

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



“ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCÍLAGO DE
PENCA DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) PARA EL USO
EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS
UNIFAMILIARES, OBRAJILLO, CANTA, 2020”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

BACH. ELIZABETH, CHARAJA PASIHUAN

BACH. IRMA HERMINDA, MELÉNDEZ CRUZ

BACH. DOROTEA, QUISPE PUMACAYO

ASESORA:

ING. ENA M. JAIMES ESPINOZA

Callao, 2022

PERÚ

Three handwritten signatures in blue ink are positioned to the right of the author and advisor names. The top signature is for Elizabeth Charaja Pasihuan, the middle one for Irma Herminda Meléndez Cruz, and the bottom one for Ena M. Jaimes Espinoza.

A handwritten signature in blue ink, 'Ena M. Jaimes Espinoza', is located at the bottom right of the page, below the advisor's name.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 2

ACTA N° 006-2022-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

LIBRO N°..... FOLIO N°..... ACTA 006-2022-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 18 días del mes de julio del año 2022, siendo las 09:10 horas, se reunió en la sala Meet: <https://meet.google.com/qfk-wdyp-yxm>, la MsC. María Antonieta Gutiérrez Díaz, Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa y la Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga, el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS, según la resolución N° 087-2021-D-FIARN, para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

MsC. María Antonieta Gutiérrez Díaz
Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa
Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga
Ing. Ena María Jaimes Espinoza

Presidente
Secretario
Vocal
Asesora

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las Bachilleres Elizabeth Charaja Pasihuan, Irma Herminda Meléndez Cruz y Dorotea Quispe Pumacayo, quienes, habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA (Opuntia ficus-indica) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES, OBRAJILLO, CANTA. 2020”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa de **16**, la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021- CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la sesión a las 10:27 horas del día lunes 18 de julio del año en curso.



MsC. María Antonieta Gutiérrez Díaz
Presidente



Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa
Secretario



Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga
Vocal



Ing. Ena María Jaimes Espinoza
Asesora

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios por permitir culminarla y a todas las personas que nos han brindado su granito de arena.

En especial a nuestros padres e hijos, familiares y amigos que, con su motivación, fueron el motor que hizo posible el desarrollo de la investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por permitirnos realizar cada meta que nos proponemos en la vida.

A nuestros padres que son nuestro ejemplo a seguir, a nuestros hijos, hermanos, amigos y toda la familia, por estar ahí siempre apoyándonos con mucho amor y motivación en cumplir nuestros sueños.

A la asesora Ena Jaimes Espinoza, por sus conocimientos brindados en la investigación, a los jurados de la tesis: “Adobe Ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta, 2020”, Ing. Carlos Milla Figueroa, la Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga y MsC. María Antonieta Gutiérrez Díaz que, con su paciencia, conocimiento y experiencia, nos brindaron su apoyo y recomendaciones en las diferentes etapas de la tesis.

Al gerente administrativo Dany Francisco Ccoto Trujillo y los técnicos del laboratorio MTL GEOTECNIA que nos ayudaron con la asesoría, análisis de pruebas fisicomecánicas y buscar soluciones a los inconvenientes que se presentaron en los análisis.

A la Universidad Nacional del Callao por ser nuestra casa de estudios, a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por permitirnos estudiar y formarnos en esta hermosa carrera profesional y a los profesores por los años de enseñanzas, esfuerzo constante y por convertirnos en los futuros buenos profesionales.

ÍNDICE

RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos de la investigación.....	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Limitantes de la investigación	20
1.4.1. Teórico.....	20
1.4.2. Temporal	20
1.4.3. Espacial	20
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes del estudio	20
2.1.1. Nacionales	20
2.1.2. Internacionales	24
2.2. Marco Teórico	25
2.2.1. Adobe como material para la construcción.....	25
2.2.2. <i>Opuntia ficus - indica</i>	33
2.2.3. Provincia de Canta.....	43
2.2.4. Fenómeno El Niño y la construcción de adobe	46
2.3. Conceptual	47
2.3.1. Adobe	47
2.3.2. <i>Opuntia ficus-indica</i>	47
2.4. Definiciones de términos básicos	48
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	50
3.1. Hipótesis	50
3.1.1. Hipótesis general	50
3.1.2. Hipótesis específicas	50
3.2. Definición conceptual de variables	50

3.2.1. Operacionalización de las variables	52
IV.DISEÑO METODOLÓGICO.....	53
4.1. Tipo y Diseño de investigación	53
4.1.1. Tipo.....	53
4.1.2. Diseño	54
4.2. Método de investigación.....	55
4.2.1. Muestreo de suelo para la elaboración del adobe.....	55
4.2.2. Extracción del mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus- indica</i>) y producción de Biopolímero.....	58
4.2.3. Formulación de las mezclas.....	62
4.2.4. Mezcla y modelo de adobe	65
4.3. Población y muestra.....	69
4.3.1. Población	69
4.3.2. Muestra.....	70
4.4. Lugar de Estudio	71
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	71
4.5.1. Técnicas	71
4.5.2. Instrumentos	71
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	76
V.RESULTADOS.....	76
5.1. Resultados descriptivos	76
5.1.1. Resistencia a la compresión	76
5.1.2. Análisis geométrico.....	82
5.1.3. Absorción por capilaridad.....	83
5.1.4. Resistencia a la flexión	86
5.2. Resultados inferenciales.....	89
5.2.1. Resistencia a la compresión de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna.....	89
5.2.2. Flexión de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	95
5.2.3. Absorción del agua de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	97
5.2.4. Análisis de regresión lineal	99
5.2.5. Análisis de datos en función al desarrollo del objetivo general u objetivo específico	102

VI.DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	103
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	103
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	104
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (El autor se responsabiliza por la información emitida en el informe).....	105
VII.CONCLUSIONES.....	105
VIII.RECOMENDACIONES.....	106
IX.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	113
ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	114
ANEXO 2 RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO	115
ANEXO 3 ESTADÍSTICOS	122
ANEXO 4 CERTIFICADO DE ISO 9001:2015 DEL LABORATORIO.....	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición- de adobe	27
Tabla 2 Dimensiones del adobe según fuentes de información.....	28
Tabla 3 Dimensiones geométricas típicas de las muestras analizadas	29
Tabla 4 Conductividad térmica del bloque de adobe.....	31
Tabla 5. Clasificación de polímeros.....	32
Tabla 6 Características de la tuna.....	37
Tabla 7 Clasificación del género Opuntia	39
Tabla 8 Composición química y nutricional de las tunas de diferentes colores	40
Tabla 9 Componentes identificados en la penca de la tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	42
Tabla 10 Reporte de temperaturas en °C en el período 1964.-1971, estación meteorológica de Canta	44
Tabla 11 Operacionalización de las variables	52
Tabla 12 Concentración de volumen de los componentes utilizados para la fabricación con un diseño experimental	62
Tabla 13 Cantidad total de muestras a ensayar	69
Tabla 14 Ficha de recopilación de data del análisis de compresibilidad del material.....	73
Tabla 15 Ficha de recopilación de data de análisis de flexión de adobes ecológicos.....	74
Tabla 16 Ficha de recopilación de data del análisis de absorción de agua	75
Tabla 17 Ficha de recopilación de análisis de compresibilidad del adobe convencional y adobe a base de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).	78
Tabla 18 Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes convencional	82
Tabla 19 Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes ecológicos L1 ...	82
Tabla 20 Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes ecológicos L2 ...	82
Tabla 21 Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes ecológicos L3 ...	82
Tabla 22 Ficha de recopilación de data del análisis de absorción de agua	85

Tabla 23 Ficha de recopilación de data del análisis de las mezclas obtenidas y sus características.....	88
Tabla 24 Resistencia a la comprensión.....	89
Tabla 25 Dos muestras de resultado de resistencia a la compresión por cada tipo de adobe ecológico.....	92
Tabla 26 Resistencia a la compresión media por cada tipo de adobe ecológico.	93
Tabla 27 Normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks.....	95
Tabla 28 Análisis de regresión lineal.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Compresión de adobe.....	30
Figura 2 Planta <i>Opuntia ficus - indica</i>	36
Figura 3 Cladodios <i>Opuntia ficus - indica</i> y variedades.....	38
Figura 4 Antropología de <i>Opuntia ficus-indica</i>	41
Figura 5 Cuenca del río Chillón, régimen de distribución mensual de precipitación pluvial, estación canta 1964 -1997.....	45
Figura 6 Diagrama de flujo de la elaboración del adobe tradicional y adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus- indica</i>)	54
Figura 7 Lugar de investigación-Obrajillo.....	55
Figura 8 Prueba de cinta de barro.....	56
Figura 9 Formación de bola.....	57
Figura 10 Presión de las bolitas de suelo.....	58
Figura 11 Lavado del mucílago de la penca de la <i>Opuntia ficus-indica</i>	59
Figura 12 Extracción del mucílago de la penca de la <i>Opuntia ficus- indica</i>	59
Figura 13 Amasado del mucílago de <i>Opuntia ficus- indica</i>	60
Figura 14 Vertido del agua destilada a la licuadora.....	60
Figura 15 Vertido de glicerol y almidón a la olla.....	61
Figura 16 Licuado del mucílago con agua destilada, glicerol y almidón.....	61
Figura 17 Resultado final del biopolímero.....	62
Figura 18 Papel picado.....	63
Figura 19 Mezcla de biopolímero.....	63
Figura 20 Ichu picado.....	64
Figura 21 a) Arena gruesa en tres proporciones; b) arcilla en tres proporciones.....	64
Figura 22 a) Arena gruesa, papel picado; b) mezclado con cal para ajustar pH.....	65
Figura 23 Dimensiones del adobe elaborado.....	66
Figura 24 Procedimiento de fabricación de adobe tradicional.....	67
Figura 25 Moldeado del adobe.....	67
Figura 26 Llenado del adobe en moldes.....	68
Figura 27 Tipos de adobe.....	69
Figura 28 Muestras de adobe para el análisis.....	70
Figura 29 Triangulo textural para la clasificación del suelo.....	73
Figura 30 Corte de adobe convencional con cizalladora.....	79
Figura 31 Bloques de adobe convencional y adobe ecológico 7x7 cm.....	79

Figura 32 Adobe convencional y adobe ecológicos refrenado con yeso nacional y cemento.....	80
Figura 33 Máquinas de resistencia a la compresión de bloques de adobe convencional y adobe ecológico.....	80
Figura 34 Máquinas de resistencia a la compresión de bloques de adobe convencional..	81
Figura 35 Bloques de adobe convencional y adobe ecológicos de 7x7 cm después de la fuerza de carga con la máquina de compresión.....	81
Figura 36 Determinación de las dimensiones de los adobes convencionales y ecológicos.....	83
Figura 37 Adobe convencional en el horno a una $T^{\circ}=140^{\circ}\text{C}$	83
Figura 38 Pesado del adobe convencional en la balanza analítica.....	84
Figura 39 Prueba de absorción.....	85
Figura 40 Prueba de flexión.....	87
Figura 41 Gráfico de dispersión para determinar la homocedasticidad de la varianza, resistencia de la compresión de los adobes ecológicos.....	90
Figura 42 Cuadro de análisis de varianza.....	91
Figura 43 Test LSD de Fisher.....	92
Figura 44 Ecuación de resistencia a la compresión de cada adobe ecológico.....	93
Figura 45 Resistencia a la compresión de cada adobe ecológico medias con una letra en común no son significativamente distintos ($p > 0.05$).....	94
Figura 46 Gráfico de dispersión para determinar la homocedasticidad de la varianza, flexión de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).....	96
Figura 47 Flexión de los adobes ecológicos.....	97
Figura 48 Validación de los supuestos para el análisis de regresión lineal.....	99
Figura 49 Recta ajustada del porcentaje de absorción en función del adobe.....	101
Figura 50 Variables analizadas según el tipo de adobe ecológico.....	102

RESUMEN

La población de Obrajillo tiene viviendas unifamiliares de adobe o quincha que están deterioradas; al construir viviendas con concreto es costoso para ellos y tiene un alto impacto ambiental, por ello la presente investigación tuvo como objetivo determinar el mejor adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la construcción de viviendas unifamiliares en Obrajillo, para lo cual la *Opuntia ficus* fue biopolimerizada con agua destilada, glicerol, almidón, se mezcló uniformemente en tres diferentes composiciones elaborados a base de suelo arcilloso, tierra con materia orgánica, arena, arcilla, papel picado, ichu cultivado en la zona, para ser comparado con un adobe convencional elaborado por los pobladores. Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión para el adobe L0 (adobe convencional), L1 (40% Arena, 10% Arcilla, 30% papel, 20% mucílago), L2 (15% Arena, 25% Arcilla, 30% papel y 30% mucílago) y L3 (20% Arena, 10% Arcilla, 20 % papel y 50% mucílago) fueron de 13.3 Kg/cm², 13.9 Kg/cm², 15.7 Kg/cm² y 15.4 Kg/cm² respectivamente y carga promedio de 655 Kg, 681 Kg, 772 Kg y 762 Kg respectivamente. La absorción de humedad en el adobe L0 se reduce en un 16.5% y en el adobe ecológico L3 es un 14%. La resistencia a la flexión L1 es igual a 13.13 Kgf/cm²; el cual tiene valores mayores que los obtenidos en el adobe L0. En conclusión, el mejor adobe ecológico para la construcción de viviendas unifamiliares, validado estadísticamente por el ANOVA para $\alpha=0,05$, es el adobe L3 compuesto por 50% de penca de tuna de la flora de Obrajillo.

Palabras Claves: Adobe ecológico, *Opuntia ficus-indica*, construcción, viviendas unifamiliares.

ABSTRAC

The Obrajillo population has adobe or quincha single-family homes that are deteriorated; When building houses with concrete, it is expensive for them and has a high environmental impact, for this reason the present research aimed to determine the best ecological adobe based on prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) mucilage for the construction of single-family homes in Obrajillo, for which *Opuntia ficus* was biopolymerized with distilled water, glycerol, starch, it was mixed uniformly in three different compositions made from clay soil, soil with organic matter, sand, clay, shredded paper, ichu grown in the area, to be compared with a conventional adobe made by the villagers. The results obtained from the compressive strength for adobe L0 (conventional adobe), L1 (40% Sand, 10% Clay, 30% paper, 20% mucilage), L2 (15% Sand, 25% Clay, 30% paper and 30% mucilage) and L3 (with 20% Sand, 10% Clay, 20% paper and 50% mucilage) were 13.3 Kg / cm², 13.9 Kg / cm², 15.7 Kg / cm² and 15.4 Kg / cm² respectively and average load of 655 Kg, 681 Kg, 772 Kg and 762 Kg respectively. Moisture absorption in L0 adobe is reduced by 16.5% and in L3 ecological adobe it is 14%. The resistance to bending L1 is equal to 13.13 Kgf / cm²; which has higher values than those obtained in adobe L0. In conclusion, the best ecological adobe for the construction of single-family homes, statistically validated by the ANOVA for $\alpha = 0.05$, is the adobe L3 composed of 50% of prickly pear stalk from the Obrajillo flora.

Keywords: Ecological adobe, *Opuntia ficus-indica*, construction, single-family homes.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda por encontrar nuevas alternativas sostenibles y fundamentar el reemplazo del ladrillo convencional por el adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el distrito de Obrajillo, Canta, provincia de Lima; ha logrado promover el uso sostenible de materiales de construcción que no presenten un impacto ambiental o una carga en el ambiente en sus procesos de ciclo de vida cumpliendo las normas y estándares establecidos por el Ministerio de Vivienda y Construcción.

Las etapas iniciaron con la identificación de los componentes del adobe convencional, determinación de los componentes de los adobes ecológicos y las características técnicas como las propiedades mecánicas y físicas de los adobes convencionales que presenta el adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso en la actividad de construcción de viviendas unifamiliares en el distrito de Obrajillo, Canta.

Esta investigación pretende poner en evidencia una alternativa de elaboración de adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), siendo excelentes aisladores del frío y calor exterior, ello responde a criterios ecológicos ya que requiere un bajo nivel de energía para su fabricación, no genera emisiones de CO₂ a la atmósfera, no requieren de cocción y presenta una composición óptima, para reemplazar los ladrillos convencionales; así mejorando su ciclo de vida con un proceso alternativo para el uso en actividades de la construcción.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Una de las máximas expresiones de la exclusión, es principalmente la carencia de viviendas, que constituye de por sí un derecho reconocido y propio de toda persona. Estas se han ido construyendo de diversos materiales y en las zonas rurales ha predominado el adobe como principal material.

El uso de adobe en el Perú aún es predominante por comunidades alto andinas y parte de zonas rurales, por su fácil proceso de elaboración y reducido costo, se estima que 3 millones 688 mil 452 (47,1%) de viviendas predomina en sus paredes exteriores el adobe, tapia o quincha; piedra con barro; madera; estera; u otros materiales que las hacen vulnerables a movimientos telúricos, lo que involucrarían a 14 millones 441 mil 645 de habitantes. (INEI, 2018).

El 34% de las viviendas existentes en el Perú eran de adobe, en la ciudad de Canta según el censo del 2013 el material predominante es el adobe con un 76% (INEI, 2018), no obstante, este material al entrar en contacto con el agua pierde resistencia y durabilidad, por tal motivo la tesis tiene como objetivo evaluar la calidad de adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares en Obrajillo, Canta, hoy en día construir viviendas de concreto es costoso en los países en desarrollo (ya sea que el cemento se importe o se produzca localmente) y tiene un alto impacto ambiental debido al uso de clinker, cuya producción consume mucha energía (el clinker se produce por la calcinación de una mezcla de arcilla y piedra caliza a 1450°C) y la contaminación relacionada con su fabricación (la producción del cemento es responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero) (Benhelal, Zahedi, Shamsaei, & Bahadori, 2013).

Como alternativa, el uso de adobes (ladrillos de tierra sin cocer moldeados a mano a partir de pasta plástica del suelo sin presión) es una solución para la construcción sostenible, permite su uso y fácil acceso, con propiedades ambientales favorables, como la mitigación del ruido y la intensa temperatura externa (Castrillo, Philokyprou, & Ioannou, 2017).

Los adobes se producían tradicionalmente durante los cálidos meses de verano al mezclar el suelo, las fibras orgánicas y el agua con una consistencia plástica. La mezcla se fundió en moldes de madera y se dejó secar en condiciones ambientales naturales, preferiblemente a la sombra.

En el pasado, los adobes se usaban de manera extensa y continua para la construcción de estructuras de mampostería, hoy en día, el material se utiliza principalmente para fines de restauración. Sin embargo, a pesar del hecho de que la mampostería de tierra ya no es una forma predominante de construcción, un gran número de edificios de adobe aún sobreviven en la mayoría de las regiones del mundo y constituyen una parte esencial del patrimonio arquitectónico internacional (Illampas, Ioannou, & Charmpis, 2013). Además, actualmente se están realizando esfuerzos para introducir adobes en la arquitectura contemporánea sostenible (Minke, 2012).

La alternativa de utilizar materiales propios de la zona, como lo es el adobe estabilizado con algún aglomerante polimérico natural para muros de carga en viviendas, presenta la posibilidad de reducir el costo de la edificación, ya que el material con el que se fabrica se encuentra en abundancia y un bajo costo en el mercado, lo que evitaría el pago de transporte. Sin embargo, los adobes naturales presentan inconvenientes, tales como propiedades mecánicas relativamente pobres (especialmente baja resistencia a la tracción y comportamiento frágil) y poca resistencia al agua, teniendo en cuenta los cambios ambientales pueden llevar a variaciones de las condiciones de contorno y la rigidez de

estructuras, induciendo alteraciones en los parámetros. Estos cambios debido a las variaciones de temperatura y humedad podrían ser más significativos (Yan, Kerschen, De Boe, & Golinval, 2005) que afectan la durabilidad de los adobes, por lo que la incorporación de estas fibras naturales es una alternativa que puede reducir la formación de grietas durante el secado y mejora la durabilidad (Mesbah, Morel, Walker, & Ghavami, 2004).

El extracto de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) se considera un polímero ya que al igual que el caucho natural o la celulosa es un compuesto natural de origen vegetal o sustancia química que resulta de un proceso de polimerización y consiste en un aguamiel extraída a través de la perforación de un orificio en el tronco de la planta (Guillen & Rojas-Valencia, 2019).

En la actualidad el uso aún predominante e histórico del adobe en el centro poblado de Obrajillo, resalta una necesidad de mantener su uso por temas socio-culturales y económicos, por lo que la generación de alternativas de mejoras de materiales de construcción es un enfoque alternativo que presenta esta investigación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la formulación óptima en la elaboración de adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué características fisicoquímicas y mecánicas tendrá el adobe ecológico?

- ¿Cuál será el valor de resistencia a la compresión, valor de la flexión y el valor de la absorción de agua de los diferentes adobes ecológicos elaborados a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)?
- ¿Cuál será la mejor proporción de papel, arcilla y arena en la aplicación de elaboración de adobes ecológicos de calidad a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del adobe ecológico.
- Determinar el valor de resistencia a la compresión, valor de la flexión y el valor de la absorción de agua de los diferentes adobes ecológicos elaborados a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*).
- Aplicar la mejor proporción de papel, arcilla y arena en la elaboración de adobes ecológicos de calidad a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*).

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Teórico

En el desarrollo de la investigación es necesario generar un marco teórico referencial, en el cual el acceso a la información fue por revista indexada, la mínima información bibliográfica en el estado del arte limita abordar antecedentes y discusiones referentes al tema a investigar.

