



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
19 de noviembre del 2025.

C. Francisco Morales Márquez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Fabricación y evaluación de ladrillos ecológicos incorporando el lirio acuático
(Eichhornia crassipes) como material aditivo.

En la modalidad de: Tesis profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dra. Rebeca Isabel Martínez Salinas

Mtro. Daniel Alejandro Gallegos Pérez

M. Sc. Selene Berenice González Morales

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Ccp. Expediente

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LADRILLOS
ECOLÓGICOS INCORPORANDO EL LIRIO ACUÁTICO
(*Eichhornia crassipes*) COMO MATERIAL ADITIVO.**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:

FRANCISCO MORALES MÁRQUEZ

DIRECTORA:

M. SC. SELENE BERENICE GONZÁLEZ MORALES

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. ENERO DE 2026.



DEDICATORIA

A Dios, quien me llevó al límite para entender que su presencia jamás me ha faltado, porque durante mucho tiempo sentí que estaba perdido y que el silencio dolía más que las palabras; sin embargo, cada lágrima, cada noche en vela, cada pérdida y cada caída no fueron señales de abandono, sino herramientas divinas para formarme; le pedí fuerza y me dio batallas, le pedí sabiduría y me dio errores. Hoy comprendo, más que nunca, que era necesario romperme para poder reconstruirme.

A mi padre Rigoberto Morales Fonseca y a mi madre Marissa Beatriz Márquez Álvarez, quienes son los pilares fundamentales de mi vida, porque día con día se esfuerzan incansablemente para ver a sus hijos triunfar. Dedicado a ustedes padres míos por ser parte esencial de quien soy hoy, sin su guía, su entrega y su fe en mí, jamás habría llegado tan lejos.

A mi novia Guadalupe Vila Hernández, quien jamás dejó de creer en mí, su fe inquebrantable fue mi luz en los momentos de mayor dificultad, mi apoyo constante y mi compañera en el camino. Aun cuando no lograba nada, ella siguió a mi lado sin dudar jamás de que alcanzaría mis metas. Dedicado a ti amor porque siempre fuiste mi motivación para conseguirlo.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora M. SC. Selene Berenice González Morales, a mis asesores la Dra. Rebeca Isabel Martínez Salinas y el Mtro. Daniel Alejandro Gallegos Pérez, a quienes les expreso mi más sincero reconocimiento por el valioso tiempo, dedicación y rigor que invirtieron en la revisión y seguimiento de este trabajo, su orientación académica excepcional, junto con su compromiso inquebrantable y profesionalismo, fueron valores fundamentales que no solo enriquecieron este proyecto, sino que transformaron mi visión sobre el ámbito de la investigación.

Agradezco, con profundo respeto, no solo el haber compartido su sabiduría y experiencia, sino también su inmensa paciencia y disponibilidad incondicional en cada fase del proceso. Gracias por inspirarme a superarme, a exigir más de mí y a perseguir siempre la excelencia, este logro es, en gran medida, reflejo de su guía y de su confianza en mí potencial.

ÍNDICE

I.-INTRODUCCIÓN	1
II.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
III.-JUSTIFICACIÓN	11
3.1. Económica.....	11
3.2. Social	13
3.3. Ecológica.....	14
IV.-OBJETIVOS.....	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos específicos	17
V.-HIPÓTESIS.....	17
VI.-MARCO TEÓRICO	18
6.1. Conceptos.....	18
6.2. Antecedentes	22
6.2.1. Antecedentes a Nivel Internacional	25
6.2.2. Antecedentes a nivel nacional.....	26
6.2.3. Antecedentes a nivel estatal	27
6.3. Fundamentación Teórica.....	28
6.3.1. Generalidades del lirio acuático	28
6.3.2. Composición de las raíces.....	31
6.3.3. Métodos de control.....	32
6.3.4. Aprovechamiento del lirio acuático	34
6.3.5. Importancia del aprovechamiento	35
6.3.6. Ladrillos	35
6.3.7. Arcilla	36
6.3.8. Industria ladrillera	37
6.3.9. Características del ladrillo convencional	38
6.3.10. Clasificación	40
6.3.11. Proceso de fabricación del ladrillo.....	41
6.3.12. Alternativas del ladrillo tradicional.....	45
6.4. Ladrillos ecológicos	46
6.4.1. Tipos de ladrillos ecológicos.....	46

