de material en ladrillera |       |                |                      |          |               |               |
| 20 00001              | 6.14    |       | 0.91                                         |       | 20 00001       | 1.50                 |          | 22-jul-15     |               |
| 20 00002              | 6.14    |       | 0.91                                         |       | 20 00002       | 2.70                 |          |               |               |
| 20 00003              | 18.42   |       | 2.73                                         | 7.55  | 20 00003       |                      |          |               | x             |
| 20 00004              |         |       |                                              |       | 20 00004       | 4.90                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00005              |         |       |                                              |       | 20 00005       | 5.70                 |          |               | x             |
| 20 00006              | 24.56   |       | 3.64                                         | 10.00 | 20 00006       | 3.00                 |          |               | x             |
| 20 00007              |         |       |                                              |       | 20 00007       |                      |          |               | x             |
| 20 00008              |         |       |                                              |       | 20 00008       | 4.40                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00009              |         |       |                                              |       | 20 00009       | 5.00                 |          |               | x             |
| 20 00010              | 24.56   |       | 3.64                                         | 10.00 | 20 00010       | 2.40                 |          | 22-jul-15     |               |
| 20 00011              |         |       |                                              |       | 20 00011       | 3.00                 |          | 22-jul-15     |               |
| 20 00012              |         |       |                                              |       | 20 00012       |                      |          |               | x             |
| 20 00013              |         |       |                                              |       | 20 00013       |                      |          |               | x             |
| 20 00014              | 24.56   |       | 3.64                                         | 10.50 | 20 00014       | 7.00                 |          | 22-jul-15     | DESMORONADO   |
| 20 00015              |         |       |                                              |       | 20 00015       |                      |          |               | x             |
| 20 00016              |         |       |                                              |       | 20 00016       | 5.50                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00017              |         |       |                                              |       | 20 00017       | 5.30                 |          |               | x             |
| 20 00018              | 24.56   |       | 3.64                                         | 10.00 | 20 00018       | 4.90                 |          |               | x             |
| 20 00019              |         |       |                                              |       | 20 00019       | 4.80                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00020              |         |       |                                              |       | 20 00020       | 4.50                 | 7.00     |               | x             |
| 20 00021              |         |       |                                              |       | 20 00021       | 4.60                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00022              | 24.56   |       | 3.64                                         | 10.00 | 20 00022       |                      |          |               | x             |
| 20 00023              |         |       |                                              |       | 20 00023       | 4.50                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00024              |         |       |                                              |       | 20 00024       |                      |          |               | x             |
| 20 00025              |         |       |                                              |       | 20 00025       | 4.50                 |          | 22-jul-15     | PERFORADO     |
| 20 00026              | 24.56   |       | 3.64                                         | 9.00  | 20 00026       |                      |          |               | x             |
| 20 00027              |         |       |                                              |       | 20 00027       | 6.00                 |          |               | x             |
| 20 00028              |         |       |                                              |       | 20 00028       | 7.00                 |          |               | x             |
| 20 00029              |         |       |                                              |       | 20 00029       | 4.50                 |          |               | x             |
| 20 00030              | 24.56   |       | 3.64                                         | 9.50  | 20 00030       | 7.00                 |          |               | x             |
| 20 00031              |         |       |                                              |       | 20 00031       | 7.30                 |          |               | x             |
| 20 00032              |         |       |                                              |       | 20 00032       | 7.00                 |          |               | x             |
| 20 00033              |         |       |                                              |       | 20 00033       | 6.30                 |          | 22-jul-15     | DESMORONADO   |
| 20 00034              |         |       |                                              |       | 20 00034       | 5.85                 | 4.60     |               | x             |

Fuente: Sántiz, 2021.