1.4.2. Temporal

También se considera importante el limitante de tiempo, las épocas de lluvias en el centro poblado de Obrajillo e inmediaciones se da en los meses de enero - marzo, siendo este factor climático influyente en el proceso de elaboración de los adobes.

1.4.3. Espacial

La ejecución de la presente tesis de adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, se dio en Obrajillo en el distrito de Canta de la provincia de Lima, sin embargo, para la toma información fue necesario verificar las condiciones de las viviendas unifamiliares.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Nacionales

En la tesis titulada “Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”.

Se evaluó la resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna.

Inicialmente se realizó el análisis granulométrico y los límites de consistencia para clasificar los suelos y ver si cumple con los requisitos que exige la NTP E.080, luego a través del ensayo de proctor modificado permitió determinar la cantidad de agua necesaria utilizada en los bloques de tierra de la muestra patrón elaborados sin goma de tuna y en los bloques de tierra

con porcentajes de 5%, 10% y 15% con goma de tuna, estos adobes fueron elaborados a través de la máquina CINVA RAM.

Se concluye que la hipótesis ha sido parcialmente demostrada, el adobe compactado con adición de goma de tuna en porcentajes de 5%, 10% y 15% aumentan la resistencia a compresión y flexión hasta un 43% y 42 % respectivamente en comparación con la muestra patrón sin aditivo y para la absorción de agua la muestra patrón no resistió la prueba, pero los bloques de adobe con 10% de aditivo aumenta hasta un 15% en comparación a los bloques de adobe con 5% de goma de tuna. (Bolaños, 2016).

En la tesis titulada “Adobe estabilizado con extracto de cabuya (*Furcraea andina*)” se evaluó la factibilidad de la especie *Furcraea andina*, un polímero natural local, como estabilizador del adobe tradicional y las condiciones necesarias para garantizar su acción estabilizante; fijándose tres tiempos de maceración distintos y evaluándose para cada uno de ellos el desempeño del adobe estabilizado en dos aspectos: la resistencia mecánica a través de resistencia a la compresión y a la flexión; y la resistencia al agua mediante la prueba del chorro de agua y el ensayo de inmersión.

Se concluye que registra una mejora en la resistencia a la compresión de hasta el 9.6%; mejora la capacidad de deformación y adherencia, con un módulo de rotura que llega hasta un 133.7%. (Benites, 2017).

En la tesis titulada “Análisis de la resistencia a compresión del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con fibra de *Opuntia ficus-indica* (tuna) en la ciudad del Cusco”.

Se adicionó en distintos porcentajes con respecto al peso del cemento la fibra de la tuna para analizar el comportamiento del concreto adicionado con este aditivo no convencional, específicamente la resistencia a la compresión con respecto a un concreto elaborado en condiciones tradicionales el cual contó con un diseño de 210 Kg/cm^2 , además se analizó la

influencia en el revenimiento, en la trabajabilidad y en la variación del costo frente a un concreto elaborado en condiciones tradicionales.

Esta investigación se realizó tomando muestras de concreto, las cuales están descritas como cilindros o probetas, las mismas que fueron adicionadas con fibra de *Opuntia ficus-indica* en diferentes porcentajes (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7% y 10%).

Se concluyó que la adición de fibra de *Opuntia ficus-indica* (tuna), en un porcentaje del 3% con respecto al peso del cemento, es beneficiosa para la resistencia del concreto, pero no conlleva a una variación significativa como para ser considerada un aditivo natural de gran impacto en la producción del concreto. Respecto al encogimiento no mostró cambios significativos ya que se mantiene dentro de los parámetros establecidos en la Norma Técnica Peruana; de igual manera la trabajabilidad no mostró variaciones con respecto a un concreto patrón y los costos unitarios de producción con la adición de fibra de *Opuntia ficus-indica* (tuna) no varían de manera significativa, por lo que se demostró que la adición de fibra de *Opuntia ficus-indica* no contribuye de manera significativa en las características de un concreto, quedando abierta la investigación para posibles análisis y soluciones. (Ojeda & Huamán, 2016).

En la tesis titulada “Propuesta de aditivos naturales y microfibras de papel para reparar fisuras en muros de monumentos históricos de tierra”, se realizó la incorporación de aditivos en grouts de barro para controlar el proceso de fisuración durante el secado. Los aditivos estudiados fueron: microfibras de papel, goma de tuna, clara de huevo y vaselina, con estos aditivos se buscó 2 efectos.

Para reparar fisuras finas con espesores menores a los 3 mm se estudiaron grouts de suelo tamizado por las mallas #30 y #48 que contienen arena, cuyo tamaño máximo de partícula es 0.60 mm y 0.32 mm respectivamente.

El primero fue el efecto de costura de las microfibras, similar al que produce la paja en el mortero de barro de la mampostería de adobe. El segundo fue el retardo de la velocidad de secado.

La investigación concluyó en la reparación de las fisuras de un muro de adobe mediante la inyección de grouts de barro es utilizado para devolverle al muro sus propiedades iniciales y disminuir la posibilidad de colapso frente a un sismo.

Para reparar fisuras finas con espesores menores a los 3 mm se estudiaron grouts de suelo tamizado por las mallas #30 y #48 que contienen arena, cuyo tamaño máximo de partícula es 0.60 mm y 0.32 mm respectivamente. (Sánchez ,2010)

En la tesis titulada “Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa Arbórea”.

Se evaluó la resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con adición de 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto), utilizando tierra proveniente del caserío Aylambo Bajo, distrito de Cajamarca.

Los ensayos necesarios para la elaboración del adobe compactado se realizaron según los procedimientos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas, los resultados obtenidos del ensayo a compresión, indicaron que la adición de 8% y 10% ceniza de biomasa arbórea disminuye las propiedades mecánicas del adobe compactado. La muestra patrón presentó una resistencia de 12.62 kg/cm², la cual supera de manera satisfactoria la resistencia mínima que indica la Norma Técnica E.080. La resistencia a flexión del adobe compactado con 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea fue de 3.82 kg/cm² y 3.69 kg/cm² respectivamente, la cual comparándola con la resistencia 3.71 kg/cm² obtenida de la muestra patrón, refleja una variación no mayor del 2.96%.

Se concluye que la hipótesis de la presente investigación no ha sido demostrada, ya que, según los resultados obtenidos, la adición de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto), aplicada

al suelo del caserío Aylambo Bajo (arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas) no aporta mejoras a las propiedades mecánicas del adobe compactado (Idrogo, 2018).

2.1.2. Internacionales

En la tesis “Aditivos derivados del nopal para la modificación de las propiedades mecánicas de los morteros” identificó y seleccionó algunos de los componentes químicos del mucílago del nopal (conocido también como *Opuntia ficus*), usando técnicas de Difracción de Rayos X (Rx) y Espectroscopia infrarroja (IR). Los aditivos arabinosa y xilosa se utilizaron en la elaboración de lechadas y se determinó la resistencia a compresión a tiempos de 4, 7, 14 y 28 días, para establecer el tiempo de fraguado y la consistencia de la pasta.

Posteriormente, se realizaron morteros para conocer la resistencia a compresión y la fluidez de la mezcla. Los resultados muestran que la arabinosa y xilosa son componentes del nopal que pueden ser usadas como aditivo.

Se concluye que la adición de 5% de estos componentes respecto a la masa de cemento aumenta la resistencia de compresión, mejora la fluidez y actúa como retardante del fraguado (Coronado, 2009).

En la tesis “Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción” propuso la realización de un nuevo material constructivo, denominado ecoladrillo inspirado en el tradicional adobe y que sustituye al ladrillo convencional cocido. Los aditivos comerciales se empleó el cemento, para la realización de las combinaciones de referencia; la menos usual pero igual de eficiente cal hidráulica. El aditivo resistente se utilizó de las cenizas de cáscaras de arroz y como agregado estructurante las cascarillas también de arroz. Todas las combinaciones estudiadas se han realizado a tres niveles de compactación relativamente bajos (1, 5 y 10 MPa). Los resultados obtenidos son totalmente satisfactorios.

La cal hidráulica natural es un aditivo sostenible y con capacidad de desarrollar resistencia. Además, combinando la cal con el resto de aditivos las diferencias con la combinación de referencia, realizada con cemento son mínimas.

Las cenizas de cáscara de arroz suponen un gran aditivo que potencia a más del doble la resistencia de la muestra con cenizas que sin ellas, demostrando así que favorecen notablemente el desarrollo de las reacciones puzolánicas.

Las cascarillas de arroz disminuyen en más de un 10% la densidad de la combinación con únicamente aditivo comercial.

Se concluyó que el ecoladrillo además de una buena apariencia responde a criterios ecológicos y sostenibles, ya que requiere un bajo nivel de energía para su fabricación y se elimina la emisión de CO₂ a la atmósfera al ser ladrillos que no requieren de cocción (Cabo Laguna, 2011).

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Adobe como material para la construcción

La construcción de adobe de tierra fue prolífica en el mundo antiguo, y los arqueólogos descubrieron ejemplos sobrevivientes en muchos lugares diferentes. Se encontraron edificios de bloques de tierra en Turkistan (que se remonta a aproximadamente 8000 a 6000 a.C.), en Assiria (desde alrededor de 4000 a.C.) y aún hoy se pueden observar estructuras monumentales de tierra en el alto Egipto (desde alrededor de 3200 a.C.). La histórica ciudad de Shibam, en el sur de Yemen, está completamente construida por adobe (alrededor del siglo XV).

Durante siglos, los indios en Nuevo México construyeron sus casas por bloques de tierra. Durante los siglos XVII y XVIII, esta técnica se utilizó comúnmente en Inglaterra y Escandinavia, y los inmigrantes europeos la llevaron a los Estados Unidos, donde se construyeron un gran número de casas de tierra entre los siglos XVIII y XIX (Minke, 2000).

La elaboración del adobe es una técnica de construcción de la tierra muy simple y tal vez esta es la razón por la que la mayoría de las construcciones antiguas estaban hechas de adobe. La palabra "adobe" parece provenir del attob árabe, que significa ladrillo secado al sol (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012).

Los adobes son los más utilizados para edificios residenciales de una y dos plantas con poca carga, los adobes también se han utilizado para construir edificios de hasta 10 pisos (Hugo & Hubert, 1994). Hoy en día, el material se utiliza principalmente para fines de restauración. Además, el adobe se introduce actualmente en la arquitectura contemporánea sostenible (Illampas, Ioannou, & Charmpis, 2014).

A) El suelo como materia prima para el Adobe

El suelo es la materia prima para la elaboración del bloque de adobe y mortero de barro, está compuesto por tres fases: mineral, gaseosa y líquida. La fase mineral la conforman partículas de diferentes tamaños como grava, arena, limo y arcilla. Las fases restantes, conformadas por gases y líquidos, ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Sánchez, 2010). El suelo utilizado para hacer adobe generalmente se refiere a un subsuelo franco arenoso in situ.

De hecho, la capa superficial del suelo es inadecuada debido principalmente a la cantidad significativa de materia orgánica presente que se biodegrada, absorbe agua y es altamente compresible. (Quagliarini, D'Orazio, & Lenci, 2015). Un estudio reciente (Kouakou y Morel, 2009) muestran que el suelo adecuado debe contener menos de 20% de minerales de arcilla. En particular, (Quagliarini, Enrico, & Lenci, S. 2010) han subrayado que un contenido de arcilla preferible en los elementos del bloque de adobe del rodamiento debería estar entre el 12% y el 16% (en peso). La cohesión es la propiedad más importante que debe tener la tierra para

finas de construcción (Hugo & Hubert, 1994) por lo que la presencia de arcilla es esencial porque actúa como un aglutinante natural.

La tabla 1 muestra la composición de arcilla, limo y arena del adobe según diversas fuentes de información.

Tabla 1

Composición de adobe

Autor/Fuente	Arcilla	Limo	Arena	M.O
Bush, 1994	20%	15%	65%	-
Begstsson y Whitaker, 1986	10-30%	10-40%	40-80%	0-0.3%
Barrios, 1986	35-45%		55-65%	-
Smith 1989	15-45%		55-85%	-
Doat,1991	15-18%	10-28%	55-75%	<3%
Morales, 1993	25-45%		55-85%	-
Norma E.80, 2000	10-20%	15-25%	55-70%	0%
Ducman, 2004	30%	-	-	-
Aguilar, 2008	20-30%	-	60%	-
Sarozza, 2008	>15%	-	-	-
Vélez,2010	20%	-	80%	-

Nota. Adaptado de Benites Zapata, 2017.

Para su fabricación se utilizan moldes de distintas formas, tamaños, y materiales; el molde no necesariamente tiene que ser rectangular, pues existen formas variadas dependiendo del lugar de fabricación: los hay cónicos, cilíndricos, trapezoidales, etc. (Ramírez, 2011).

En la tabla 2 se presenta las dimensiones del adobe según diversas fuentes de información.

Tabla 2

Dimensiones del adobe según fuentes de información

Autor	Dimensiones del Adobe
NT E. 080 (Ministerio de Vivienda, 2017)	El bloque de adobe cuadrado no debe sobrepasar los 0.40 m. de lado, por razones de peso. El bloque de adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho. La altura del bloque de adobe debe medir entre 0.08 m y 0.12 m.
(Morales, Torres, Rengifo, & Irala, 1993)	La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega; sugiere que tanto la longitud como el ancho tengan una dimensión máxima de 40 cm, una altura máxima de 10cm en lo posible y que la relación entre la longitud y la altura sea aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos. Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada del adobe y las dimensiones más adecuadas para su fabricación son 38 x 38 x 8 cm.

Nota. Trabajo de Gabinete -Tesis Adobe Ecológico 2022.

B. Propiedades de los bloques de Adobe

B.1. Propiedades Mecánicas

El adobe no alcanza una resistencia mecánica tan alta como el concreto o el ladrillo cocido. Sin embargo, algunos estudios observaron que el adobe es suficientemente fuerte, dúctil y resistente a los terremotos (Yetgin, Çavdar, & Cavdar, 2008).

En cuanto a la mampostería de piedra o ladrillo, la capacidad de la mampostería de adobe en la compresión está fuertemente relacionada con la resistencia a la compresión de sus bloques, así como la resistencia del mortero, el patrón de unión y muchos otros factores.

Por lo tanto, la resistencia a la compresión se ha convertido en una unidad de medida básica y universalmente aceptada para especificar la calidad de las unidades de mampostería. La relativa facilidad de realizar pruebas de resistencia a la compresión en el laboratorio también ha contribuido a su universalidad como expresión de la calidad del material (Morel, Pkla, & Walker, 2007).

Las unidades de prueba incluyen ladrillos de tamaño completo; prismas con relaciones de longitud a anchura de 2 a 0,5 y cubos con bordes de 40, 50, 100 y 150 mm (Enrico Quagliarini & Lenci, 2010).

El uso de cilindros con relaciones de aspecto 1: 1 y 2: 1 y diámetros que oscilan entre 50 y 150 mm también es bastante común (Illampas et al., 2014).

La tabla 3 presenta las dimensiones geométricas típicas de las muestras para determinar la resistencia de compresión de los bloques de adobe.

Tabla 3

Dimensiones geométricas típicas de las muestras analizadas

Ladrillo de adobe tamaño completo	Como se manufacturó
Prismas (relación de aspecto)	0.5 - 2
Cubos (mm)	40 - 150
Cilindros (relación de aspecto)	1 - 2
Cilindros (diámetro, mm)	50 - 150

Nota. Artículo científico “Estudio de las propiedades del Echerhirhu-Block hecho con mucílago *Opuntia ficus* para uso en la industria de la construcción”. Autores Javier Guillen Aparicio, Erik García De León Monter, Noemí Ortiz Lara, Ramiro Escudero García, María Neftalí Rojas Valencia.

Los bloques generalmente se prueban a lo largo de la dirección en la que se presionaron, que es también la dirección en la que generalmente se colocan.

Figura 1

Compresión de adobe



Nota. Las muestras de prueba generalmente comprenden entre cinco y diez bloques. La carga de compresión se impone siguiendo un procedimiento controlado por carga (Enrico Quagliarini & Lenci, 2010) o controlado por desplazamiento (Lenci, Piattoni, Clementi, & Sadowski, 2011).

B.2. Propiedades Hidro-térmicas

Debido a su alta capacidad térmica, la tierra podría almacenar el calor absorbido durante el día, manteniendo el interior de una vivienda construida a partir de la tierra relativamente fresca (Parra-Saldivar & Batty, 2006). Cuando la temperatura exterior cae en la noche, las paredes emiten el calor almacenado durante el día dentro del edificio. Se considera que la capacidad térmica específica del material de adobe es un factor clave en su capacidad para moderar los picos de temperatura en los edificios porque los materiales de adobe tienen conductividades térmicas relativamente altas. De hecho, Maniatidis & Walker, (2003) reportan conductividades de la tierra apisonada de aproximadamente 0,58 W/mK según Delgado & Guerrero (2006) y otros autores.

Tabla 4

Conductividad térmica del bloque de adobe

Tipo de adobe	Conductividad térmica (W / mK)
Adobe cocido	0.244
Ladrillo de concreto	0.6277
Adobe	0.24
Fardos de paja	0.05-0.08
Adobe con paja (5-10%)	0.180
Poliestireno expandido	0.036

Nota. Algunos valores recopilados en la literatura (Revuelta-Acosta, García-Díaz, Soto-Zarazua, & Rico-García, 2010) en comparación con otros materiales.

Otra ventaja de los bloques de adobe está relacionada con su capacidad para moderar los cambios de humedad relativa en interiores.

Un bloque de arcilla no cocida es superior al ladrillo quemado como amortiguador de humedad, y su comportamiento higroscópico puede ser más efectivo para reducir la humedad relativa del aire interior que el uso de la ventilación (Padfield, 1998). Algunas investigaciones muestran que los bloques de tierra pueden absorber 10 veces más humedad de peso que los ladrillos cerámicos y que una construcción de tierra es capaz de mantener la humedad relativa del aire interior entre 40% y 60%, que es el rango óptimo para la salud humana (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012).

C. Estabilización de bloques de Adobe

En general, hay tres tipos de estabilización, el primero es la estabilización mecánica, el segundo es la estabilización física y el tercero es la estabilización química (Medjo, Dieudonné, Yatchoupou, & Seba, 2012).

La estabilización mecánica se relaciona con la densificación del suelo mediante compactación.

La estabilización física modifica las propiedades del suelo a través de procesos como la mejora de la textura del suelo, la cocción, la congelación o la electroósmosis.

La estabilización química modifica las propiedades del suelo mediante la mezcla con aditivos químicos como el cemento o la cal es decir, la combinación con 4-10% de estabilización con cemento mejora significativamente la resistencia a la compresión y la resistencia al agua en comparación con los bloques de adobe tradicionales (Morel et al., 2007).

Los polímeros impermeabilizan e hidrofugan el adobe. Esto consiste en recubrir los granos de tierra con una película impermeable y eliminar al máximo la absorción y la adsorción del agua, estabilizando la mezcla ante la acción del agua e incrementando incluso la resistencia (Vilela & Gahona, 2010).

La tabla 5 muestra la clasificación de los polímeros según diversos criterios, según su origen, su composición, su estructura o su comportamiento frente al calor.

Tabla 5

Clasificación de polímeros

Criterio	Tipos de polímeros	Definición
Según su origen	Naturales	Proveniente directamente del reino vegetal o animal, como por ejemplo el caucho natural, la celulosa, las proteínas, grasas de origen animal o vegetal, etc.

		Artificiales o sintéticos	Se obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre o a partir de materias primas de bajo peso molecular. Como por ejemplo los plásticos, el caucho sintético, las gomas, derivados del petróleo, etc.
Según composición	su	Homopolimeros	Un solo monómero
		Heteropolimeros	Varios momentos
Según estructura	su	Lineales	Los monómeros se unen por dos sitios (cabeza y cola)
		Ramificados	Si algún monómero se puede unir por tres o más sitios.
Según comportamiento ante el calor	su	Termoplásticos	Se reblandecen al calentar y recuperan sus propiedades al enfriar.
		Termoestables	Se reblandecen en caliente, pero quedan rígidos al ser enfriados por formar nuevos enlaces y no pueden volver a reblandecerse.

Nota. Guardia, 2009.

Las sustancias de origen orgánico como los polímeros extraídos de vegetales y las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo, cumplen también funciones aglutinantes. (Benites Zapata, 2017).

2.2.2. *Opuntia ficus-indica*

Según Pulgar (1992), el centro de origen se encuentra en la estribación oeste de los andes del Perú y Bolivia, y en la meseta central de México, de estos lugares se ha esparcido el cultivo a otros países, especialmente España, Italia y Australia.

Según Kiesling (1998), la *Opuntia ficus-indica* es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus sabrosos frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura. El mejoramiento genético que ha sufrido se remonta a la época prehispánica; los cronistas de indias ya relataban sobre estas plantas y sus frutos, que fueron llevadas a España posiblemente en el primer o segundo viaje de Colón a América, aunque el primer registro cierto es para México, en 1515 (según la crónica de Fernández de Oviedo de 1535, reproducida en López Piñero & Pardo-Tomás, (1994).

En el Perú, los departamentos de mayor hectareaje y producción son Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Ancash, Huánuco y Arequipa. En Ayacucho las provincias de Huanta, Cangallo, Huamanga, La Mar y Víctor Fajardo, con rendimientos de fruta que varía entre 5 a 6 Tm por hectárea y año. En la costa se desarrolla la tuna en forma aceptable en Ica, Chilca y Pacasmayo, pero no en Piura por exceso de calor ni en los valles centrales de la costa (Millán, 2007).