VII.-METODOLOGÍA.....	48
7.1. Extracción del lirio acuático	48
7.2. Tratamiento de la especie.....	50
7.3. Humedad.....	51
7.4. Trituración de las fibras	52
7.5. Fabricación de ladrillos ecológicos.....	53
7.5.1. Diseño del ladrillo	53
7.5.2. Adición y mezclado	54
7.5.3. Moldeado y curado.....	55
7.6. Evaluación mecánica	55
7.6.1. Prueba de resistencia a compresión.....	57
7.6.2. Evaluación física	57
7.6.3. Pruebas de absorción.....	58
VIII.-RESULTADOS.....	59
8.1. Humedad.....	59
8.2. Fabricación de los Especímenes	60
8.3. Evaluaciones Físicas	61
8.3.1. Área Neta	61
8.3.2. Peso Volumétrico Neto	64
8.4. Evaluaciones Mecánicas	65
8.4.1. Resistencia a compresión	65
8.4.2. Absorción.....	68
IX.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
X.-CONCLUSIONES	73
XI.-RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes óptimos de sustitución de distintos materiales reciclados.	24
Tabla 2. Peso volumétrico neto mínimo de piezas de ladrillo en estado seco.	41
Tabla 3. Diseño experimental aplicado en la fase de adición del LA.	54
Tabla 4. NTCDCEM a implementar en el proyecto.	56
Tabla 5. Comparativa del peso mojado y peso en seco del lirio acuático.	59
Tabla 6. Peso en kilogramos del LA dosificado para la fabricación de 100 ladrillos.	60
Tabla 7. Resultados obtenidos en las evaluaciones físico-mecánicas.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuerpo de agua afectado por la plaga del LA en la localidad de Cupasmí, Chiapa de Corzo.....	5
Figura 2. Compuertas de la presa obstruida por la especie <i>Eichhornia crassipes</i>	8
Figura 3. Primeras construcciones con ladrillo registrados en la historia.	22
Figura 4. Distribución de lirio acuático en el territorio mexicano.	29
Figura 5. Aprovechamiento potencial de las partes del LA.....	30
Figura 6. Raíces de la especie <i>Eichhornia crassipes</i>	32
Figura 7. Estructura molecular de láminas de arcilla.....	36
Figura 8. Ladrilleras rudimentarias en el estado de Chiapas.	38
Figura 9. Partes geométricas que conforman un ladrillo convencional.	39
Figura 10. Características geométricas de un ladrillo convencional comercializado localmente.	40
Figura 11. Extracción del material arcilloso en depósitos.	42
Figura 12. Mezclado y amasado del material arcilloso.	43
Figura 13. Moldeado a mano de la mezcla arcillosa.....	44
Figura 14. Proceso de curado de los ladrillos.	44
Figura 15. Mapa de la localización del punto de extracción.	48
Figura 16. Ocupación cronológica del LA, en la laguna de Cupasmí.	49
Figura 17. Medición de 1m ² en una zona densamente poblada por la plaga del LA.....	50
Figura 18. Muestra de las fibras del LA pesado en seco.	52
Figura 19. Fibras de LA posterior al proceso de trituración.	52
Figura 20. Diseño geométrico aplicado para los ladrillos ecológicos.	54

Figura 21. Pesado del lirio acuático.....	60
Figura 22. Especímenes fabricados para la realización de pruebas físico-mecánicas.	61
Figura 23. Evaluaciones físicas realizadas a los especímenes.....	62
Figura 24. Pruebas de resistencia a la compresión aplicadas a distintos porcentajes de adición. 66	
Figura 25. Cabeceo aplicado para las pruebas de resistencia a la compresión en especímenes..	66
Figura 26. Determinación de la absorción de los especímenes.	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Resultados de las evaluaciones de área neta.	63
Gráfica 2. Resultados de las evaluaciones de la masa de los especímenes.	64
Gráfica 3. Resistencia a compresión obtenida de los especímenes evaluados.	67
Gráfica 4. Absorción total obtenida en 24 horas de los especímenes evaluados.	69

NOMENCLATURAS

LA: Lirio acuático.

BCA: Bagazo de Caña de Azúcar.

CFE: Comisión Federal de Electricidad.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

IARC: Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer.

IMCO: Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.

REPDA: Registro Público de Derechos de Agua.

INECOL: Instituto de Ecología A.C.

ONNCCE: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CIDETEQ: Centro De Investigación y Desarrollo Tecnológico En Electroquímica, S.C.

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua.