### A-2.2 PROTOTIPOS CON VARIACIÓN EN CANTIDAD DE ASERRIN LADRILLERA LOS MANGOS

| Identificación | Arcilla | Arena | Aserrín     | Agua  | Reconocimiento | Filtración (L / hr.) |          | Fecha quemada | Observaciones    |
|----------------|---------|-------|-------------|-------|----------------|----------------------|----------|---------------|------------------|
|                | kg      | kg    | kg          | L     |                | prueba 1             | prueba 2 |               |                  |
| 20 00035       | 24.56   |       | 3.64        | 10.00 | 20 00035       | 7.00                 |          |               | x                |
| 20 00036       |         |       |             |       | 20 00036       | 4.60                 | 4.80     |               | x                |
| 20 00037       |         |       |             |       | 20 00037       | 2.45                 | 7.30     |               |                  |
| 20 00038       |         |       |             |       | 20 00038       | 2.00                 |          |               |                  |
| 20 00039       |         |       |             |       | 20 00039       |                      |          |               | x                |
| 20 00040       |         |       |             |       | 20 00040       | 6.00                 |          |               | x                |
| 20 00041       |         |       |             |       | 20 00041       | 2.40                 |          |               |                  |
| 20 00042       |         |       |             |       | 20 00042       | 7.50                 |          |               | x                |
|                |         |       | 9% aserrín  |       |                |                      |          |               |                  |
| 20 09 01       | 26.00   |       | 2.57        | 7.50  | 20 09 01       | 1.75                 |          |               |                  |
| 20 09 02       |         |       |             |       | 20 09 02       | 2.50                 |          |               |                  |
| 20 09 03       |         |       |             |       | 20 09 03       | 1.70                 |          |               |                  |
| 20 09 04       |         |       |             |       | 20 09 04       | 1.75                 |          |               |                  |
| 20 09 05       | 26.00   |       | 2.57        | 8.00  | 20 09 05       | 4.10                 |          |               | grietas          |
| 20 09 06       |         |       |             |       | 20 09 06       | 3.00                 |          |               |                  |
| 20 09 07       |         |       |             |       | 20 09 07       | 4.10                 |          |               |                  |
| 20 09 08       |         |       |             |       | 20 09 08       | 2.00                 |          |               |                  |
|                |         |       | 10% aserrín |       |                |                      |          |               |                  |
| 20 10 01       | 25.60   |       | 2.84        | 9.00  | 20 10 01       | 2.00                 |          |               |                  |
| 20 10 02       |         |       |             |       | 20 10 02       | 1.80                 |          |               |                  |
| 20 10 03       |         |       |             |       | 20 10 03       | 2.50                 |          |               |                  |
| 20 10 04       | 25.60   |       | 2.84        | 8.00  | 20 10 04       | 2.60                 |          |               |                  |
| 20 10 05       |         |       |             |       | 20 10 05       | 3.20                 |          |               | grietas en fondo |
| 20 10 07       |         |       |             |       | 20 10 07       | 2.55                 |          |               |                  |
| 20 10 08       |         |       |             |       | 20 10 08       | 2.50                 |          |               |                  |
|                |         |       | 11% aserrín |       |                |                      |          |               |                  |
| 20 11 01       | 25.20   |       | 3.11        | 8.50  | 20 11 01       | 4.00                 |          |               |                  |
| 20 11 03       |         |       |             |       | 20 11 03       | 3.75                 |          |               |                  |
| 20 11 04       |         |       |             |       | 20 11 04       | 3.75                 |          |               |                  |
| 20 11 05       | 25.20   |       | 3.11        | 8.00  | 20 11 05       | 4.00                 |          |               |                  |
| 20 11 06       |         |       |             |       | 20 11 06       | 3.40                 |          |               |                  |
| 20 11 07       |         |       |             |       | 20 11 07       | 4.30                 |          |               |                  |
|                |         |       |             |       |                |                      |          |               |                  |
|                |         |       | 15% aserrín |       |                |                      |          |               |                  |
| 20 15 01       | 15.657  |       | 4.095       | 8.5   | 20 15 01       | 2.50                 |          |               |                  |
| 20 15 02       |         |       |             |       | 20 15 02       | 3.00                 |          |               |                  |
| 20 15 03       |         |       |             |       | 20 15 03       | 2.70                 |          |               |                  |

Fuente: Sántiz, 2021.