A. La *Opuntia ficus-indica* como flora nativa del distrito de Canta

En los ecosistemas áridos a lo largo de los diferentes valles de Lima las cactáceas columnares se presentan como una de las formaciones vegetales dominantes y sus especies juegan un rol vital en el flujo de energía como eje principal de todos los procesos y en la cadena trófica de una serie de organismos, al constituir la cobertura vegetal dominante (Ceroni & Castro, 2006).

Dentro de estos ecosistemas áridos en Lima, el cerro Umarcata se presenta como una zona de alta diversidad específica de cactáceas (Teixeira et al., 2004). Está ubicado en la cuenca baja del río Chillón, a la altura del Km. 69 de la carretera Lima – Canta.

Se pueden encontrar 9 especies de cactus pertenecientes a 8 géneros y 2 subfamilia: subfamilia *Cactoideae*: *Neoraimondia arequipensis* subsp. *Roseiflora*; *Espostoa melanostele*; *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *Aureispinus*; *Haageocereus acranthus*;

Cleistocactus acanthurus subsp. Faustianus; *Melocactus peruvianus* y *Ua nealeana*; mientras que en la subfamilia *Opuntioideae*: *Austrocylindropuntia pachypus* y *Cumulopuntia sphaerica* (Castro, 2006), siendo un área potencial para desarrollar trabajos de investigación que pueden hacerse a fin de entender la dinámica poblacional para una mejor gestión de los ecosistemas áridos del Perú (MINAM, 2014).

La evolución de las cactáceas en estos ambientes ha conducido a que las diferentes especies del género *Opuntia* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que les permitan adaptarse a estas condiciones ambientales adversas. La proliferación masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociados con un aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución en los espacios intercelulares, le permite a la planta acumular agua en breves períodos de humedad.

Por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración, para su óptimo desarrollo, la planta requiere una temperatura anual entre los 18 °C y 25°C, aunque existen algunas especies resistentes a las bajas temperaturas donde pueden soportar hasta 16°C bajo cero, siempre y cuando no se presenten estas temperaturas por períodos prolongados.

El *Opuntia ficus-indica*, se desarrolla bien en climas áridos y muy áridos con lluvias de verano, por lo que se refiere a precipitación pluvial es poco exigente, ya que se le encuentra en zonas con lluvias de 125 o más milímetros al año. En lo que respecta a suelos, se adapta bien a diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos sueltos, arenosos, de profundidad media, con un pH preferentemente alcalino y a altitudes que varían entre los 800 y 2.500 m.s.n.m, el *Opuntia ficus-indica* puede llegar a vivir hasta 80 años (Berrilla, 1998).

En Canta- Obrajillo a lo largo de las pistas de tierra que van de un poblado a otro, pasa junto a muros de piedra que delimitan propiedades y que están, casi siempre, cubiertos con cactus.

Figura 2

Planta Opuntia ficus-indica



Nota. Los muros o cercas, que se tornan hostiles con tanta espina, se engalanan y suavizan con las hermosas flores de las chumberas (*Opuntia ficus-indica*) (Calle, 2015).

B. Descripción de la Planta

Según Bravo (1991), el nombre tuna es de origen caribeño, tomado por los primeros españoles que conocieron estas plantas. Siendo llamada Nopal, que es un término mexicano derivado del Náhuatl "Nopalli", con el que se designa a varias especies.

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura.

El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización (Sudzuki H.F. 1999). Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alargada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles. El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas,

llamadas aréolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales (F. Sudzuki, Muñoz, & Berger, 1993).

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: hay rojas, amarillas, blancas, entre otros colores (Sáenz, 2006).

En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año; sin embargo, en Chile bajo ciertas condiciones ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta «inverniza» (F. Sudzuki et al., 1993).

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable.

Los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores (Sáenz, 2006). León (1997), señala que las variedades de tuna existentes en el Perú se diferencian por la coloración de fruto y por la presencia de espinas. En la siguiente tabla se muestran las características de la tuna según su variedad.

Tabla 6

Características de la tuna

Variedades	Altura de Plantas	Diámetro de Penca	Flores	Frutos
Blanca	1.50-2.50 m	Grande y suculenta	Amarillo claro	Buena aceptación
Amarilla	2.00-3.00 m	Mediano y poco suculenta	Amarillo Claro	Las más preferidas

Morada	2.00-3.00 m	Mediano y poco suculenta	Amarillo y violáceo	Poca aceptación
Colorada	1.80-2.50 m	Mediano y poco suculenta	Amarillo y violáceo	Mejor aceptación
Follajera	1.50-2.50 m	Mediano y de forma redonda	Amarillo y violáceo	----

Nota. León, 1997.

Figura 3

Cladodios Opuntia ficus - indica y variedades



Nota. Sudzuki et al.,1993.

C. Taxonomía

La taxonomía de los nopales es sumamente compleja, debido a múltiples razones, entre las que destaca el hecho de que los fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales. Además, es frecuente encontrar casos de poliploidía, ya que se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos, lo que complica aún más su clasificación (Sáenz, 2006). Linnaeus, 1753 clasificó esta planta como cactus *Opuntia* y *C. ficus-indica* en el compendio de plantas *Especies Plantarum*. Philip Miller en 1768 clasificó la planta como *Opuntia ficus-indica* (Griffith, 2004); sin embargo, las clasificaciones de hoy han tenido que cambiar según las diferentes especies encontradas en el género

Opuntia que se encuentra en otras partes de México, América y en todo el mundo. La clasificación del género *Opuntia* es:

Tabla 7

Clasificación del género *Opuntia*

Clasificación del género <i>Opuntia</i>	
Reino:	<i>Plantae</i>
Subreino:	<i>Tracheophyta</i>
Superdivisión:	<i>Spermatophyta</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>Caryophyllidae</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Subfamilia:	<i>Opuntioideae</i>
Tribu:	<i>Opuntieae</i>
Género:	<i>Opuntia</i>
Especies:	<i>ficus-indica, albicarpa, megacantha, undulata</i> , entre otros

Nota. Adaptado de Becerra, 1994.

Tabla 8*Composición química y nutricional de las tunas de diferentes colores*

Característica	Verde	Naranja	Morado
Contenido de humedad (%)	83.8	85.1	85.98
Proteína (%)	0.8	0.8	0.38
Grasa (%)	0.1	-	0.02
Fibra (%)	0.2	-	0.05
Ceniza (%)	0.4	0.3	0.32
Azúcares totales (%)	14.1	14.1	13.25
Vitamina C (mg/100 g)	20.3	24.1	20.00
β-caroteno (mg /100 g)	0.5	2.3	-
Betanina (mg /100 g)	-	-	100.0
Ca (mg/100 g)	12.8	35.8	13.2
Mg (mg/100 g)	16.1	11.8	11.5
Fe (mg/100 g)	0.40	0.20	0.10
Na (mg/100 g)	0.60	0.90	0.50
K (mg/100 g)	270.0	117.7	19.60
P (mg/100 g)	32.8	8.5	4.90

Nota. Adaptado de Sáenz & Sepúlveda, 2001.

D. Mucílago de *Opuntia ficus - indica*

Los tallos de la *Opuntia* son suculentos y articulados, botánicamente llamados cladodios y vulgarmente pencas.

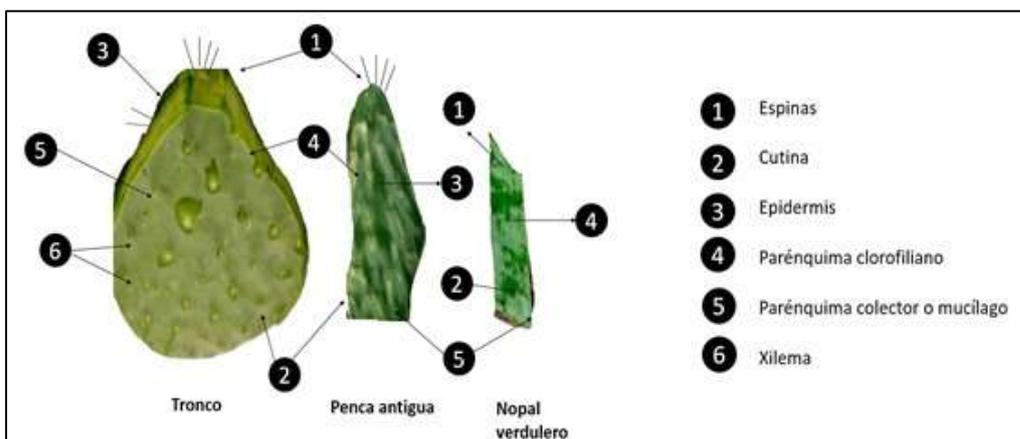
En ellos se realiza la fotosíntesis, ya que los tallos modificados reemplazan a las hojas en esta función. Cabe destacar el papel de los mucílagos -hidrocoloides presentes en este tejido que tienen la capacidad de retener el agua (Nobel, Cavelier, & Andrade, 1992).

Se caracterizan por formar: disoluciones coloidales viscosas, geles en agua. La diferencia entre goma y mucílago es difícil y se suele equiparar todo con gomas. Actualmente se considera que la diferencia está en que los mucílagos son constituyentes normales de las plantas, mientras que las gomas son productos que se forman en determinadas circunstancias, mediante la destrucción de membranas celulares y la exudación (Pengelly, 2004).

El mucílago de nopal contiene un biopolímero especial que tiene la habilidad para modificar las propiedades funcionales como la viscosidad, elasticidad, gelificante, espesante y retención de agua (Gil Lozano, 2018).

Figura 4

Antropología de Opuntia ficus-indica



Nota. Gil, 2018.

Tabla 9***Componentes identificados en la penca de la tuna (Opuntia ficus-indica)***

Componente identificado	Pulpa	Cladodio
Calcio	27.6	5.64-17.95
Óxido de calcio	-	4.3-11.5
Magnesio	27.7	8.8
Sodio	0.8	0.3-0.4
Potasio	161	2.35-55.20
Hierro	1.5	0.09
Fósforo	-	0.15-2.59
Zinc	-	0.08
Cobre	-	-
Magnesio	-	0.19-0.29

Nota. El-Mostafa et al.,2014.

En el caso de México y Perú todavía se da la costumbre de usar la pulpa del cactus de tuna (baba de nopal) que desde la época prehispánica formaba parte de los adhesivos tanto para el manejo de la tierra utilizada como material constructivo como para el caso de los revoques y pinturas (Guerrero, 2007).

La goma de tuna se emplea específicamente para aumentar la impermeabilidad de los morteros elaborados con mezclas de suelo y fibras vegetales, que se utilizan como revoques para proteger los muros y cubiertas de suelo contra la acción de la humedad y de la lluvia. Vargas, Heredia, Bariola, & Mehta, 1986, concluyeron que el uso de la tuna como estabilizante puede obtener un nivel de estabilización comparable al del asfalto.

2.2.3. Provincia de Canta

El distrito de Canta es la ciudad capital de la provincia del mismo nombre, está situada en el departamento de Lima y sus coordenadas geográficas son: Latitud 11°28'13'', Longitud: 76°37'57'' al Oeste del Meridiano de Greenwich.

El límite Noroeste está demarcado naturalmente por el río Chillón; el límite Este por la cordillera de La Viuda y el límite Sur está demarcado con la provincia de Huarochirí. El distrito de Canta comprende de tres anexos principales: Obrajillo, Carhua y Pariamarca; y a su vez alberga cerca de sesenta y dos unidades agropecuarias (Córdova, 2006).

- **Aspectos físicos de Canta**

El área del distrito de Canta es de 12 309 ha, encontrándose su ciudad capital a una altura sobre el nivel del mar de 2837 metros.

El distrito de Canta pertenece a la parte alta de la cuenca del río Chillón, además tiene como regiones características, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidallas regiones Quechua y Suni, Canta presenta relieves más o menos accidentados, con valles profundos, cumbres pronunciadas y algunos valles pequeños y campiñas.

Canta posee un suelo sumamente quebrado, que obliga el empleo de andenes en los campos de cultivo para protegerlos de los deslizamientos en épocas de lluvias (Córdova, 2006).

Según el SENAMHI, en la estación meteorológica de Canta, durante el período 1964 - 1971, se presentó un promedio anual de 13.6°C, esta temperatura promedio presenta dos épocas bien marcadas durante el año: en verano son mayores, presentándose su valor más alto en el mes de Mayo (19.9°C) y menores en invierno, con su valor más bajo en los meses de diciembre (8.2°C).

La precipitación total promedio anual durante el período 1964 - 1971. En el sector comprendido sobre los 3000 m.s.n.m. la precipitación es abundante con promedios sobre los

300 mm, observando que el valor de la precipitación aumenta a medida que la altitud aumenta, mientras que en el sector por encima de los 3500 m.s.n.m. la precipitación aumenta sobre los 450 mm. En cuanto al régimen de precipitaciones se registran precipitaciones durante todo el año, con un período de máximas que va de diciembre a marzo, y un período de mínimas que va de abril a agosto (Córdova, 2006).

Tabla 10

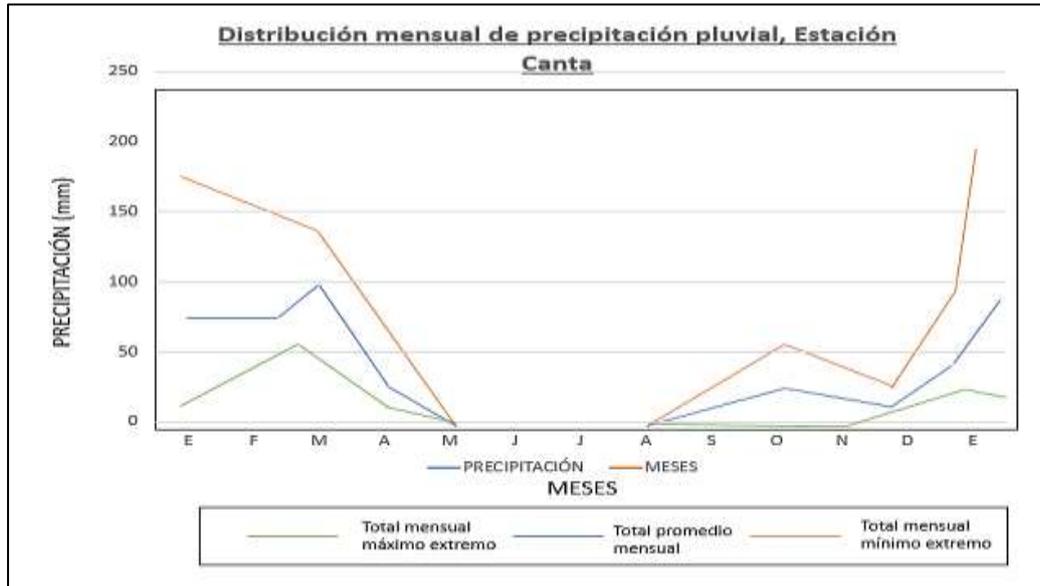
Reporte de Temperaturas en °C en el período 1964.-1971. Estación meteorológica de Canta

Mes	Temperatura		
	Promedio Mensual		
	Max. Extrema	Mm	Min extremo
Enero	18.8	13.4	8.9
Febrero	18.7	13.2	8.7
Marzo	17.8	13	8.7
Abril	18.6	13.5	8.7
Mayo	19.9	14.1	8.6
Junio	19.3	13.8	9.2
Julio	19.5	14	8.1
Agosto	19.5	13.9	8.9
Setiembre	19.1	14.1	8.8
Octubre	19.3	13.8	9
Noviembre	19	13.5	9.1
Diciembre	18.9	13.3	8.4
Promedio	19	13.6	8.7

Nota. SENAMHI, 2006.

Figura 5

Cuenca del río Chillón, régimen de distribución mensual de precipitación pluvial, estación Canta 1964 -1997



Nota. SENAMHI, 2006.

- **Aspectos Económicos**

La actividad minera data de tiempos muy remotos, existiendo datos sobre el aprovechamiento de los metales de oro, plata y cobre.

Es una de las industrias que está ocasionando el auge económico de esta ciudad, es la industria turística, esto es por su pasado histórico, condiciones geográficas y su clima saludable, que se encuentran a lo largo del hermoso valle del río Chillón (Córdova, 2006). Las construcciones de adobe se realizarán con recursos propios de la zona, aledaños a la obra el material elaborado es de tierra y paja, es claro que este tipo de sistema disminuye el tiempo de mano de obra y el costo del muro.

La aplicación de la tecnología mejorada para la construcción de viviendas de adobe en zonas de poblados de escasez de recursos, no debería representar un costo adicional ya que la mayoría de los componentes que se requiere paja, arena, mortero de barro, etc. , no influyen en el costo adicional de la tecnología, ya que los elementos son comunes tanto para las viviendas reforzadas como sin reforzar, si se puede estimar un costo adicional se puede

deducir que serían de los materiales para el refuerzo como clavos, alambre, cordel plástico, la caña, la madera, etc.

2.2.4. Fenómeno El Niño y la construcción de adobe

El fenómeno El Niño produce cambios climáticos en la costa del país, estos cambios pueden influir en el clima de la cuenca del río Chillón produciendo en algunos casos grandes lluvias y en otros sequías, por lo tanto si no se tienen sistemas de regulación de aguas para la irrigación y abastecimiento, la cuenca puede colapsar, teniendo como consecuencias, pérdidas económicas por los cultivos y deterioro de la salud al quedar inutilizables los sistemas de abastecimiento y desagüe para los pueblos (Córdova, 2006).

La destrucción o afectación de una vivienda, impacta en forma directa sobre el bienestar de las personas, debido a que estas pueden llegar a perder tanto sus bienes materiales como su propia vida, esto se pudo apreciar claramente durante los fenómenos El Niño de 1982- 1983 y 1997-1998. Las viviendas que se ven impactadas por una inundación son las que se encuentran en mayores condiciones de vulnerabilidad. Principalmente, dichas viviendas tienen las siguientes características: paredes de adobe, techos de caña con torta de barro y pisos de tierra compactada. Las mencionadas características contribuyen a que ante una lluvia intensa las estructuras de estas viviendas entren en un proceso denominado "remojoamiento".

El "remojoamiento" desencadena la inundación y permite que las viviendas se destruyan y en el mejor de los casos se afecten parcialmente (Machuca & Oswaldo, 2014).

Actualmente, el estado el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), ejecuta la reconstrucción de 552 viviendas rurales afectadas por el fenómeno El Niño Costero en las regiones Piura, La Libertad, Lambayeque, Cajamarca, Ancash y Huancavelica, aportando con la construcción de adobes cuya ejecución equivale a un monto de S/. 1, 947,

842 (ANDINA, 2018). Por lo que la construcción de viviendas a base de adobe en zonas rurales es de una relación directa por afectaciones del fenómeno El Niño.

2.3. Conceptual

2.3.1. Adobe

El adobe es una palabra con varios significados, el primero y más común es "ladrillo de lodo secado al sol", el segundo, "formación de lodo", y el tercero es simplemente "ladrillos de lodo". El término adobe viene del egipcio "thobe" (ladrillo) traducido en árabe "ottob", convertida en "adobe" en español y algunas veces llamado "toub" en francés. Los ladrillos de adobe quizá son el material manufacturado más antiguo en el área de la construcción, la palabra por sí misma es española, pero proviene de varias palabras del árabe que significan: mezclar o liso sin asperezas (De la Peña, 1997).

Norma E.080, Diseño y construcción con tierra reforzada, define al adobe como unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad, también se define como técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro.

2.3.2. *Opuntia ficus-indica*

El nopal está constituido de raíz, tronco, ramas o tallos, cladodios o pencas, nopalitos o nopal verdura, espinas, ahuates, cutina, epidermis, parénquima clorofílico o baba de nopal, xilema, médula o cilindro central de tallos y pencas antiguas ocupado por parénquima de almacenamiento formado por tejido esponjoso, pegajoso blanco. (Bravo, 1991). El nopal está compuesto por cladodios, los cladodios son: pencas que transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis, están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica interrumpida por la presencia de las estomas mismas que permanecen cerrados durante el

día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso (Gonzales, 2011).

Los cladodios, con su alto contenido en fibra, son actualmente una fuente importante de la misma, la que se obtiene por secado y molienda de los mismos. Este polvo o harina se destina tanto para la industria de alimentos como para la industria de complementos alimenticios, ligada en cierto modo a la industria farmacéutica. Las tabletas y cápsulas de nopal se encuentran en el mercado mexicano desde hace años y se ofrecen como un modo de controlar la obesidad y la diabetes (Gonzales, 2011).

2.4. Definiciones de términos básicos

- **Adobe**

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos (Norma E. 080, 2006).

- **Estabilización de adobe**

Es el mejoramiento de la matriz del material al incrementar su resistencia y capacidad de carga, y al disminuir su sensibilidad al agua y cambios volumétricos durante el ciclo de humedecimiento y secado (Ugaz, et al., 2011). Este mejoramiento es posible con la adición de diversos materiales que actúan en el aspecto físico-químico sobre el sistema aire-agua del suelo, para promover tales incrementos en las propiedades que se desean mejorar, según una aplicación particular (Ngowi, 1997).

- **Tuna**

Tuna es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro. En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1,5 a 2,00 m de altura. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (Castro, Paredes, & Muñoz, 2009).

- **Mucílago de *Opuntia ficus-indica***

El mucílago de *Opuntia ficus-indica* es una sustancia polimérica compleja con una estructura altamente ramificada, un hidrocoloide soluble en agua, capaz de modificar sus propiedades reológicas. Los polímeros ramificados tienen una viscosidad aparente muy inferior a la de los polímeros lineales de igual peso molecular. Los hidrocoloides tienen la característica de formar geles que atrapan y retienen agua (García Cruz, 2011).