NTCDCM: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

RESUMEN

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una especie exótica invasora que genera diversas problemáticas ecológicas significativas en los cuerpos de agua superficiales en los que prolifera, esto debido principalmente a su rápido crecimiento y su adaptabilidad, que convierte a la especie en una planta acuática catalogada como plaga, la presente investigación desarrolla el diseño, fabricación y evaluación de las propiedades físico-mecánicas de ladrillos ecológicos adicionados con lirio acuático; en el cual se implementó un proceso de tratamiento para las raíces del lirio acuático, que involucró el secado, seguido de un proceso de trituración, así mismo se desarrolló la fabricación de los ladrillos con la incorporación de porcentajes de adición del 20%, 10%, 5% y 0% de lirio acuático para determinar el uso factible de esta especie como un aditivo en los procesos convencionales de elaboración de ladrillos rojos; los resultados obtenidos de las evaluaciones físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos señalan que una adición del 10% representa un porcentaje factible para la fabricación de estos, ya que se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 68.198 (Kg/cm²) y los valores de absorción de agua obtenidos son inferiores a lo establecido en la normatividad vigente (21.76%), así mismo, la incorporación del 10% de lirio acuático permitió mantener características dimensionales y de masa similares a la de los ladrillos comercializados tradicionalmente en la región, sin embargo, se recomienda ampliar el rango de pruebas físico-mecánicas aplicadas para así asegurar la calidad del producto final y optimizar los procesos tradicionalmente aplicados en la industria ladrillera.

Palabras clave: Especies exóticas, eutrofización, cuerpos de agua, contaminación, especie invasora, adición, arcilla, propiedades físico-mecánicas.

I.-INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del agua es fundamental para la supervivencia y el crecimiento económico de cualquier región del mundo. Los recursos hídricos deben ser gestionados entre diversos usuarios teniendo en cuenta las necesidades del medio ambiente. Sin embargo, a lo largo de un extenso periodo, se pensaba que todos los recursos eran accesibles para cualquier uso antrópico (Cirelli, 2012).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012) especifica que:

En el planeta, se estima que existen alrededor de 1, 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 2.5% corresponden a agua dulce, localizada principalmente en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos, cerca de tres cuartas partes del agua dulce está contenida en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales aproximadamente 97% son prácticamente inaccesibles, pues se encuentran congelados. (p. 3)

Las fuentes de agua como los ríos o arroyos y los depósitos de agua como lagos, lagunas y embalses artificiales son los referidos como cuerpos de agua superficiales y son aquellos que no percolan hacia el subsuelo, sino que escurren sobre la superficie, así también, se refiere a los creados por el hombre con el fin de aprovechar adecuadamente dichas corrientes superficiales (CONAGUA, 2015).

Los cuerpos de agua superficiales del país constituyen una red hidrográfica de aproximadamente 633,000 kilómetros de longitud, en la que destacan 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie geográfica nacional, por su longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta (CONAGUA, 2019).

No obstante, el Instituto Mexicano para la Competitividad (2023) destaca que:

Durante las últimas décadas, la disponibilidad anual por habitante en México ha pasado de 10 mil metros cúbicos (m^3) promedio en 1960, a 4 mil m^3 en el 2000 y 3.2 mil m^3 en 2020, el deterioro y explotación de los cuerpos de agua, sumado al aumento de la población y al incremento de las sequías, provocará que para 2030, la disponibilidad en México descienda por debajo de los 3 mil m^3 por habitante al año. (p. 1.)

Rodríguez et al. (2016) resalta que es indispensable destacar la importancia de los cuerpos de agua superficiales como elementos clave para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, sin el agua que garantice su función y mantenimiento, los ecosistemas naturales se degradan, pierden su biodiversidad y con ello dejan de proveer o reducen la calidad de los bienes y servicios ambientales que sostienen a las sociedades.

Los cuerpos de agua superficiales son usualmente un blanco muy accesible para los procesos de contaminación, ya que, son el sumidero de fenómenos naturales (deposición atmosférica, drenaje continental) y antrópicos (descarga de efluentes líquidos residuales domésticos o industriales) lo que genera una mayor vulnerabilidad en estos cuerpos de agua (Marcovecchio et al., 2014).

Las causas principales de la contaminación de las aguas superficiales derivan de la actividad agrícola, el alto grado de urbanización y una actividad industrial que no cumpla con las regulaciones ambientales vigentes, por lo tanto, en las inmediaciones de las grandes ciudades y en las áreas más industrializadas, los problemas de contaminación tienden a ser más agudos y frecuentemente, las áreas más industrializadas son también las más densamente pobladas, factor que agrava el problema (Mora y Calvo, 2010).

El excesivo uso de fertilizantes en el sector agrícola, así como el vertimiento desmedido de aguas residuales de origen antropogénico origina en muchos casos que nutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) finalicen en cuerpos de agua superficiales provocando en grandes concentraciones la contaminación de los mismos (Melcón, 2019).