- **Compresión**

La resistencia de un material es la propiedad que tiene para resistir la acción de las fuerzas, cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo se presentan fuerzas resistentes en las fibras del cuerpo que se denominan fuerzas internas.

Fuerza interna es la resistencia interior de cuerpo a una a una fuerza externa (Ríos, 2010).

- **Flexión**

Es el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal (Ríos, 2010).

- **Absorción de agua**

Es la medida de la cantidad de agua que puede contener una unidad saturada (Gallegos & Casabonne, 2005).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Los adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) cumplirán con las características mecánicas óptimas para su uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Las características de las propiedades físicoquímicas y mecánicas del adobe ecológico elaborados a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) serán significativamente iguales a los adobes elaborados como control.
- El valor de resistencia a la compresión, el valor de flexión y el valor de la absorción de agua que presentan los diferentes adobes ecológicos de calidad elaborados a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) serán significativamente iguales a los adobes elaborados como control.
- La óptima proporción de arcilla, arena, papel y penca de tuna en la elaboración de los adobes ecológicos de calidad a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) se aplicará, en el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta.

3.2. Definición conceptual de variables

- Variable independiente: Adobe ecológico a base mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*).

El adobe como unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad, este tipo de material puede ser mejorado con mucílago como sustancia polimérica compleja con una estructura altamente ramificada, un hidrocoloide soluble en agua, capaz de modificar sus propiedades reológicas del adobe. La NT E.080 (Ministerio de Vivienda, 2017).

- Variable dependiente: Uso en la construcción de viviendas unifamiliares.

Es el conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular. (Definiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica G040).

3.2.1. Operacionalización de las variables

Tabla 11

Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	MÉTODO Y TÉCNICA
VARIABLE INDEPENDIENTE: NTE: Adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	Es como unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad, este tipo de material puede ser mejorado con mucílago como sustancia polimérica compleja con una estructura altamente ramificada, un hidrocoloide soluble en agua, capaz de modificar sus propiedades reológicas del adobe. La NT E.080 (Ministerio de Vivienda, 2017).	Es una mezcla sólida de tierra de chacra, mas ichu, y un conglomerado de arena, arcilla, papel picado, añadiéndole mucílago de penca de tuna, para luego evaluar sus propiedades físicas y la obtención de los adobes ecológicos.	D. Componentes del Adobe	L0: Adobe convencional L1: 40%Arena+10%Arcilla+30% %papel+20%Mucílago L2: 15%Arena+25%Arcilla+30% %papel+30%Mucílago L3: 20%Arena+10%Arcilla+20% %papel+50%Mucílago	V1: Adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) % % %	Tipo de Investigación Experimental, prospectivo, longitudinal, analítico. Diseño de Investigación Experimental Método Cuantitativo Población 100 % (40 unidades) de adobes ecológicos elaborados en el centro poblado de Obrajillo. Muestra 16 adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) Técnicas e Instrumentos de Investigación -Observación experimental -Ensayo de granulometría por tamizado -Ensayo de contenido de humedad -Prueba de presencia de arcilla - Ensayos de laboratorio Plan de Análisis de datos Diseño completamente aleatorizado (DCA) mediante el análisis de varianza de una vía (ANOVA-1), homocedasticidad de la varianza. Se desarrolló en el software estadístico INFOSTAT versión 2019
VARIABLE DEPENDIENTE: TE: Uso en la construcción de viviendas unifamiliares	Es el conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular. Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma G040-Definiciones).	Las construcciones alto andinas están sujetas, a cambios en el entorno, variabilidades climáticas que afectan las características técnicas de los materiales a usarse.	D. Características técnicas	Resistencia mecánica Resistencia física	Compresibilidad del material Flexión del material Absorción de agua	KN m ³ %

Nota. Trabajo de Gabinete-Tesis Adobe Ecológico 2022.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y Diseño de investigación

4.1.1. Tipo

Para determinar el tipo de investigación se usará el concepto taxonómico de clasificación de estudios propuesto por Supo, (2012).

Según la intervención del investigador

Experimental: Siempre son prospectivos, analíticos y de nivel investigativo “explicativo” de causa y efecto.

Según la planificación de la toma de datos

Prospectivo: Los datos necesarios, para el estudio son recogidos a propósito de la investigación (primarios). Por lo que, posee control del sesgo de medición.

Según el número de ocasiones en que mide la variable de estudio

Longitudinal: La variable de estudio es medida en dos o más ocasiones por ello, se realizaron comparaciones de antes y después de las muestras tomadas.

Según el número de variables de interés

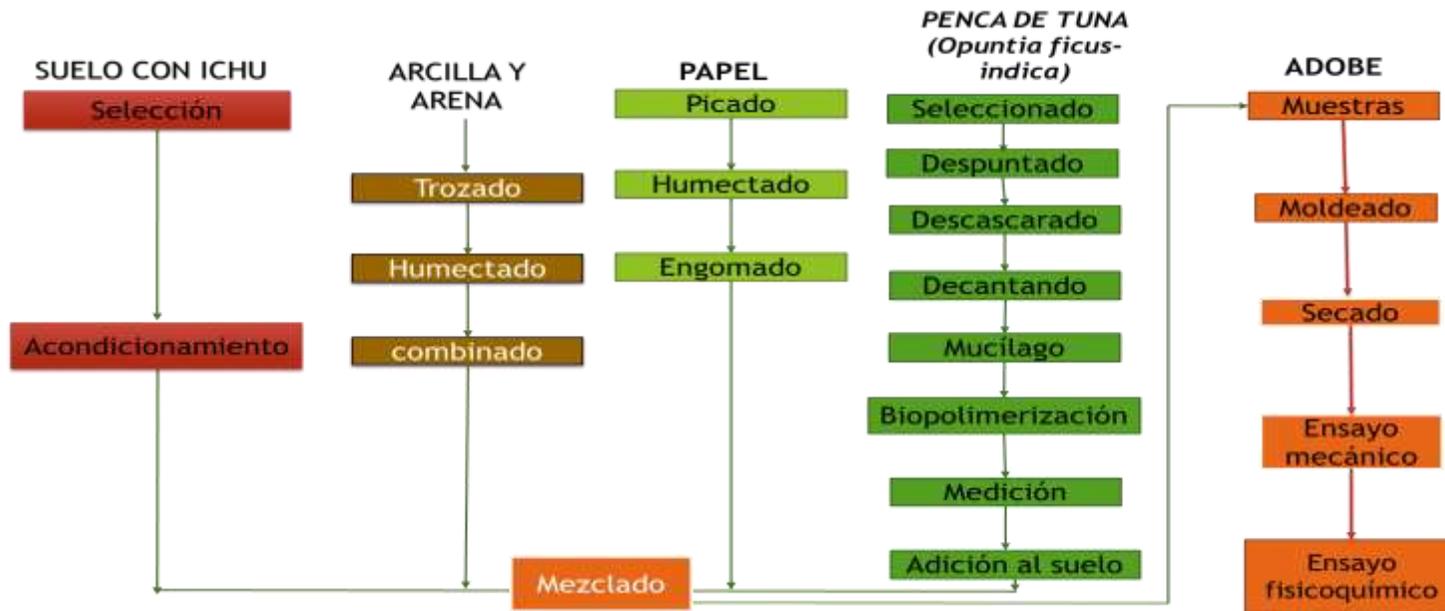
Analítico: El análisis estadístico es bivariado; porque plantea y expone a prueba las hipótesis, su nivel más básico establece la asociación entre factores.

4.1.2. Diseño

El diseño de investigación que se desarrolló estuvo sujeto al siguiente diagrama de flujo propuesto por las tesis, el cual consiste en la selección de un suelo fértil, para proceder a mezclar con ichu, arcilla, arena, papel y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), seguido de ello se procedió al moldeado, secado y ensayo en el laboratorio.

Figura 6

Diagrama de flujo de la elaboración del adobe tradicional y adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)



Nota. Trabajo de Gabinete-Tesis Adobe Ecológico 2022.

4.2. Método de investigación

El método de investigación a desarrollarse será de enfoque deductivo, que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos de las tesis, para responder a la formulación del problema (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, y Baptista Lucio, 2010).

4.2.1. Muestreo de suelo para la elaboración del adobe

La extracción se realizará mediante la excavación manual por las tesis, luego se comenzará con el proceso del cuarteo respectivo del material in situ para posteriormente realizar el estudio de suelos en Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales del Laboratorio de Tecnología del Concreto – MTL GEOTECNIA.

Figura 7

Lugar de investigación- Obrajillo



Nota. Visita de campo-Obrajillo, 2019.

Adicionalmente se realizará en campo in-situ la prueba de “Cinta de Barro” y la prueba de “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”, correspondientes al Anexo N°1 y N°2 respectivamente de la Norma Técnica E.080 sobre el diseño y construcción con tierra reforzada, emitida en el 2017, según lo indica el artículo 17 de la respectiva norma.

A) Prueba de “Cinta de barro” (Anexo N°1 E.080)

Para tener una primera evaluación de la existencia de arcilla en un suelo se puede realizar la prueba “Cinta de barro” (en un tiempo aproximado de 10 minutos).

Tomando una muestra de barro con una humedad que permita hacer un cilindro de 12 mm de diámetro, colocado en una mano, aplanar poco a poco entre los dedos pulgar e índice, formando una cinta de 4 mm de espesor y dejándola descolgar lo más que se pueda. Si la cinta alcanza entre 20 cm y 25 cm de longitud, el suelo es muy arcilloso. Si se corta a los 10 cm o menos, el suelo tiene poco contenido de arcilla.

Figura 8

Prueba de Cinta de barro



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

B) Prueba de “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” (Anexo N°2 E.080)

- i. Formar cuatro bolitas con tierra de la zona. Utilizar la tierra de la zona que se considera apropiada para emplearla como material de construcción y agregarle una mínima cantidad de agua para hacer cuatro bolitas (ver imagen adjunta).
- ii. La cantidad de agua es la mínima necesaria para formar sobre las palmas de las manos cada una de las bolitas, sin que éstas se deformen significativamente a simple vista, al secarse.

Figura 9

Formación de bola



Nota. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017.

- iii. Dejar secar las cuatro bolitas: Se deben dejar secar por 48 horas, asegurando que no se humedezcan o se mojen por lluvias, derrames de agua, etc.
- iv. Presionar las cuatro bolitas secas: Una vez transcurrido el tiempo de secado, se debe presionar fuertemente cada una de las bolitas con el dedo pulgar y el dedo índice de una mano (ver figura 6). En caso de que luego de la prueba, se quiebre, rompa o agriete al menos una sola bolita se debe volver a formar cuatro bolitas con los mismos materiales y dejando secar en las mismas condiciones anteriores.

Figura 10

Presión de las bolitas de suelo



Nota. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017.

Luego del tiempo de secado, se debe repetir la prueba. Si se vuelve a romper, quebrar o agrietar, se debe desechar la cantera de suelo donde se ha obtenido la tierra. Salvo que se mezcle con arcilla o suelo muy arcilloso. En caso, que luego de la prueba no se rompa, no se quiebre o no se agriete ninguna de las cuatro bolitas, dicha cantera puede utilizarse como material de construcción.

4.2.2. Extracción del mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y producción de Biopolímero

La tuna se extrajo del centro poblado Obrajillo, departamento de Lima, provincia Canta, distrito de Canta.

Extracción del mucílago

La metodología que se empleó para la extracción del mucílago fue propuesta por Gonzales (2011). Esta metodología se describe de la siguiente manera.

- Como primer paso se da la recolección de cladodio.
- Se limpia perfectamente la penca.

- Se licua por 20 minutos.
- Se filtra con tela de indio.
- Se pone en recipientes, para baño María durante 10 minutos en una temperatura de $90^{\circ}\pm 2$ C.
- Se deja reposar durante 1 hora

Figura 11

Lavado del mucílago de la penca de la Opuntia ficus-indica



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 12

Extracción del mucílago de la penca de la Opuntia ficus- indica



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 13

Amasado del mucílago de Opuntia ficus- indica



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Preparación del biopolímero

El biopolímero se desarrolló y modificó de acuerdo con la técnica diseñada por Gonzales (2011). Se colocaron 3000 ml de mucílago de *Opuntia ficus-indica*, 1000 ml de agua destilada, 1000 ml de almidón y 100 ml de glicerol en un vaso de precipitados, se agitaron durante 10 minutos a 32 rpm en una licuadora casera a una temperatura ambiente, y luego se añadió la suspensión resultante (v / v) a las diferentes mezclas.

Figura 14

Vertido del agua destilada a la licuadora



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 15

Vertido de glicerol y almidón a la olla



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 16

Licuada del mucílago con agua destilada, glicerol y almidón



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 17

Resultado final del biopolímero



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

4.2.3. Formulación de las mezclas

Para este propósito, las materias primas, los suelos y los residuos de papel se trituraron hasta un tamaño de partícula inferior a 3 mm. Posteriormente, para la preparación de las mezclas, se añadió agua y se varió la concentración en volumen de cada uno de los componentes, de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12

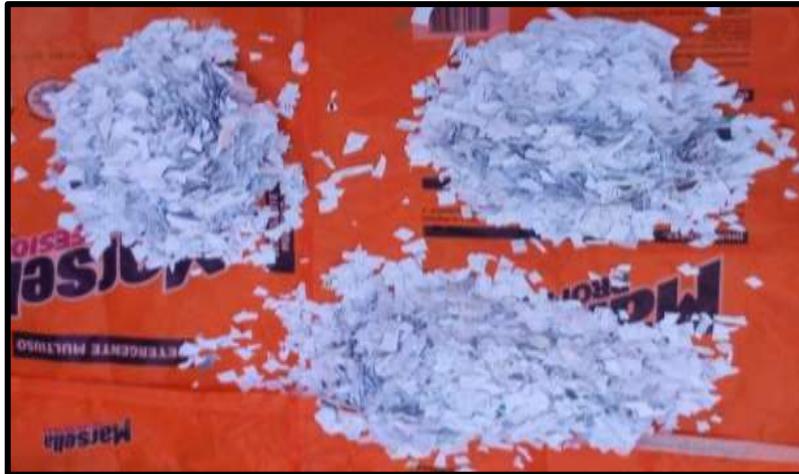
Concentración de volumen de los componentes utilizados para la fabricación con un diseño experimental

Factores	Muestra	Suelo		Papel	Mucílago
		% Arena	%Arcillas		
			L0		
Variación del tipo de Suelo (% de Arcilla)	L1	40	10	30	20
	L2	15	25	30	30
	L3	20	10	30	50

Nota. Trabajo de gabinete -Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 18

Papel picado



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 19

Mezcla de biopolímero



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 20

Ichu picado



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 21

a) Arena gruesa en tres proporciones; b) Arcilla en tres proporciones



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

4.2.4. Mezcla y modelo de adobe

A. Mezclas

Esta etapa consistió en ajustar el pH de las mezclas a > 8 mediante la adición de cal, para promover la geopolimerización de los componentes, principalmente los filosilicatos, es decir, los minerales contenidos en los suelos. Finalmente, se agregó el mucílago de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) preparado. La mezcla se vació en los moldes. Las muestras se dejaron secar durante más de 12 días y se evaluaron sus características técnicas.

Figura 22

a) Arena gruesa, papel picado; b) Mezclado con cal para ajustar pH



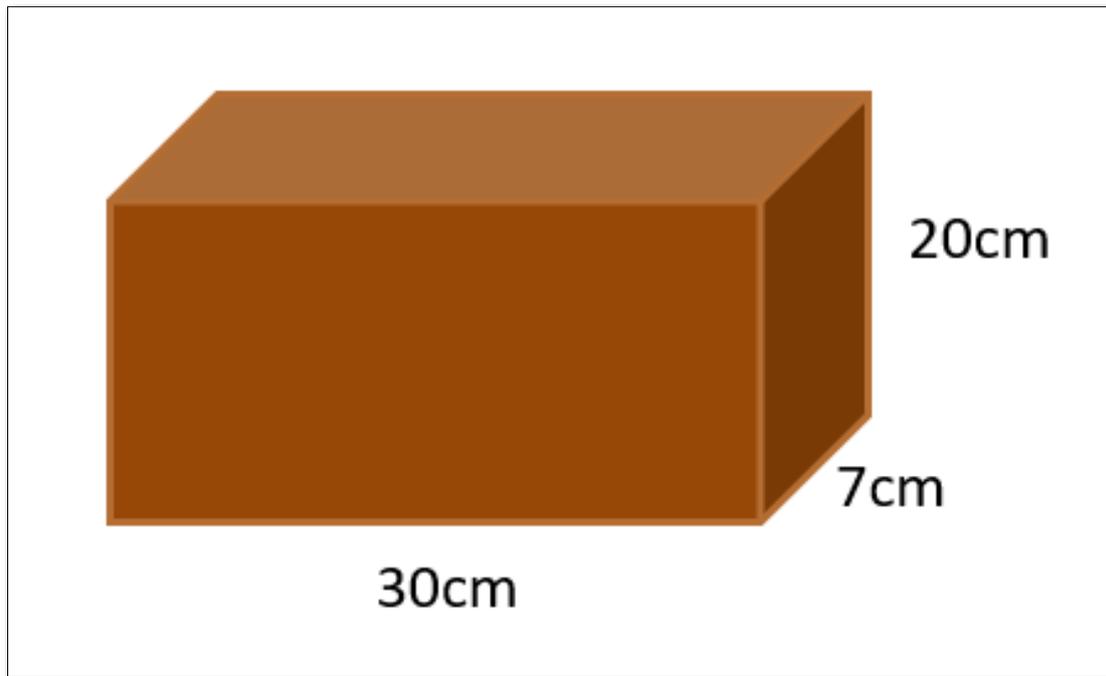
Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

B. Moldeo

Las dimensiones del adobe tradicional y adobe ecológico a base de *Mucílago de Opuntia ficus-indica*, tendrá las siguientes dimensiones Largo = 30 cm, Ancho = 20 cm, Espesor = 7 cm.

Figura 23

Dimensiones del adobe elaborado



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Procedimiento de fabricación de adobe tradicional

El procedimiento de fabricación de adobe se realizó según lo indicado por Venero, Danilo, y Romero Cuentas (2017); el cual se menciona a continuación:

1. Se procederá a mezclar la materia prima con agua para formar la masa de barro.
2. Posteriormente se procede a realizar el pisado de la masa de barro para que esta pueda mezclarse de forma uniforme.
3. Seguidamente se procederá a realizar el dormido de la masa de barro, el cual consiste en dejar reposar a la intemperie por un mínimo de 01 día.

Figura 24

Procedimiento de fabricación de adobe tradicional



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

- Una vez realizado el dormido del barro, se procede a colocar la pasta de barro al molde de adobe, que previamente fue sumergido en agua para que la masa no se adhiera al molde.

Figura 25

Moldeado del adobe



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

5. Finalmente, se procede a dar forma según las características del molde y sacar dicho molde de abajo para arriba para que la unidad de adobe proceda al secado a la intemperie de por lo menos 01 semana.

Procedimiento fabricación de adobe ecológico a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)

1. Se realizó la misma elaboración de masa de barro que las unidades de adobe tradicional (hasta ítem 3.)
2. Posteriormente se extrajo la masa de barro para agregar los distintos componentes para la obtención realizar diferentes muestras variando porcentajes de arena, arcilla, papel y mucílago
3. Seguidamente se procedió a mezclar la masa de barro con el mucílago de *Opuntia ficus-indica* hasta formar una masa uniforme.
4. Finalmente se procede a colocar la masa uniforme al molde de madera, se le da la forma con el molde y se procederá a sacar del molde de abajo para arriba para que así proceda al secado a la intemperie de por lo menos 01 semana.

Figura 26

Llenado del adobe en moldes



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Figura 27

Tipos de adobe: L1, L2, L3 y Lo (Muestra control)



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

En esta investigación, la población estuvo conformada por 40 bloques de adobe ecológico conteniendo arena, arcilla, papel y mucílago de penca de tuna en diferentes proporciones cada tipo de adobe ecológico (Control, L1, L2 y L3), siguiendo las normas que se describen en la muestra.

Tabla 13

Cantidad total de muestras a ensayar

Pruebas de ensayo	Cantidad de Adobes			
	Control	L1	L2	L3
Compresibilidad	3	3	3	3
Geometría	3	3	3	3
Absorción de agua	3	3	3	3
Parcial	10	10	10	10
Total			40	

Nota. Trabajo de gabinete - Tesis Adobe Ecológico 2022

4.3.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por el 100% de adobes ecológicos igual que la población de 20 cm x 30 cm x 7 cm en dimensiones, estas muestras se y generaliza los resultados de la investigación, para (Hernandez Sampieri et al., 2010) el muestreo no probabilístico “no necesita identificar a la unidad de estudio de manera intencional”. La muestra es no probabilística por ello se calculó de acuerdo a las normas de adobe NT E.080 y la norma ASTM C-67.

Figura 28

Muestras de adobe para el análisis



Nota. Trabajo de campo-Tesis Adobe Ecológico 2022.

4.4. Lugar de Estudio

La elaboración de adobe se realizó en el centro poblado de Obrajillo, Canta.

Los ensayos y análisis se realizarán en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, siendo esta entidad pública y en el Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto, MTL GEOTECNIA, el cual es una empresa privada.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1. Técnicas

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), para la presente investigación se desarrolló la técnica de “La observación experimental” donde se elaborará datos en condiciones relativamente controladas por las tesisistas por medio de un diseño experimental, particularmente porque se manipulará la variable independiente.

4.5.2. Instrumentos

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014) indican sobre el “Instrumento de investigación a las herramientas en las que se apoya el investigador para obtener respuesta al problema planteado”.

Los instrumentos con los cuales se llevó a cabo el desarrollo de la investigación son los aparatos utilizados en los ensayos realizados a los adobes en el laboratorio para determinar sus características técnicas.

Ensayo de granulometría por tamizado (Norma Técnica Peruana 339. 128.1999)

Se cuantifica mediante tamizado de la distribución partículas del suelo retenidas en el tamiz N°200, instrumentos, equipos y materiales como:

- Balanzas
- Agitador mecánico de tamices
- Horno

- Termómetro
- Cronómetro
- Tamices

Ensayo de contenido de humedad (Norma Técnica Peruana 339.127, 1998)

Ensayo a cuál es sometido al suelo con el propósito de determinar su contenido de humedad con:

- Aparatos
- Taras
- Balanza
- Horno

Ensayo de límites de Atterberg (Norma Técnica Peruana 339.129, 1999). Límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos con:

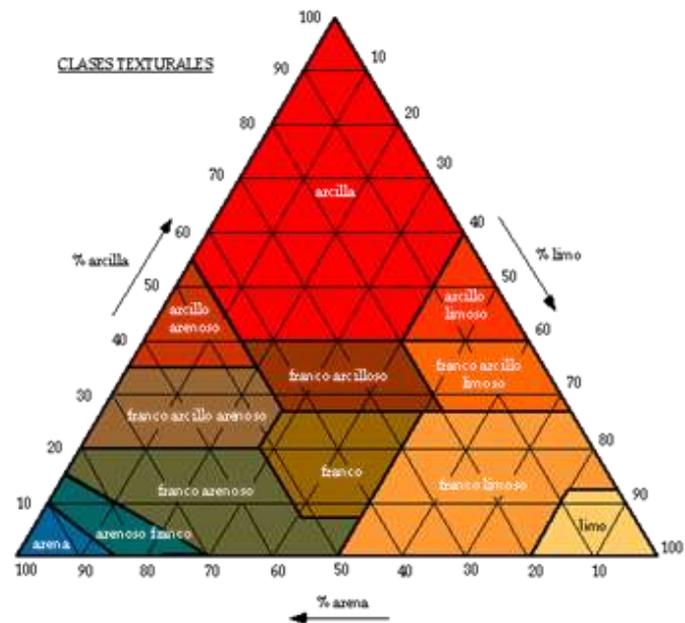
- Copa de Casa Grande
- Espátula de metal
- Cápsula de porcelana
- Tara
- Horno
- Lamina de vidrio

Clasificación del suelo (Norma Técnica Peruana 339.134, 1999). Clasifica a los tipos de suelos, para que luego sean sometidos a ensayos.

Se usó el Triángulo Textural, tomado de la Clasificación Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010).

Figura 29

Triangulo textural para la clasificación del suelo



Nota. Soil Taxonomy Soil Survey Staff, 2010.

Ensayo a compresión (Norma Técnica Peruana 399.613 y 339.604). Somete a la muestra del adobe a esfuerzos de compresión.

- Máquina para ensayo de compresión.

Tabla 14

Ficha de recopilación de data del análisis de compresibilidad del material

Muestra	Carga Máxima (Kgf)	Área (cm ²)	F' o (Kg/cm ²)
L0			
L1			
L2			
L3			
L4			

Nota. Trabajo de gabinete-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Ensayo de flexión (Norma E. 080)

- Máquina para ensayo de flexión

Tabla 15

Ficha de recopilación de data de análisis de flexión de adobes ecológicos

Muestra	Largo	Ancho	Espesor	Área Promedio
L0				
L1				
L2				
L3				

Nota. Trabajo de gabinete-Tesis Adobe Ecológico 2022.

Ensayo de absorción de agua (Norma Técnica Peruana 399.613, 2003)

- Pistón
- Balanza
- Horno

Tabla 16*Ficha de recopilación de data del análisis de absorción de agua*

Muestra	Peso Seco (gr.)	Peso Saturado (gr.) 1hr.	ABSORCIÓN (%)	Peso Seco (gr.)	Peso Seco (gr.)	Peso Saturado (gr.) 1hr.	ABSORCIÓN (%)	Peso Seco (gr.)	Peso Saturado (gr.) 1hr.	ABSORCIÓN (%)
L0										
L1										
L2										
L3										
Promedio										

Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Se realizó el tratamiento estadístico de los datos mediante el software libre InfoStat Vrs. 2019.e por ser una investigación experimental de variables cuantitativas, este tratamiento se logró gracias a la ejecución de los objetivos de nuestra investigación; caracterizando las propiedades físico, químicas, mecánicas del adobe, se determinando el valor de resistencia a la compresión, flexión y absorción de agua de los diferentes adobes ecológicos elaborados a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en un laboratorio de estructuras de ingeniería civil, al tener los resultados se realizó el análisis estadístico (ANOVA), para demostrar la hipótesis planteada de la investigación y a su vez se generó las conclusiones respectivas a la interpretación de los resultados obtenidos mediante el tratamiento estadístico.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Resistencia a la compresión

a) Resistencia a la compresión del adobe convencional

La resistencia a la compresión de las 2 muestras del adobe ecológico convencional fue de 12.9 Kg/cm² y 13.6 Kg/cm², después de una carga de 634 Kg y 676 Kg respectivamente, durante 3.5 minutos; este adobe se obtuvo de la mezcla de tierra arcillosa de la zona de Obrajillo, tierra de chacra, ichu que se cultiva en la zona, la mezcla de todo en una proporción equitativa, con un secado de 30 días.

b) Resistencia a la compresión del adobe ecológico L1

La resistencia a la compresión de las 2 muestras del adobe ecológico L1-a fue de 13.8 Kg/cm² y L1-b fue de 14.0 Kg/cm², con una carga de 676 Kg y 686 Kg respectivamente, durante 4 minutos; estos adobes se obtuvieron de la mezcla de tierra arcillosa de la zona de Obrajillo, tierra de chacra, ichu que se cultiva en la zona, añadiéndole 1200 gr de arena, 1000 gr de papel picado 300 gr de arcilla y 600 ml de mucilago de penca de tuna; se realizó una mezcla uniforme, con un secado de 30 días.

c) Resistencia a la compresión del adobe ecológico L2

La resistencia a la compresión de las 2 muestras del adobe ecológico L2-a fue de 15.9 Kg/cm² y L2-b fue de 15.4 Kg/cm², con una carga de 788 Kg y 756 Kg respectivamente, durante 5.4 minutos; estos adobes se obtuvieron de la mezcla de tierra arcillosa de la zona de Obrajillo, tierra de chacra, ichu que se cultiva en la zona, añadiendo 450 gr de arena, 1000 gr de papel picado, 750 gr de arcilla y 900 ml de mucílago de penca de tuna; se realizó una mezcla uniforme, con un secado de 30 días.

d) Resistencia a la compresión del adobe ecológico L3

La resistencia a la compresión de las 2 muestras del adobe ecológico L3-a fue de 15.1 Kg/cm² y L2-b fue de 15.6 Kg/cm², con una carga de 750 Kg y 774 Kg respectivamente, durante 5 minutos; éstos adobes se obtuvieron de la mezcla de tierra arcillosa de la zona de Obrajillo, tierra de chacra, ichu que se cultiva en la zona, añadiéndole 600gr de arena, 1000 gr de papel picado, 300 gr de arcilla y 1500 ml de mucilago de penca de tuna; se realizó una mezcla uniforme, con un secado de 30 días.

Tabla 17

Ficha de recopilación de análisis de compresibilidad del adobe convencional y adobe a base de mucílago de penca de tuna

Muestra	Largo	Ancho	Area (cm²)	Carga Máxima (Kgf)	F' o (Kg/cm²)
Adobe Convencional 1	7.0	7.0	49	634	12.9
Adobe Convencional 2	7.0	7.1	59	676	13.6
L1-a	7.0	7.0	49	676	13.8
L1-b	7.0	7.0	49	686	14.0
L2-a	7.0	7.1	50	788	15.9
L2-b	7.0	7.0	49	756	15.4
L3-a	7.1	7.0	50	750	15.1
L3-b	7.0	7.1	50	774	15.6
Promedio	7.0125	7.0375	50.625	717.5	14.5375
Varianza	0.00125	0.0026	11.6964286	3158.57143	1.20553571
		7857			
Desviación Estandar	0.035355	0.0517	3.42000418	56.2011693	1.0979689
	34	5492			

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

FÓRMULA:

C = Resistencia compresión del espécimen, Kg/cm².

W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta en cm².

$$C = \frac{W}{A}$$

Figura 30

Corte de adobe convencional con cizalladora



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

Figura 31

Bloques de adobe convencional y adobe ecológico 7x7 cm



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

Figura 32

Adobe convencional y adobe ecológicos refrenado con yeso nacional y cemento



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

Figura 33

Máquinas de resistencia a la compresión de bloques de adobe convencional y adobe ecológico



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022.

Figura 34

Máquinas de resistencia a la compresión de bloques de adobe convencional.



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

Figura 35

Bloques de adobe convencional y adobe ecológicos de 7x7 cm después de la fuerza de carga con la máquina de compresión



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

5.1.2. Análisis geométrico

Se midió las dimensiones de cada uno de los adobes convencionales y ecológicos y se obtuvo lo siguiente:

Dimensiones Específicas

Tipo: Adobes Ecológicos

Tabla 18

Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes convencional

Espécimen	Largo(cm)	%VD	Ancho(cm)	%VD	Alto(cm)	%VD
Adobe Convencional	29.7	1.00	19.6	2.00	7.1	-1.43

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

Tabla 19

Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes ecológicos L1

Espécimen	Largo	%VD	Ancho	%VD	Alto(cm)	%VD
L1	29.3	2.33	19.2	4.00	6.8	2.86

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

Tabla 20

Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes ecológicos L2

Espécimen	Largo	%VD	Ancho	%VD	Alto(cm)	%VD
L2	30.1	-0.33	19.5	2.50	7	0.00

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

Tabla 21

Ficha de recopilación de data del análisis de flexión de adobes ecológicos L3

Espécimen	Largo	%VD	Ancho	%VD	Alto(cm)	%VD
L3	29.3	2.33	19.7	1.50	6.8	2.86

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

Figura 36

Determinación de las dimensiones de los adobes convencionales y ecológicos



Nota. Tomada de Laboratorio de Tecnología del Concreto - MTL GEOTECNIA, 2020.

5.1.3. Absorción por capilaridad

Antes del análisis de absorción se procedió a calentar en el horno durante 30 minutos. El peso del adobe en seco y adobe sumergido en agua.

Figura 37

Adobe Convencional en el horno a una $T^{\circ}=140^{\circ}\text{C}$



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

Figura 38

Pesado del Adobe Convencional en la balanza analítica



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

La absorción de agua por capilaridad de la muestra del adobe convencional (L0), fue de 7190 gr de peso seco, peso saturado durante 1 hora fue de 8379 gr y el porcentaje de absorción de la muestra es de 16.5%. Ver tabla 22 y figura 39.

La absorción de agua por capilaridad de la muestra del adobe (L1), fue de 7012 gr de peso seco, peso saturado durante 1 hora fue de 8062 gr y el porcentaje de absorción de la muestra es de 15.0%. Ver tabla 22 y figura 39.

La absorción de agua por capilaridad muestra del adobe (L2), fue de 7713 gr de peso seco, peso saturado durante 1 hora fue de 8826 gr y el porcentaje de absorción de la muestra es de 14.4%. Ver tabla 22 y figura 39.

Tabla 22

Ficha de recopilación de data del análisis de absorción de agua

Muestra	Peso Seco	Peso Saturado (gr.)	ABSORCIÓN
	(gr.)	1hr.	(%)
Adobe			
Convencional	7190	8379	16.5
L1	7012	8062	15.0
L2	7713	8826	14.4
L3	6651	7585	14.0
Promedio			

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

Figura 39

Prueba de absorción



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

5.1.4. Resistencia a la flexión

a. Resistencia a la flexión del adobe convencional

Como resultado del análisis de resistencia a la flexión de la muestra del adobe convencional se obtuvo 24.65 cm, largo 19.55 cm y ancho 6.95 cm² de espesor.

b. Resistencia a la flexión del adobe ecológico L1

Como resultado del análisis de resistencia a la flexión de la muestra del adobe ecológico L1 se obtuvo 24.7 cm, largo 19.65 cm y ancho 6.85 cm² de espesor.

c. Resistencia a la flexión del adobe ecológico L2

Como resultado del análisis de resistencia a la flexión de la muestra del adobe ecológico L2 se obtuvo 24.85 cm, largo 19.85 cm y ancho 6.85 cm² de espesor.

d. Resistencia a la flexión del adobe ecológico L3

Como resultado del análisis de resistencia a la flexión de la muestra del adobe ecológico L3 se obtuvo 24.75 cm, largo 19.70 cm y ancho 6.75 cm² de espesor.

FORMULA:

DONDE:

W = Carga máxima kgf

l = Distancia entre apoyos, (cm)

b= Ancho neto (cm)

t= Espesor (cm)

$$f'_b = \frac{3 * Pu * l}{2 * b * t^2}$$

Figura 40

Prueba de flexión



Nota. Laboratorio - MTL GEOTECNIA, 2022

Mezclas Obtenidas y sus Características

En la tabla N° 23 muestra las diversas mezclas propuestas. Las pruebas realizadas en cada una de ellas y los valores obtenidos.

Tabla 23

Ficha de recopilación de data del análisis de las mezclas obtenidas y sus características

Muestra	Resistencia Compresión (gr/cm²)	Absorción de agua (%)	Densidad (gr/cm³)	Geometría(cm³)	Resistencia a la flexión (Kg/cm²)
L0	13.3	16.5	1.7	29.7x19.6x7.1	8.25
L1	13.9	15.0	1.8	29.3x19.2x6.8	13.13
L2	15.7	14.4	1.9	30.1x19.5x7	8.265
L3	15.4	14.0	1.7	29.3x19.7x6.8	8.815

Nota. Resultados de Laboratorio - MTL GEOTECNIA

5.2. Resultados inferenciales

Los resultados inferenciales se basan en función a la información obtenida de la investigación, la cual se determinó que las variables dependientes en este planteamiento son la resistencia a la compresión, flexión y absorción de agua. Mientras que la variable independiente es el adobe ecológico elaborado a partir de diferentes concentraciones de mucílago de penca de tuna. Se observó una muestra de datos de los resultados y se llegó a las conclusiones que aplica al conjunto a través de inferencias. El resultado es de un cálculo de tipo probabilístico teniendo un margen de error.

5.2.1. Resistencia a la compresión de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna

Se determinó que la variable respuesta o variable dependiente en este planteamiento es la **resistencia a la compresión**, mientras que, la variable independiente o factor es el **adobe ecológico elaborado a partir de diferentes concentraciones de mucílago de penca de tuna**. Ver **ANEXO N°3**

En cuanto a los datos obtenidos para la variable respuesta, estos se encuentran plasmados en la **ANEXO N°3** tras visualizar dos repeticiones para los resultados en función a cada nivel del factor, al comportamiento de los datos y el objetivo planteado por las investigadoras, se procedió a aplicar un diseño completamente aleatorizado (**DCA**) mediante el análisis de varianza de una vía (**ANOVA-1**).

Validación de supuestos

Normalidad

Tabla 24

Resistencia a la compresión

<u>Variable</u>	<u>n</u>	<u>Media</u>	<u>D.E.</u>	<u>W*</u>	<u>p (Unilateral D)</u>
RDUO RESISTENCIA (kg/cm ²)	8	0.00	0.27	0.87	0.2068

Nota. Resultados de Laboratorio - Resistencia - MTL GEOTECNIA

Los datos de la resistencia a la comprensión en cada uno de los adobes ecológicos se evaluó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks, cuyas hipótesis de detallan a continuación:

En la tabla N° 24, se puede observar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks realizada con los residuos obtenidos a partir de la resistencia a la comprensión en cada uno de los adobes ecológicos, dicha prueba contempla las siguientes hipótesis:

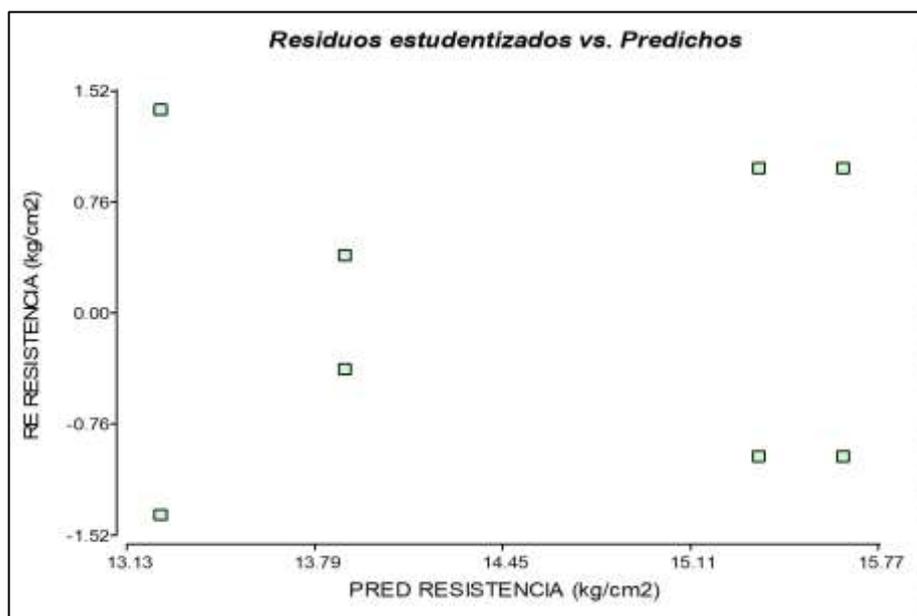
- H_0 : Tiene una distribución normal.
- H_1 : No tiene una distribución normal.

Al observar que el p-valor de dicha prueba es 0.2068, se procede a rechazar la hipótesis alterna, quedando demostrado que los residuos obtenidos presentan una distribución normal.

Homocedasticidad de la varianza

Figura 41

Gráfico de dispersión para determinar la homocedasticidad de la varianza, resistencia de la comprensión de los adobes ecológicos.



Nota. Resultado estadístico de Informe de final tesis del Adobe Ecológico.

El gráfico plasmado en la **figura 41**, nos muestra una distribución homogénea de los residuos, es decir que no forman alguna especie de patrón con valores comprendidos +3 y -3. Ante lo visualizado en la presente gráfica se procede a validar el supuesto de homocedasticidad de la varianza.

Análisis de varianza

Una vez validados los supuestos se procede a evaluar la tabla de análisis de varianza, es decir, se proceden a evaluar los efectos principales, planteando las siguientes hipótesis.

Prueba de hipótesis de efectos principales: (factor adobes ecológicos)

- $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3.$
- $H_1: \text{al menos uno } (\alpha)_i \neq 0.$

Figura 42

Cuadro de análisis de varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
RESISTENCIA (kg/cm²)	8	0.94	0.89	2.47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.92	3	2.64	20.51	0.0068
ADOBE ECO	7.92	3	2.64	20.51	0.0068
Error	0.51	4	0.13		
Total	8.44	7			

Nota. Resultado estadístico de informe de final tesis del adobe ecológico.

En función al análisis de varianza se puede observar que el factor adobes ecológicos presenta un p-valor mayor a 0.05 (0.0068), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el efecto del adobe ecológico en la resistencia a la compresión es diferente de cero, es decir, que la resistencia a la compresión es significativamente distinta en alguno de los niveles del

factor. Por lo que se procede a realizar una prueba de comparaciones múltiples mediante el test LSD de Fisher.

Figura 43

Test LSD de Fisher

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.99624

Error: 0.1287 gl: 4

LADRILLO	Medias	n	E.E.	
L0	13.25	2	0.25	A
L1	13.90	2	0.25	A
L3	15.35	2	0.25	B
L2	15.65	2	0.25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Nota. Resultado estadístico de informe de final tesis del adobe ecológico.

Del análisis estadístico se tabuló y reemplazó la resistencia a la compresión del adobe ecológico lo siguiente:

Tabla 25

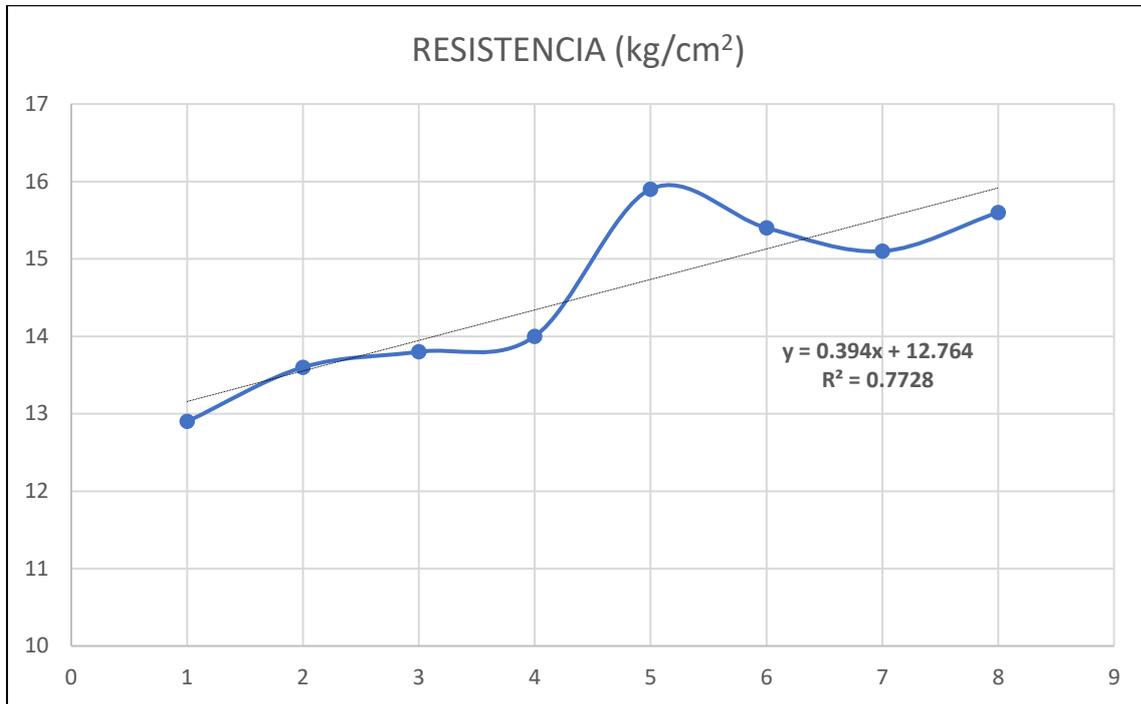
Resultado de resistencia a la compresión por cada tipo de adobe ecológico.