En los medios acuáticos, las concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo ocasionan un proceso conocido como eutrofización, el cual genera la reducción de la biodiversidad local mediante el aumento de la turbidez del agua, la cual impide el paso de luz hacia el fondo e imposibilita la fotosíntesis de la vegetación acuática, generando condiciones favorables para especies externas que se alimentan principalmente de estos nutrientes (Pedrozo y Ramírez, 2020).

Cuando el proceso de eutrofización ocurre en un cuerpo de agua superficial se favorece un crecimiento excesivo de malezas acuáticas y florecimientos de algas los cuales pueden ser tóxicos, ya que su descomposición consume grandes cantidades de oxígeno disuelto creando zonas hipóxicas donde no hay organismo acuático que pueda sobrevivir (Caicero y López, 2024).

Dada la fragilidad de estos ecosistemas acuáticos, factores como la extracción excesiva de agua, el vertimiento de desechos o la introducción de especies exóticas representan un alto riesgo, puesto que las especies locales no han estado expuestas al contacto con especies ajenas y pueden resultar depredadas, desplazadas por competencia ecológica o incluso, contagiadas con enfermedades que no existían originalmente en el sitio (Sánchez et al., 2007).

Una problemática preocupante para los cuerpos de agua superficiales son los impactos ecológicos provocados por las especies introducidas, principalmente su efecto en especies nativas y ecosistemas receptores, específicamente las especies exóticas como las plantas invasoras pueden interferir con las especies nativas por competencia o mediante el

consumo del recurso, el impacto más estudiado ha sido la disminución de la biodiversidad y el desplazamiento local de alguna de ellas, estas especies invasoras también pueden modificar los ciclos de nutrientes, la disponibilidad de agua, e incluso alterar los regímenes de perturbación. (Vilà et al., 2006)

La introducción de estas especies puede producirse tanto intencional como accidentalmente a través de barreras geográficas mayores y dadas las repercusiones que ocasiona su introducción, en los últimos años se ha reconocido ampliamente los efectos perjudiciales de las especies exóticas invasoras y se han desarrollado programas a escala local, regional, nacional y global para frenar su proliferación y mitigar sus impactos presentes y futuros (Aguirre y Mendoza, 2009).

En México existen más de 1,700 especies exóticas presentes, alrededor de 200 están bajo monitoreo por las autoridades, debido a los graves impactos que podrían causar si logran establecerse en nuestro país, de este total, casi 500 especies se han clasificado como especies invasoras derivado de los análisis de riesgo de invasividad realizados para México, a partir de estos análisis se enlistan 348 especies en el acuerdo en el que se determina la lista de especies exóticas para México (DOF, 07/12/2016).

Un ejemplo representativo en el país de especie exótica invasora es el Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), la cual es catalogada como plaga debido a que es una de las plantas con mejor reproducción y tasa de crecimiento, por lo cual se extiende rápidamente y forma tapetes o esteras que constriñen a las plantas nativas sumergidas y flotantes en los cuerpos de agua superficiales (CONABIO, 2015).

Estas características generan problemas ambientales, ya que, forman densas alfombras que pueden cambiar el ambiente físico y químico del cuerpo de agua superficial en el que se desarrolla,

altera la estructura del ecosistema, así como la cadena alimenticia y ciclos de nutrientes (Rodríguez-Lara et al., 2022).

Paralelamente, las infestaciones de LA generan focos de infección debido al estancamiento de agua, las cuales, ocasionan pérdidas económicas relacionadas con las actividades turísticas, pesqueras y agropecuarias, incluso los cambios en el ambiente acuático son responsables de la disminución y desaparición de poblaciones endémicas de plantas y animales (como ajolote, charal, ranas y aves) (Martínez y Méndez, 2022).

Dentro del territorio mexicano no existen datos precisos sobre el área de ocupación de esta especie, pero las estimaciones de expertos de la CONABIO y la Organización Agua A.C. coinciden en que cerca de 70 mil hectáreas de cuerpos de agua superficiales mexicanos están siendo afectados ecológicamente por la presencia del lirio acuático, esto reflejado en la **Figura 1** (Carreto y Gámez, septiembre 2022).

Figura 1

Cuerpo de agua afectado por la plaga del LA en la localidad de Cupasmí, Chiapa de Corzo.



El presente estudio propone el diseño, la fabricación y evaluación de ladrillos ecológicos adicionados con lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) proveniente de un cuerpo de agua superficial afectado en el estado de Chiapas, con el objetivo de obtener un producto no tradicional que cumpla con la normatividad mexicana vigente con respecto a los estándares establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCDCEM, 2010), generando una alternativa que contribuya al uso y a la disminución del lirio acuático en cuerpos de agua superficiales afectados por esta especie exótica invasora.