ADOBE	RESISTENCIA (kg/cm ²)
L0	12.9
L0	13.6
L1	13.8
L1	14
L2	15.9
L2	15.4
L3	15.1
L3	15.6

Nota. Resultados de Laboratorio - Resistencia - MTL GEOTECNIA

Figura 44

Ecuación de resistencia a la compresión de cada adobe ecológico



Nota. Resultado estadístico de Informe de final tesis del adobe ecológico.

Tabla 26

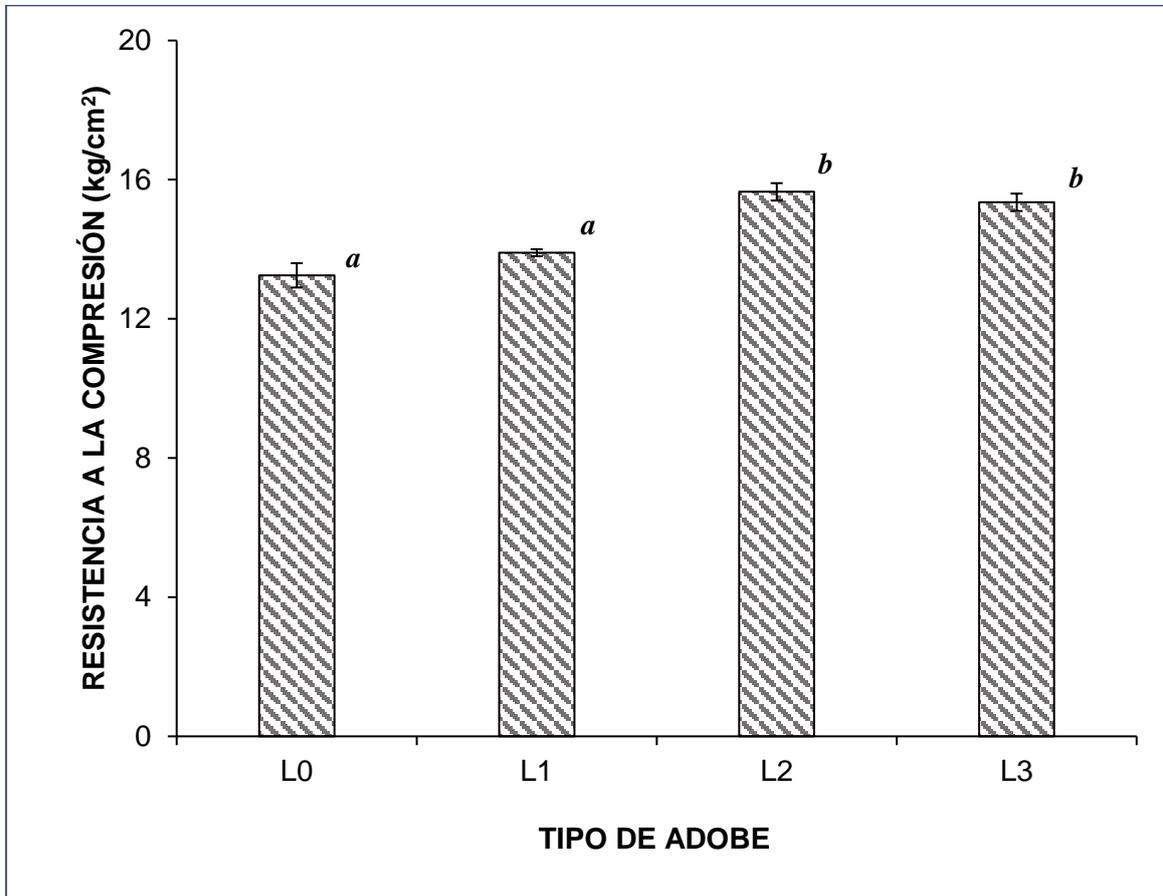
Resistencia a la compresión media por cada tipo de adobe ecológico

ADOBE	RESISTENCIA (kg/cm ²)	EE
L0	13.25	0.3500
L1	13.9	0.1000
L2	15.65	0.2500
L3	15.35	0.2500

Nota. Resultados de Laboratorio - Resistencia - MTL GEOTECNIA

Figura 45

Resistencia a la compresión de cada adobe ecológico Medias con una letra en común no son significativamente distintos ($p > 0.05$)



Nota. Resultado estadístico de informe de final tesis del adobe ecológico.

La figura 45 y el desarrollo de la prueba **LSD de Fisher** nos representa la misma información, de la cual podemos concluir que L2 y L3 presentan una resistencia a la compresión significativamente mayor a los otros dos ladrillos, sin embargo, estos dos no son significativamente distintos entre sí.

5.2.2. Flexión de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Se determinó que la variable respuesta o variable dependiente es la resistencia a la compresión, mientras que, la variable independiente o factor es el adobe ecológico elaborado a partir de diferentes concentraciones de mucílago de penca de tuna. Ver ANEXO 3.

En cuanto a los datos obtenidos para la variable respuesta, estos se encuentran plasmados en el **ANEXO 3** tras visualizar dos repeticiones para los resultados en función a cada nivel del factor, al comportamiento de los datos y el objetivo planteado por el investigador, se procedió a aplicar un diseño completamente aleatorizado (**DCA**) mediante el análisis de varianza de una vía (**ANOVA-1**).

Validación de supuestos

Normalidad

Tabla 27

Normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	
RDUO FLEXION (kg/m³)	8	0.00	1.12	0.90	0.3784	

Nota. Shapiro-Wilks

En función a los residuos obtenidos a partir de los datos de flexión en cada uno de los adobes ecológicos se evaluó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks, cuyas hipótesis de detallan a continuación:

En la tabla N° 27 se puede observar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks realizada con los residuos obtenidos a partir de la flexión en cada uno de los adobes ecológicos, dicha prueba contempla las siguientes hipótesis:

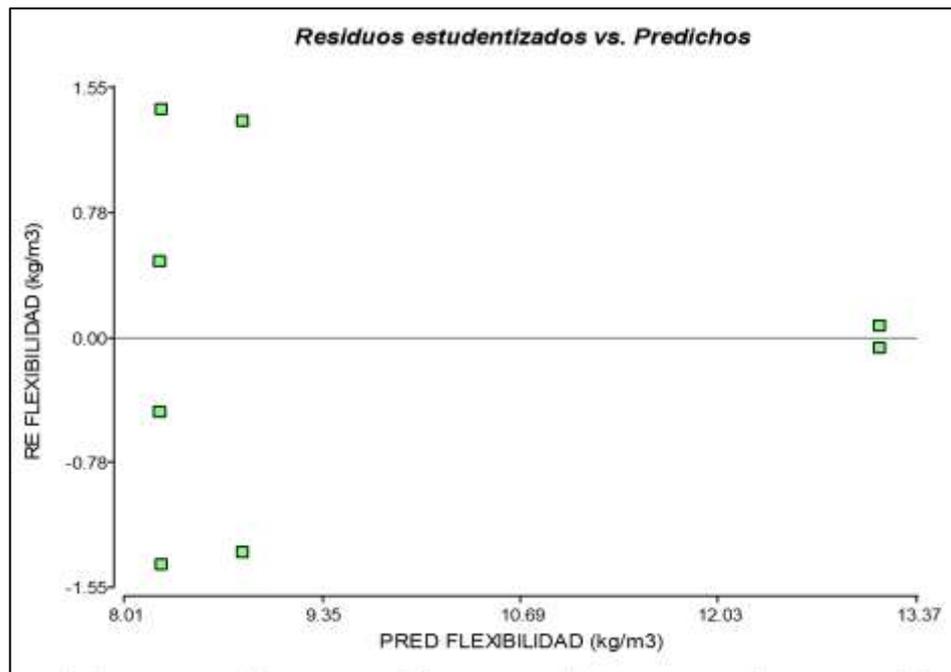
- **H₀**: Tiene una distribución normal.
- **H₁**: No tiene una distribución normal.

Al observar que el p-valor de dicha prueba es 0.3786, se procede a rechazar la hipótesis alterna, quedando demostrado que los residuos obtenidos presentan una distribución normal.

Homocedasticidad de la varianza

Figura 46

*Gráfico de dispersión para determinar la homocedasticidad de la varianza, flexión de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)*



Nota. Resultado estadístico de Informe de final tesis del Adobe Ecológico.

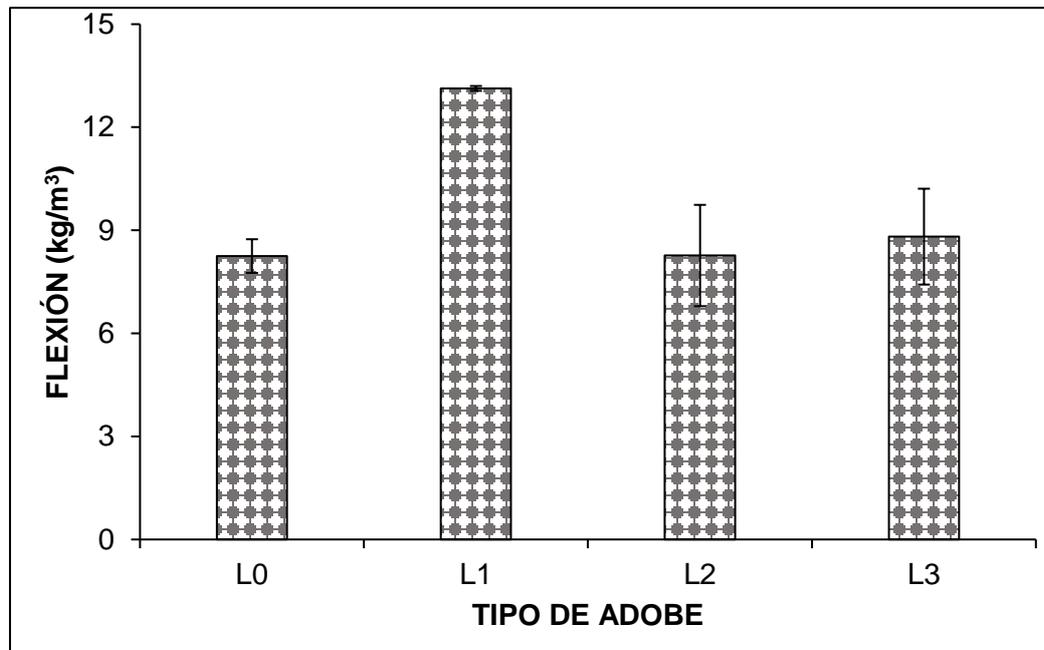
El gráfico plasmado en la **figura 46** nos muestra una distribución aparentemente heterogénea de los residuos, es decir, estos forman alguna especie de patrón con valores comprendidos +3 y -3. Ante lo visualizado en la presente gráfica se procede a no validar el supuesto de homocedasticidad de la varianza.

Debido a que no se pudo validar el supuesto de homocedasticidad de la varianza se procedió a realizar la transformación de datos mediante la raíz cuadrada y logaritmo en base 10, sin embargo, no se logró verificar dicho supuesto, por lo que se procedió a invalidar el análisis

de varianza obtenido para los resultados, es decir, que no se determinaron diferencias significativas entre los niveles del factor en análisis.

Figura 47

Flexión de los adobes ecológicos



Nota. Resultado estadístico de informe de final tesis del adobe ecológico.

De manera descriptiva se puede observar en la **figura 47**, que L1 presentó un mayor valor de flexión con respecto a los demás adobes, sin embargo, no se puede concluir que este es significativamente mayor a los demás.

5.2.3. Absorción del agua de los adobes ecológicos elaborados a partir de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Se determinó que la variable respuesta o variable dependiente en este planteamiento es la **absorción del agua**, mientras que, la variable independiente o factor es el **adobe ecológico elaborado a partir de diferentes concentraciones de mucílago de penca de tuna (0%, 20%, 30% y 50%)**. Ver **ANEXO 3**.

En cuanto a los datos obtenidos para la variable respuesta, se encuentran plasmados en el **ANEXO 3** tras visualizar una repetición para los resultados en función a cada nivel del factor, al comportamiento de los datos y el objetivo planteado por el investigador, se procedió a realizar un análisis de regresión lineal entre las variables planteadas. Cabe mencionar que como variable independiente se utilizó el porcentaje de mucílago de penca utilizado en la formulación de adobe, esto con el fin de responder a la respuesta establecida en el objetivo específico.

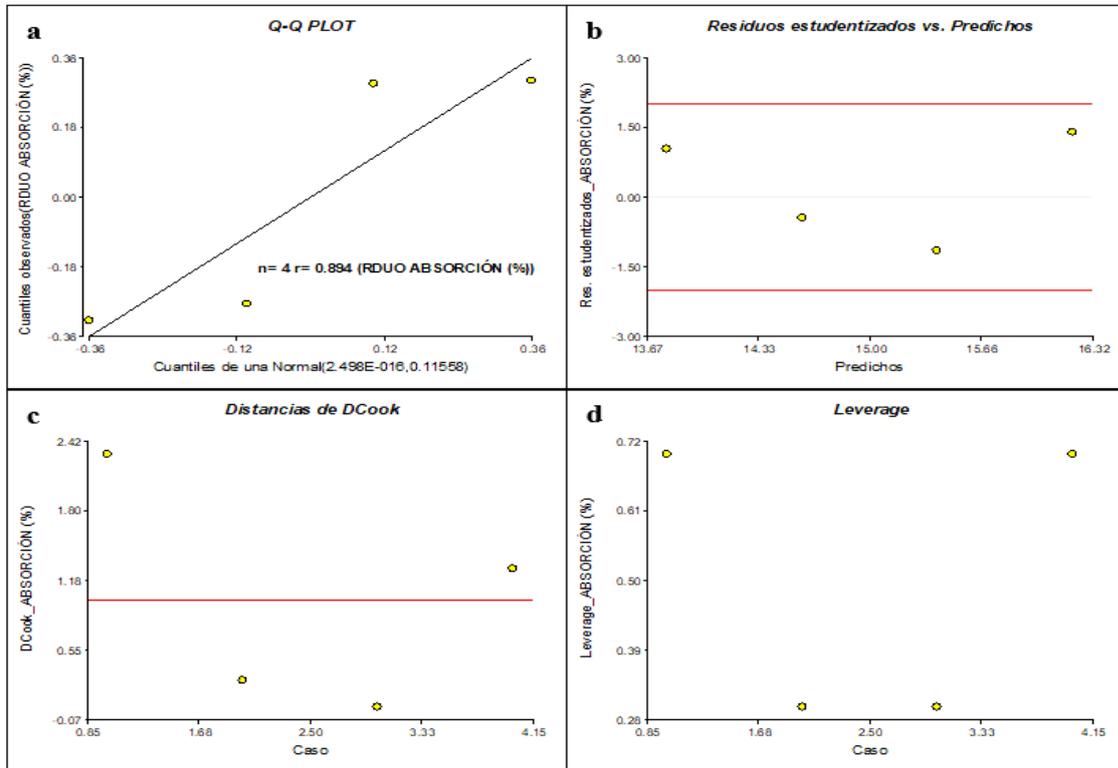
Validación de supuestos

El primer supuesto por analizar viene a ser la normalidad, en la **figura 48.a** se observa en el gráfico denominado *Q-Q plot*, elaborado a partir de los residuos del modelo de regresión, que el coeficiente de regresión de la gráfica es muy cercano a 1 (0.894), por lo que se acepta que los datos presentan una distribución normal, en seguida se analiza el gráfico de *Residuos estudentizados vs. Predichos*, este gráfico se encuentra en la **figura 48.b** y se va a analizar el supuesto de homocedasticidad de la varianza, la gráfica nos muestra que la dispersión de puntos no muestra patrón que indique falta de cumplimiento a la homogeneidad de varianzas, luego se procede a evaluar los gráficos de *distancias de DCook* (**parte c**) y gráfico de *Leverage* (**parte d**), para el gráfico de *distancias de DCook* lo ideal es que no existan puntos por encima de la línea roja, sin embargo, se puede observar que sólo dos puntos están por fuera de la línea roja el cual representa exactamente el 50% de los datos, sin embargo, en el gráfico de *Leverage* no llega a aparecer la línea roja que determina los límites, por lo que según este gráfico no hay valores atípicos que afecten los resultados del modelo generado.

En general se observa que los datos cumplen con el supuesto de normalidad y homocedasticidad, en cuanto al análisis de los gráficos que muestran los valores atípicos o extremos una de las pruebas indica que existe un valor atípico afectando los resultados del modelo, por lo que se continúa con el análisis de regresión lineal.

Figura 48

Validación de los supuestos para el análisis de regresión lineal



Nota. Resultado estadístico de informe de final tesis del adobe ecológico.

5.2.4. Análisis de regresión lineal

Tabla 28

Análisis de regresión lineal

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>ECMP</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>
ABSORCIÓN (%)	4	0.90	0.86	1.36	7.57	5.73

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

<u>Coef</u>	<u>Est.</u>	<u>E.E.</u>	<u>LI(95%)</u>	<u>LS(95%)</u>	<u>T</u>	<u>p-valor</u>	<u>CpMallows</u>	<u>VIF</u>
const	16.25	0.36	14.72	17.78	45.65	0.0005		
MUCILAGO	-0.05	0.01	-0.10	-3.7E-04	-4.33	0.0493	18.79	1.00

Nota. Resultado estadístico de Informe de final tesis del Adobe Ecológico.

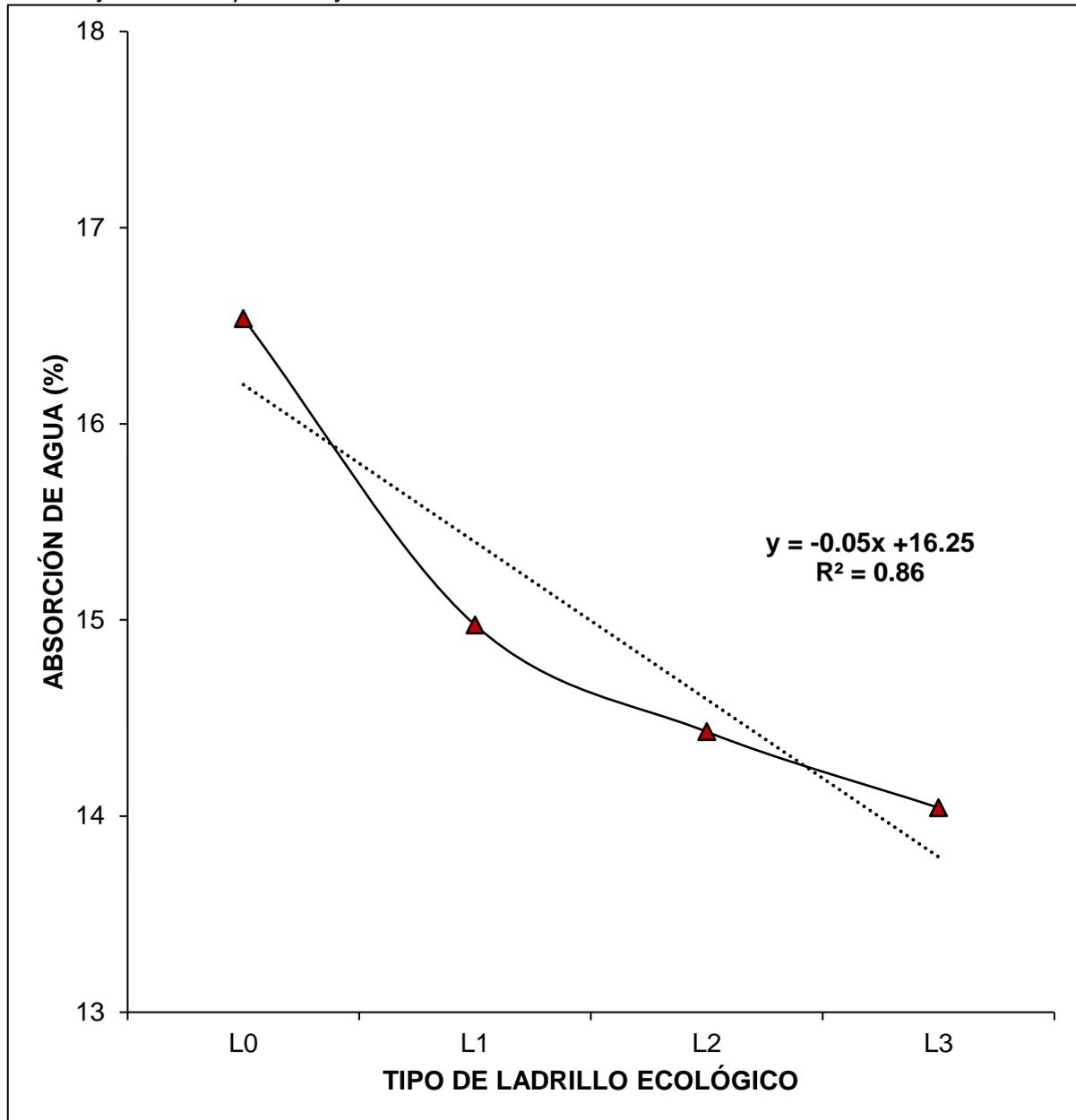
El encabezamiento del análisis de regresión lineal indica que la variable dependiente es la absorción de agua, que el número de pares de datos utilizados es 4, que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.90 y que la versión ajustada (R^2 Aj) da un valor de 0.86, el cuál es muy cercano a 1.

En el apartado de coeficientes de regresión y estadísticos asociados se puede observar la pendiente estimada, esta aparece en la línea correspondiente a la variable regresora (Mucílago). Su valor es “-0.05” y para verificar que la pendiente es distinta de 0 se analiza el p-valor correspondiente a la variable regresora, se observa que el valor es de 0.04 por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 (la cual indica que la pendiente real es igual a 0), si la pendiente estimada fuera cero entonces diríamos que no importa cuál sea la dosificación de mucílago en la producción de adobe por analizar ya que el valor de la absorción de agua permanecerá constante, en general se puede acotar que la pendiente de “-0.05” es estadísticamente distinta de cero y por lo tanto a mayor dosificación de mucílago el porcentaje de absorción de agua decrece y ese decaimiento es de 0.05 unidades del porcentaje de absorción de agua por cada unidad de dosificación de mucílago utilizado, en este apartado también se analiza en valor constante de la ecuación generada, el cual corresponde a 16.25, al igual que con la pendiente se procede a analizar el p-valor, este es menor a 0.05 por lo que se rechaza la H_0 y se verifica que esta constante es diferente de 0, se observa también que los errores estándar son relativamente bajos. De este apartado se observa que el valor de C_p Mallows es de 18.79 para la variable independiente, lo cual evidencia la importancia de esta variable en el modelo generado y por último se visualiza que el factor de inflación de varianza (VIF) es uno lo que demuestra que el modelo presenta un alta multicolinealidad (fuerte relación entre las variables explicativas del modelo).

En función a los resultados, podemos decir que existe una regresión lineal entre la dosificación de mucílago de penca (MP) y el porcentaje absorción de agua (%A), dicho comportamiento corresponde a la siguiente ecuación: $\%A = 16.25 - 0.05(MP)$

Figura 49

Recta ajustada del porcentaje de absorción en función del adobe



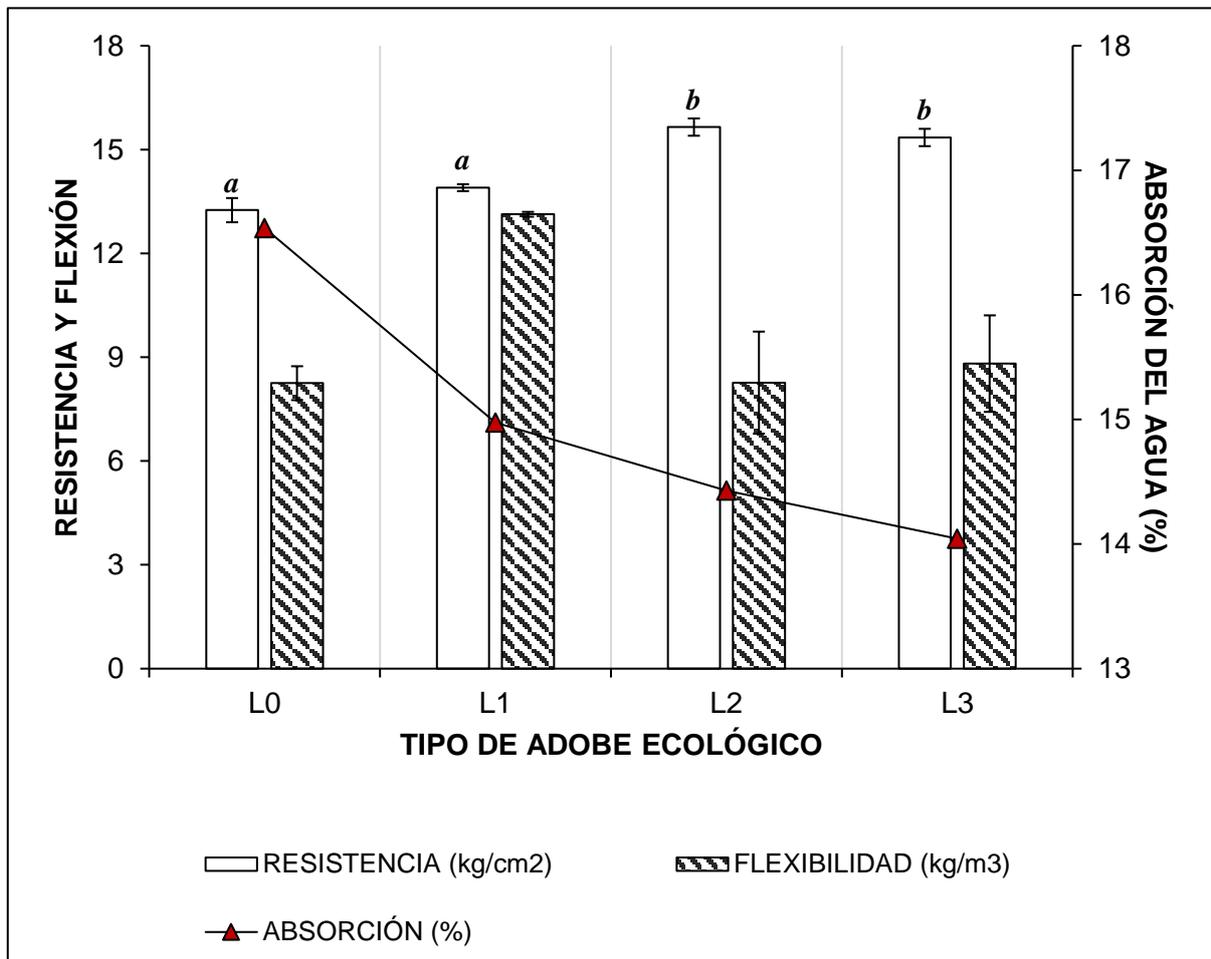
Nota. Resultado estadístico de Informe de final tesis del Adobe Ecológico.

En la **figura 49**, se observa la gráfica de la recta ajustada con su respectiva ecuación y R^2 ajustado, en el eje de las abscisas se colocó el tipo de adobes, ya que cada uno representa un porcentaje de aplicación o dosificación del mucílago de la penca, variable que fue adaptada para fines del análisis de regresión lineal.

5.2.5. Análisis de datos en función al desarrollo del objetivo general u objetivo específico

Figura 50

Variables analizadas según el tipo de adobe ecológico



Nota. Las medias con una letra en común no son significativamente distintos ($p > 0.05$)

La figura 50 es un gráfico que puede ser utilizado para responder el objetivo específico número 3 y ser analizado de manera descriptiva en función a la morfología de cada ladrillo o de lo contrario utilizarlo de como una visualización general e integral (en respuesta el objetivo general) de los resultados obtenidos para cada adobe ecológico.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

En la hipótesis general del presente trabajo de investigación se señaló que los adobes ecológicos a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) cumplirán con las características mecánicas óptimas para su uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta; según los resultados del trabajo experimental, se demostró que efectivamente la producción y por ende la resistencia a la compresión, flexión y absorción de agua del adobe ecológico a base de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) varió según las cuatro mezclas estudiadas como tratamiento; resultado que fue validado estadísticamente con el análisis de varianza (ANOVA), regresión lineal para un valor de α igual a 0.05 ($\alpha=0.05$), lo cual permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Paso 1: Las características de las propiedades físico, químicas, mecánicas del adobe ecológico elaborados a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) serán significativamente iguales a los adobes elaborados como control.

Los resultados experimentales se demuestran que no son iguales el adobe ecológico posee mejor calidad de resistencia, flexión y absorción de agua, según pruebas de calidad de adobe que se hizo en el laboratorio.

Paso 2 La tercera hipótesis específica fue que, el valor de resistencia a la compresión mostrado por adobe ecológico excede la normativa vigente y está cerca de los valores obtenidos con el adobe de control. Los resultados experimentales se demuestran que: el valor de resistencia a la compresión en promedio fue de 15.7 kg/cm^3 , el cual supera al adobe de control que es de 13.3 kg/cm^3 y a la normativa vigente que se considera como esfuerzos mínimos de $W=12 \text{ kg/cm}^3$ como resistencia a la compresión de la unidad.

El valor de flexión mostrado por el adobe ecológico excede la normativa vigente y está cerca de los valores obtenidos con el adobe de control. Según los resultados se determinaron que;

el adobe L1 tiene mayor la resistencia a la flexión y/o, teniendo 13.13 Kgf/cm² sobre el adobe convencional y en comparación a la norma vigente.

La absorción de agua se reduce hasta en un 30% promedio en el adobe ecológico al variar la cantidad de mucilago de (*Opuntia ficus-indica*) en la mezcla de materiales.

Los resultados experimentales, demuestran que todas las muestras de adobes se reducen aún más del 30%, por ejemplo, el adobe convencional permitió una absorción de agua de 16.5%, el adobe tipo L1 se redujo hasta en un 15.0 % su absorción de agua, el adobe tipo L2 se reduce hasta en un 14.4 % promedio y, el adobe tipo L3 se reduce hasta en un 14.0 % de absorción de agua.

Paso 3: La óptima proporción de arcilla, arena, papel y penca en la elaboración de los adobes ecológicos de calidad a base de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) se aplicará en el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta y según los resultados experimentales, se demuestra que sería el adobe Tipo L2.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Basándonos en los resultados experimentales se determinó que el adobe ecológico de la investigación tiene las mejores características mecánicas para la construcción de viviendas unifamiliares es del tipo L2 y L3, el cual tuvo como valor de resistencia promedio de 15.6 kg/cm² y 15.35 kg/cm² respectivamente con una flexión de L1 fue de 13.13 Kgf/cm² teniendo mayor fuerza de flexión que los demás.

Coincidiendo con la tesis “Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea” evaluó la resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con adición de 8% y 10% de ceniza de biomasa arbórea (eucalipto).

Los resultados obtenidos del ensayo a compresión. La muestra patrón presentó una resistencia de 12.62 kg/cm², la cual supera de manera satisfactoria la resistencia mínima que indica la Norma Técnica E.080. La resistencia a flexión del adobe compactado con 8% y 10%

de ceniza de biomasa arbórea fue de 3.82 kg/cm² y 3.69 kg/cm² respectivamente, la cual contrástando con la resistencia 13.13 kgf/cm² obtenida de nuestra investigación, refleja una variación mayor, por lo que es más viable la construcción de adobe con la penca de tuna.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (El autor se responsabiliza por la información emitida en el informe)

El presente trabajo de investigación no incluye seres humanos y/o animales y los resultados del experimento traen beneficios, para la sociedad del distrito de Obrajillo y sin ningún impacto negativo al ambiente, las ejecuciones de los experimentos en el laboratorio se tomaron en cuenta las medidas de bioseguridad según el manual de la OMS, aún más con la coyuntura que vivimos (SARC COVID 19). Además, está basado en conocimientos de artículos científicos citados en la referencia.

VII. CONCLUSIONES

- Todas las muestras de adobes poseen propiedades fisicoquímicas, mecánicas similares.
- Los adobes ecológicos denotados como L2 y L3 (con dosificaciones del 30% y 50% de mucílago de penca de tuna (*Opuntia Ficus-indica*), respectivamente) demostraron tener una resistencia a la compresión significativamente mayor a la obtenida por los otros dos adobes ecológicos (L0 y L1).
- El adobe ecológico L1 demostró tener una mayor flexión con respecto a los demás adobes ecológicos (L0, L2 y L3), sin embargo, no se demostraron diferencias significativas entre los niveles de las flexiones.
- Se concluye que el adobe ecológico de mejor calidad con la proporción de papel, arcilla y arena es el L3 compuesto por 50% de mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*).

VIII. RECOMENDACIONES

- Recomendar al instituto de Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), realizar capacitaciones en elaboración de adobes ecológicos en base a los resultados obtenidos a los pobladores de Obrajillo.
- Investigar el comportamiento del adobe mediante otros tipos de residuos como plásticos, residuos de losetas, residuos inertes o naturales de bajo costo económico que aumente la resistencia del barro para mejorar la construcción de viviendas unifamiliares.
- Determinar la resistencia a la flexión sobre diferentes polímeros naturales y residuales a diferentes porcentajes de concentraciones.
- Evaluar la resistencia a la compresión puesto que este parámetro es muy importante para darle calidad al adobe ecológico.
- Se recomienda realizar un análisis integral de los resultados obtenidos a partir del procesamiento estadístico realizado en función de cada variable respuesta considerada en la presente investigación, con la finalidad de poder determinar la **“mejor calidad”** para la producción de adobes ecológicos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDINA. (2018). Gobierno reconstruye 552 viviendas rurales afectadas por El Niño costero. Retrieved from <https://andina.pe/agencia/noticia-gobierno-reconstruye-552-viviendas-rurales-afectadas-por-nino-costero-696845.aspx>

Becerra, G. (1994). Nopal verdura *Opuntia* spp: Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. In Nopal verdura *Opuntia* spp: Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. CONAZA.

Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 51, 142–161.

Benites Zapata, V. B. (2017). Adobe estabilizado con extracto de cabuya (*Furcraea andina*).

Berrilla, C. N. (1998). Manual Técnico del cultivo de la tuna y crianza de la cochinilla. Edigraber. Lima, Perú.

Bolaños Rodríguez, J. (2016). Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna.

Bravo, H. (1991). Las Cactaceas en México. In Biblioteca de Ciencias.

Cabo Laguna, M. (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. Universidad Pública de Navarra.

Calle, L. (2015). Descubriendo Hojas. Retrieved from <https://descubriendohojas.blogspot.com/2015/09/viaje-canta-2-parte-obrajillo.html>.

Cevallos, C. (2015). Análisis estructural de un albergue comunitario a base de adobe tecnificado, en la comunidad La Moya perteneciente a la parroquia Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo y su incidencia en el comportamiento estructural sismo resistente.

Córdova Martínez, H. J. (2006). Lineamientos para el desarrollo del distrito de Canta, departamento de Lima.

Coronado Márquez, A. (2009). Aditivos derivados del nopal para la modificación de las propiedades mecánicas de los morteros.

Costi de Castrillo, Maria, Philokyrou, M., & Ioannou, I. (2017). Comparison of adobes from pre-history to-date. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 12, 437–448.

De la Peña, D. (1997). Adobe, características y sus principales usos en la construcción. México: Instituto Tecnológico de La Construcción.

Delgado, M. C. J., & Guerrero, I. C. (2006). Earth building in Spain. *Construction and Building Materials*, 20(9), 679–690.

El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbj, M., Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19(9), 14879–14901.

Floess, E. (2017). Measuring Emissions from Brick Kilns Using a Portable Dilution Samper. México: 3er Foro Latinoamericano Para el Diseño de Estrategias Transformacionales del Sector Ladrillero, Políticas Públicas, Medio Ambiente, Desarrollo y Economía.

García Cruz, E. E. (2011). Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas.

Gil Lozano, J. P. (2018). Diseño de un biofiltro mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para remover arsenico. Universidad San Pedro.

Gonzales, X. (2011). El plástico del nopal (Una alternativa sustentable) (In Spanish). Retrieved from https://feriadelasciencias.unam.mx/%0Aanteriores/feria21/feria118_01_el_plastico_del_nopal_una_alternativa_sustentable.pdf.

Griffith, M. P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91(11), 1915–1921.

Guardia, M. (2009). Química 2 bachillerato. Editorial Santillana Educación, 408.

Guerrero Baca, L. F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Apuntes*, 20(2), 182–201.

Guillen, J., & Rojas-Valencia, M. N. (2019). Study of the properties of the Echerhirhu-Block made with *Opuntia ficus* mucilage for use in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials*, 10, e00216.

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In Metodología de la investigación. <https://doi.org/10.1016/S978-92-75-32913-9>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología de la investigación, editorial Mcgraw Hill. México, DF.

Hugo, H., & Hubert, G. (1994). *Earth Construction A Comprehensive Guide*. UK: Intermediate Technology Publications.

Idrogo Sempertegui, S. D. (2018). Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea.

Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. C. (2013). Overview of the pathology, repair and strengthening of adobe structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 7(2), 165–188.

Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. C. (2014). Adobe bricks under compression: experimental investigation and derivation of stress–strain equation. *Construction and Building Materials*, 53, 83–90.

INEI. (2018). Instituto Nacional de Estadística. Residuos Sólidos <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/c-residuos-10291/> [Consultado En 12/07/2018].

Kiesling, R. (1998). Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 3, 50–59.

Kouakou, C. H.; Morel, J. C. (2009). Strength and elasto-plastic properties of non-industrial building materials manufactured with clay as a natural binder. *Applied Clay Science*, 44(1-2), 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.12.019>

Lenci, S., Piattoni, Q., Clementi, F., & Sadowski, T. (2011). An experimental study on damage evolution of unfired dry earth under compression. *International Journal of Fracture*, 172(2), 193–200.

León, O. (1997). Obtención de zumo de tuna (*Opuntia ficus-indica* Miller) Clarificado por Vía Enzimática.

Linnaeus, C. von. (1753). *Species Plantarum* 1 (1). Laurentius Salvius, Stockholm.

López Piñero, J. M., y Pardo-Tomás, J. (1994). Nuevos materiales y noticias sobre la Historia de las Plantas de Nueva España, de Francisco Hernández. CSIC-UV-Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero (IHMC).

Machuca, R., y Oswaldo, R. (2014). Cálculo de daños económicos potenciales en viviendas por inundaciones durante la ocurrencia del fenómeno El Niño: caso norte peruano. Tesis para optar el título profesional de Economía. Universidad Nacional del Callao.

Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). A review of rammed earth construction. Innovation Project “Developing Rammed Earth for UK Housing”, Natural Building Technology Group, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath.

Medjo Eko, R., Dieudonné Offa, E., Yatchoupou Ngatcha, T., & Seba Minsili, L. (2012). Potential of salvaged steel fibers for reinforcement of unfired earth blocks. *Construction and Building Materials*, 35, 340–346.

Mesbah, A., Morel, J. C., Walker, P., & Ghavami, K. (2004). Development of a direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(1), 95–98.

Miguel Ángel, R. P. (2011). Deterioro y estabilización del Adobe. Instituto Politécnico Nacional. México.

Millán Salamán, E. S. (2007). Obtención de salsa de tuna (*Opuntia ficus*) estabilizada. Universidad Nacional del Centro del Perú.

MINAM. (2014). Manual de Cactus. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wpcontent/uploads/sites/21/2014/02/manual+de+cactus.compressed.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017). Norma Técnica E.080, Diseño y construcción con tierra reforzada. Anexo Resolución Ministerial N° 121-2017, Vivienda.

Minke, G. (2000). *Earth construction handbook: the building material earth in modern architecture*. WIT press Southampton.

Minke, G. (2012). *Building with earth: design and technology of a sustainable architecture*. Walter de Gruyter.

Morales, R., Torres, R., Rengifo, L., y Irala, C. (1993). *Manual para la construcción de viviendas de adobe*. Lima, Peru.

Morel, J.-C., Pkila, A., & Walker, P. (2007). Compressive strength testing of compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 21(2), 303–309.

Ngowi, A. B. (1997). Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. *Construction and Building Materials*, 11(1), 1–7.

Nobel, P. S., Cavelier, J., & Andrade, J. L. (1992). Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue 5. *Journal of Experimental Botany*, 43(5), 641–648.

Norma Técnica E.080.2017, Diseño y construcción con tierra reforzada. Anexo Resolución Ministerial N° 121-2017/ Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

NTP 339.134:1999, SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS). 1° Edición. 2014/ CRT-INDECOPI.

NTP 399.604.2002. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestro y ensayo de unidades de albañilería de concreto. 1° Edición R. 2002/ CRT-INDECOPI.

NTP 339.613.2003. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de prismas de albañilería. INDECOPI, 2003.

Ojeda Untiveros, W. J., & Huamán Challco, M. (2016). Análisis de la resistencia a compresión del concreto $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ adicionado con fibra de *Opuntia Ficus Indica* (tuna) en la ciudad del Cusco. Universidad Andina del Cusco.

Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519.

Padfield, T. (1998). The role of absorbent building materials in moderating changes of relative humidity. Department of Structural Engineering and Materials, Lyngby, Technical University of Denmark, 150.

Parra-Saldivar, M. L., & Batty, W. (2006). Thermal behaviour of adobe constructions. *Building and Environment*, 41(12), 1892–1904.

Pengelly, A. (2004). The constituents of medicinal plants: an introduction to the chemistry and therapeutics of herbal medicine. CABI Publishing.

Piattoni, Q., Quagliarini, E., & Lenci, S. (2011). Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks. *Construction and Building Materials*, 25(4), 2067–2075.

Pulgar, J. (1992). 123 frutales nativos. Publicación de La Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima–Perú.

Pulido Velasco, J. A., y Quintero Lopez, M. C. (2017). Estudio de localización y diseño de planta en la asociación de ladrilleras de Palmira para el mejoramiento de la seguridad y salud en el trabajo.

Quagliarini, E, D’Orazio, M., & Lenci, S. (2015). The properties and durability of adobe earth-based masonry blocks. In *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks* (pp. 361–378). Elsevier.

Quagliarini, Enrico, & Lenci, S. (2010). The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks. *Journal of Cultural Heritage*, 11(3), 309–314.

Ramírez Pacheco, M. Á. (2011). Deterioro y Estabilización del adobe. Instituto Politécnico Nacional. México.

Revuelta Acosta, J. D., Garcia-Diaz, A., Soto-Zarazua, G. M., & Rico-Garcia, E. (2010). Adobe as a sustainable material: A thermal performance. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, 10(19), 2211–2216.

- Sáenz, H., & Sepúlveda, E. (2001). Ecotipos coloreados de tuna (*Opuntia ficus indica*).
- Sáenz Hernández, C. L. (2006). Utilización agroindustrial del nopal.
- Sánchez, K. (2010). Propuesta de aditivos naturales y microfibras de papel para reparar fisuras en muros de monumento históricos de tierra.
- Sudzuki, F., Muñoz, C., y Berger, H. (1993). El cultivo de la tuna cactus pear. Universidad de Chile. In Santiago.
- Sudzuki, H. F. (1999). Anatomía y morfología, cap. 4. Agroecología, Cultivo y Usos Del Nopal. Producción y Protección Vegetal. FAO. Roma, Italia, 29–36.
- Supo, J. (2012). Seminarios de investigación científica. Tipos de investigación. Recuperado de <http://seminariosdeinvestigacion.com/tipos-de-investigación>
- Ugaz P, R. M., Tupia C., C., y Alva H., J. E. (2011). Ensayos de estabilización de suelos con el aditivo RBI-81.
- Vargas, J., Heredia, E., Bariola, J., y Mehta, P. (1986). Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas. Lima, Peru: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Venero, C., Danilo, C., y Romero Cuentas, V. I. (2017). Estudio comparativo de las propiedades físico mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto.
- Vilela Mora, D. E., y Gahona Pacheco, J. E. (2010). Estabilización de suelos dirigida a la fabricación de bloques de adobe propuesta metodológica.
- Yan, A.-M., Kerschen, G., De Boe, P., & Golinval, J.-C. (2005). Structural damage diagnosis under varying environmental conditions-part I: a linear analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 19(4), 847–864.
- Yetgin, Ş., Çavdar, Ö., & Cavdar, A. (2008). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. *Construction and Building Materials*, 22(3), 222-227.

ANEXOS

ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

"ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA (<i>Opuntia ficus-indica</i>) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES, OBRAJILLO, CANTA, 2020"																						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES E INDICADORES			METODOLOGÍA																
<p>¿Cuál será la formulación óptima en la elaboración de adobes ecológicos a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta?</p> <p>PROBLEMA ESPECÍFICO P.1 ¿Qué características fisicoquímicas y mecánicas tendrá el adobe ecológico? P.2 ¿Cuál será el valor de resistencia a la compresión, valor de la flexión y el valor de la absorción de agua de los diferentes adobes ecológicos elaborados a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)? P.3 ¿Cuál será la mejor proporción de papel, arcilla y arena en la aplicación de adobes ecológicos de calidad a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)?</p>	<p>Evaluar la calidad de adobes ecológicos a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) para el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta.</p> <p>OBJETIVO ESPECÍFICO O.1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del adobe ecológico. O.2. Determinar el valor de resistencia a la compresión, valor de la flexión y el valor de la absorción de agua de los diferentes adobes ecológicos elaborados a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>). O.3. Aplicar la mejor proporción de papel, arcilla y arena en la elaboración de adobes ecológicos de calidad a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).</p>	<p>Los adobes ecológicos a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) cumplirán con las características mecánicas óptimas para su uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta.</p> <p>HIPOTESIS ESPECÍFICO H.1. Las características de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del adobe ecológico elaborados a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) serán significativamente iguales a los adobes elaborados como control. H.2. El valor de resistencia a la compresión, el valor de flexión y el valor de la absorción de agua que presentan los diferentes adobes ecológicos de calidad elaborados a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>), serán significativamente iguales a los adobes elaborados como control. H.3. La óptima proporción de arcilla, arena, papel y penca de tuna en la elaboración de los adobes ecológicos de calidad a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) se aplicará, en el uso en la construcción de viviendas unifamiliares, Obrajillo, Canta.</p>	<p>V1: Adobe ecológico a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).</p> <p><u>Definición Conceptual</u> El adobe como unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad, este tipo de material puede ser mejorado con mucilago como sustancia polimérica compleja con una estructura altamente ramificada, un hidrocoloide soluble en agua, capaz de modificar sus propiedades reológicas del adobe. La NT E.080 (Ministerio de Vivienda, 2017).</p> <p><u>Definición Operacional</u> Es una mezcla sólida de tierra de chacra, mas ichu, y un conglomerado de arena, arcilla, papel picado, añadiéndole mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>), para luego evaluar sus propiedades fisicomecánicas, y la obtención de los adobes ecológicos.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DIMENSIONES</th> <th>INDICADORES</th> <th>item</th> <th>Und.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">D.1 Componentes del Adobe</td> <td rowspan="3">Variación de materiales en la mezcla de adobe</td> <td>L0: Adobe convencional</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L1: 40% de arena+ 10% de arcilla+ 30% de papel+ 20% de mucilago</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>L2: 15% de arena+ 25% de arcilla+ 30% de papel+ 30% de mucilago</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>L3: 20% de arena+ 10% de arcilla+ 20% de papel+ 50% de mucilago</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>			DIMENSIONES	INDICADORES	item	Und.	D.1 Componentes del Adobe	Variación de materiales en la mezcla de adobe	L0: Adobe convencional		L1: 40% de arena+ 10% de arcilla+ 30% de papel+ 20% de mucilago	%	L2: 15% de arena+ 25% de arcilla+ 30% de papel+ 30% de mucilago	%			L3: 20% de arena+ 10% de arcilla+ 20% de papel+ 50% de mucilago	%	<p>METODOLOGÍA</p> <p>Tipo de investigación Explicativo, prospectivo, longitudinal y analítico</p> <p>Diseño de Investigación Experimental</p> <p>Método Cuantitativo</p> <p>Población 100 % (40 unidades) de adobes ecológicos elaborados en el centro poblado de Obrajillo.</p> <p>Muestra 16 adobes ecológicos a base de mucilago de penca de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>).</p> <p>Técnicas e Instrumentos de Investigación -Observación experimental -Ensayo de granulometría por tamizado -Ensayo de contenido de humedad -Prueba de presencia de arcilla -Ensayos de laboratorio</p> <p>Plan de Análisis de datos -Diseño completamente aleatorizado (DCA) mediante el análisis de varianza de una vía (ANOVA-1), homocedasticidad de la varianza. Se desarrolló en el software estadístico INFOSTAT versión 2019</p>
DIMENSIONES	INDICADORES	item	Und.																			
D.1 Componentes del Adobe	Variación de materiales en la mezcla de adobe	L0: Adobe convencional																				
		L1: 40% de arena+ 10% de arcilla+ 30% de papel+ 20% de mucilago	%																			
		L2: 15% de arena+ 25% de arcilla+ 30% de papel+ 30% de mucilago	%																			
		L3: 20% de arena+ 10% de arcilla+ 20% de papel+ 50% de mucilago	%																			
<p>V2: Uso en la construcción de viviendas unifamiliares</p> <p><u>Definición Conceptual</u> Es el conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular. (Definiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica G040).</p> <p><u>Definición Operacional</u> Las construcciones alto andinas están sujetas, a cambios en el entorno, variabilidades climáticas que afectan las características técnicas de los materiales a usarse.</p>			<table border="1"> <tbody> <tr> <td rowspan="2">D.2 Características técnicas</td> <td>Resistencia me</td> <td>Compresibilidad del material</td> <td rowspan="2">KN m3</td> </tr> <tr> <td>Resistencia físic</td> <td>Flexión del material</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Absorción de agua</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>	D.2 Características técnicas	Resistencia me	Compresibilidad del material	KN m3	Resistencia físic	Flexión del material			Absorción de agua	%									
D.2 Características técnicas	Resistencia me	Compresibilidad del material			KN m3																	
	Resistencia físic	Flexión del material																				
		Absorción de agua	%																			

ANEXO 2 RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO

PRUEBA DE ABSORCIÓN



(011) 467 2237 / 989 349 903
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,
 San Martín de Porres - Lima
 informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

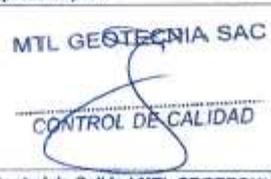
**CERTIFICADO DE ENSAYO
ABSORCIÓN**

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS
 NTP 388.813 / NTP 399.504

REFERENCIA	Datos de referencia		
SOLICITANTES	Insa Herreros Mejvador Cruz / Elizabeth Ortega Pichuasi / Dorotea Quispe Purucaya		
TESIS	"ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCILAGO DE PENCA DE TUNA (Caseta Inca Inca) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS"		
UBICACIÓN	Lima	Fecha de emisión:	02/11/2020
TIPO	ADOBE ECOLÓGICO		

IDENTIFICACIÓN	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (24 hrs) (g)	ABSORCIÓN (%)
ADOBE CONVENCIONAL	7190	8378	16.5
L1	7312	8062	15.0
L2	7713	8828	14.4
L3	8851	7985	14.0

OBSERVACIONES:
 * Muestras identificadas por el solicitante
 * Prohíbese la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

<p>Elaborado por:</p>  <p style="text-align: center;">Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p>  <p style="text-align: center;">Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p style="text-align: center;">Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
--	--	---

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



(511) 457 2237 / 985 349 903
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos.
 San Martín de Porres - Lima
 informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LTC-AL-048
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/09/2019

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
 NTP 399.613: 2005

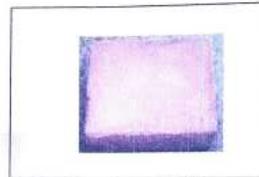
REFERENCIA	DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	Jrma Herminia Melendez Cruz / Elizabeth Charaja Pashuan / Dorotea Quispe Pumacayo
TESIS	"ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA (Opuntia ficus-indica) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES, OBRAJILLO, SANTA 2020"
UBICACIÓN	LIMA
	Fecha de ensayo: 03/11/2020

TIPO: ADOBE ECOLÓGICO

IDENTIFICACION	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	A (cm ²)	W (Kg)	C (kg/cm ²)
ADOBE CONVENCIONAL	7.0	7.0	49	634	12.9
ADOBE CONVENCIONAL	7.0	7.1	50	676	13.6
L1	7.0	7.0	49	676	13.8
L1	7.0	7.0	49	686	14.0
L2	7.0	7.1	50	788	15.9
L2	7.0	7.0	49	756	15.4
L3	7.1	7.0	50	750	15.1
L3	7.0	7.1	50	774	15.6

FORMULA: $C = \frac{W}{A}$

DOBLE:
 C = Resistencia compresión del espécimen, Kg/cm².
 W = Máxima carga en Kg., indicada por la máquina de ensayo.
 A = Proceso del área bruta en Cm².



- OBSERVACIONES:**
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.
 - * Se realizó el refrentado con yeso nacional y cemento.
 - * El ensayo a la compresión se realizó sobre muestra entera.

 Elaborado por: Jefe de Laboratorio	Revisado por: MTL GEOTECNIA S.A.C. Suelos, Control de Calidad Ing. WILSON HERRERA INGENIERO CIVIL C.P. N° 21495	Aprobado por: MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
---	--	--

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN



(511) 457 2237 / 989 349 903
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,
 San Martín de Porres - Lima
 informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	Código	FDR-LTC-AL-049
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/08/2019

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y ALBAÑILERÍA
 NTP 399.613 - ASTM C87

REFERENCIA: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE: Irma Hernández Meléndez Cruz / Elizabeth Change Pastusán / Dorotea Guispe Pumacayo
TESIS: "ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCILAGO DE PENCA DE TUWA (Opuntia Foua-Indica) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES, OBRASILLO, CANTA, 2020"
UBICACIÓN: LIMA Fecha de ensayo: 10/11/2020

TIPO: ADOBE ECOLÓGICO

IDENTIFICACIÓN	l (mm)	b (mm)	t (mm)	P _u (kg)	M _u (kg/m ²)
IE	247	180	6,90	220	8,74
IO	245	180	7,00	201	7,26
PROMEDIO					8,25

FORMULA:
$$f_b = \frac{3 \cdot P_u \cdot l}{2 \cdot b \cdot t^2}$$

CONDE:
 W = Carga máxima (kg)
 l = Distancia entre apoyos (mm)
 b = Ancho neto (mm)
 t = Espesor (mm)



OBSERVACIONES:
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.
 * El ensayo a la flexión se realizó sobre adobe entero; el reporte de resultados están en unidades de kgf/cm².

Elaborado por: 	Revisado por: 	Aprobado por:
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LTC-AL-049
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/08/2019

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y ALBANILERIA
NTP 399.813 - ASTM C87

REFERENCIA	DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	Area Inicivinda Melendez Cruz / Elizabeth Chanje Pasikuan / Dorotea Quipe Purnecayo
TESIS	ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCILAGO DE PENCA DE TUNA (Opuntia ficus-indica) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS URBANAS, ORRAJILLO, SANTA, 2020
UBICACIÓN	LIMA Fecha de ensayo: 18/11/2020

TPO: ADOBE ECOLÓGICO

IDENTIFICACIÓN	l (cm)	b (mm)	l (mm)	Pu (kg)	M (kg/cm ²)
L1	248	150	6.00	320	13.06
L2	248	150	6.00	334	13.20
PROMEDIO					13.13

FORMULA:
$$f_b = \frac{3 \cdot P_{lu} \cdot l}{2 \cdot b \cdot t^2}$$

DOUCE:

W = Carga máxima (kg)
 l = Distancia entre apoyos (cm)
 b = Ancho neto (mm)
 t = Espesor (mm)



OBSERVACIONES:

- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.
- El ensayo o la flexión se realizó sobre adobe entero; el reporte de resultados están en unidades de kg/cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 MTL GEOTECNIA S.A. LABORATORIO DE MATERIALES	 MTL GEOTECNIA S.A.C. Suelos, Concreto, Asfalto Elmer Moreno Huaman INGENIERO CIVIL	 MTL GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	Código: FORT/TCAL/046			
		Revisado:			
		Aprobado:	C.C. MTL		
		Fecha:	18/03/20		
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y ALBAÑILERÍA NTP 399.012 - ASTM C87					
REFERENCIA	DIFUSOR DE LABORATORIO				
SOLICITANTE	Mta. Renata Alencastro Cruz / Elizabeth Chavez Pacheco / Guillermina Gomez Pomares				
TEMA	ANÁLISIS FÍSICOLOGICO A BASE DE MAJALADO DE PERCHA DE TUBO (Cuerpo Resistente) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES. OBRA N.º 0074. 2007				
UBICACIÓN	LIMA	Fecha de ensayo:	18/03/2020		
UNIDAD ANÁLISIS FÍSICOLOGICO					
ENSAYOS	L	P	h	b	M
	cm	cm	cm	cm	kg/cm ²
1	30	10	30	10	6.75
2	30	10	30	10	6.75
PROMEDIO					6.75
$f_{\text{b}} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2}$					
					
COMENTARIOS					
<ul style="list-style-type: none"> - Principio de reproducción parcial o total de este documento en la subtitulación resulta del área de Control de MTL GEOTECNIA - El acceso a la base de datos sobre estos ensayos, el reporte de resultados están en formato de archivo. 					
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:			
					
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suavado y Paquetado	Control de Calidad MTL GEOTECNIA			

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXION DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA	Código	FOR-LTC-AL-048
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/08/2019

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ALBAÑILERIA
 NTP 339.812 - ASTM C87

REFERENCIA: DATOS DE LABORATORIO
 SOLICITANTE: Lima Herminia Moya de Cruz / Elizabeth Chejwa Pacheco / Dorotea Guispe Paredes
 TESIS: ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCILAGO DE PENCA DE TUNA (Opuntia Ficus-indica) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES, OBRAJILLO, CANTA, 2020.
 UBICACIÓN: LIMA Fecha de ensayo: 10/11/2020

TIPO: ADOBE ECOLÓGICO

IDENTIFICACIÓN	l (cm)	b (cm)	l (cm)	P _u (kg)	W (kg/cm ²)
L1	24.7	9.80	8.80	252	10.21
L2	24.8	9.80	8.75	176	7.42
PROMEDIO					8.82

FÓRMULA:
$$f_n = \frac{3 \cdot P_u \cdot l}{2 \cdot b \cdot l^2}$$

CONDE:
 W = Carga máxima (kg)
 l = Distancia entre apoyos (cm)
 b = Ancho neto (cm)
 = Espesor (cm)



OBSERVACIONES:
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.
 * El ensayo a la flexión se realizó sobre adobe entero; el reporte de resultados están en unidades de kg/cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 MTL GEOTECNIA S.A.C. ENGENIEROS MATERIALES B°	 MTL GEOTECNIA S.A.C. Ingenieros Constructoros Asistidos Eimar Moreno Huaman INGENIERO CIVIL C. P. N. 17066	 MTL GEOTECNIA CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

PRUEBA DE DIMENSIONAMIENTO



(511) 457 2237 / 989 349 903
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,
 San Martín de Porres - Lima
 informes@mtlgeotecniasac.com

www.mtlgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO VARIACIÓN DIMENSIONAL (VD)	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	15/03/2020

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS
 NTP 399.813 / NTP 339.504

REFERENCIA	Datos de laboratorio	Fecha de emisión:	02/11/2020
SOLICITANTES	Irma Herminia Mercedes Cruz / Elizabeth Charayé Paulluán / Dorotea Quispe Funesayo		
TESIS	ADOBE ECOLÓGICO A BASE DE MUCILAGO DE PENCA DE TUNA (Opuntia ficus-indica) PARA EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES, OBRAJILLO, CAJETA, 2020.		
UBICACIÓN	Lima		

DIMENSIONES ESPECÍFICAS:

LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)
36	20	7

TPO: ADOBES ECOLÓGICOS

ESPÉCIMEN	LARGO (cm)	%VD	ANCHO (cm)	%VD	ALTO (cm)	%VD
ADOBE CONVENCIONAL	29.7	1.00	19.6	2.00	7.1	-1.43

ESPÉCIMEN	LARGO (cm)	%VD	ANCHO (cm)	%VD	ALTO (cm)	%VD
L1	29.3	2.33	19.2	4.00	6.6	2.86

ESPÉCIMEN	LARGO (cm)	%VD	ANCHO (cm)	%VD	ALTO (cm)	%VD
L2	36.1	-0.33	19.5	2.50	7	0.00

ESPÉCIMEN	LARGO (cm)	%VD	ANCHO (cm)	%VD	ALTO (cm)	%VD
L3	29.3	2.33	19.7	1.50	6.8	2.86

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

ANEXO 3 ESTADÍSTICOS

Compuestos utilizados para la preparación de los adobes.

LADRILLO	COMPUESTOS				TOTAL
	ARENA	ARCILLA	PAPEL	PENCA	
L0	0	0	0	0	0
L1	40	10	30	20	100
L2	15	25	30	30	100
L3	20	10	20	50	100

Nota. Artículo científico Estudio de las propiedades del Echerhirhu-Block hecho con mucílago *Opuntia ficus-indica* para uso en la industria de la construcción. Autores Javier Guillen Aparicio, Erik García De León Monter, Noemí Ortiz Lara, Ramiro Escudero García, María Neftalí Rojas Valencia.

Datos obtenidos a partir de la resistencia y flexión medida en cada adobe.

LADRILLO	RESISTENCIA (kg/cm ²)	FLEXIBILIDAD (kg/m ³)
L0	12.90	8.74
L0	13.60	7.76
L1	13.80	13.06
L1	14.00	13.20
L2	15.90	6.79
L2	15.40	9.74
L3	15.10	10.21
L3	15.60	7.42

Nota. Resultados de Laboratorio - Resistencia y flexión - MTL GEOTECNIA

Datos obtenidos a partir de la absorción de agua medida en cada adobe.

LADRILLO	ABSORCIÓN (%)
L0	16.537
L1	14.974
L2	14.430
L3	14.043

Nota. Resultados de Laboratorio - Absorción de agua - MTL GEOTECNIA

ANEXO 4 CERTIFICADO DE ISO 9001:2015 DEL LABORATORIO MTL GEOTECNIA

S.A.C.

Certificado PE220819943975

The management system of

MTL GEOTECNIA S.A.C.
Calle La Madrid 264 Asc. Los Olivos, San Martín De Porres,
Lima, Perú.

has been assessed and certified as meeting the requirements of

ISO 9001:2015

For the following activities

**Servicio de laboratorio de ensayos de materiales y muestreo para
suelos, concreto y asfalto.**

**Materials testing and soil sampling laboratory service concrete and
asphalt.**

This certificate is valid from 24 March 2022 until 23 March 2025
and remains valid subject to satisfactory surveillance audits.
Recertification audit due a minimum of 60 days before the expiration date.
Issue 1. Certified since 24 March 2022.

Authorised by

SGS (United Kingdom) Ltd
Rainbow Business Park, Chesham Park, Chesham, Bucks HP8 3JF, UK
T +44 (0)1494 430400 F +44 (0)1494 430400 www.sgs.com

2442, 8081, 2015-0401

Page 1 of 1

This document is a Web version of SGS certificate for electronic use exclusively. It shall only be available by clicking on SGS Certification Menu which has been posted on Your website. It shall not be printed in anyway. This document is copyright protected. No content or appearance may be reproduced without the express written permission of SGS. Any misuse, alteration, forgery or falsification is unlawful.