II.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México y en Estados Unidos el LA fue introducido voluntariamente como planta de ornato hacia 1884, es posible que de ahí se haya dispersado en forma natural por medio de aves migratorias hasta llegar a nuestro país, es así como su introducción o naturalización en lagos mexicanos no debió ocurrir antes de 1884, lo que sí es claro es su establecimiento y creciente población en nuevos espacios, desplazando a otras plantas acuáticas más sensibles a la perturbación humana (Miranda y Lot, 1999).

La problemática del lirio acuático surge a causa de que tiene una tasa de reproducción muy alta, debido a que se puede propagar asexualmente, no necesita de la polinización de sus flores ni de la producción de semillas para formar nuevos individuos, a partir de un pedazo de hoja o de un bulbo pueden crecer nuevos organismos independientes, por lo que una sola planta puede llenar un embalse en pocas semanas (Val de Gortari, 2012).

La presencia del LA principalmente ha ocasionado fuertes impactos económicos a los pescadores debido al decremento en la población de peces, el difícil acceso a ciertas áreas, pérdida y daño al equipo de pesca, ya que cuando un cuerpo de agua superficial está densamente infestado el consumo de combustible de los barcos de pesca y de transporte, aumenta al doble o al triple, y la captura de peces se ve reducida de un 50% y hasta un 75% (Gregorio, 2011).

La dispersión del LA y su establecimiento exitoso, está directamente relacionado con las características ambientales abióticas y bióticas; puede tolerar amplias variaciones en la concentración de nutrientes, así como en los niveles de pH, el óptimo para su desarrollo se encuentra entre 6 y 8; crece en un rango de temperatura que va de 1 hasta 40 °C, su desarrollo óptimo se encuentra entre 25 y 27,5 °C y su crecimiento se ve favorecido con el nitrógeno (Rodríguez-Lara et al., 2022).

En el estado de Chiapas esta problemática actualmente es una realidad, una situación específica es la que se desarrolla en el embalse de la presa Ángel Albino Corzo ya que cuenta con la presencia del lirio acuático y esta especie amenaza la pesca local, la producción hidroeléctrica y los recursos hídricos de la región (Domínguez, enero 2020).

El Instituto Mexicano de Tecnología del agua en su informe “Mejora en el manejo de plantas acuáticas exóticas invasoras” (2019), señala que en Chiapas 3 de las 4 presas hidroeléctricas en el estado actualmente albergan la plaga del lirio acuático, como se muestra en la **Figura 2** esta infestación es una problemática representativa en la central hidroeléctrica Ángel Albino Corzo ubicada en el municipio de Ostucán, Chiapas.

Figura 2

*Compuertas de la presa obstruida por la especie *Eichhornia crassipes*.*



Nota: Fotografía tomada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2019).

Una perspectiva específica de las diversas problemáticas que genera esta especie invasora lo señala Carreto y Gámez (septiembre, 2022), mencionando que la presa Peñitas (Ángel Albino Corzo), una de las cuatro que controla la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el río Grijalva, Chiapas, es un ejemplo puntual de afectaciones económicas ocasionadas por el LA, ya que, en los últimos tres años la empresa local ha invertido 60 millones de pesos, en medidas para contener su expansión y evitar problemas con la generación de energía hidroeléctrica, ya que el LA empieza a invadir las áreas hasta llegar también a afectar la obra de toma de las plantas hidroeléctricas lo que afecta su producción.

Para el LA se reconoce internacionalmente que el aporte de nutrientes, principalmente de nitrógeno y fósforo contribuye a la eutrofización de los cuerpos de agua (Khan y Ansari, 2005), y que estas condiciones favorecen tanto al crecimiento de los florecimientos algales, así como las infestaciones de plantas acuáticas invasoras flotantes, sumergidas y enraizadas (You et al. 2014, Fleming y Dibble 2015).

Perna y Burrows (2005) especifican que los tapetes densos de LA reducen la productividad de fitoplancton y concentraciones de oxígeno disuelto, evitando la transferencia de oxígeno del aire a la superficie del agua bloqueando la luz utilizada para la fotosíntesis por el fitoplancton y la vegetación sumergida; también pueden resultar en altas tasas de sedimentación por la estructura radicular de las plantas y de evapotranspiración elevada en las hojas (Santos et al., 2011).

Abordando también la problemática del LA desde una perspectiva social, en los cuerpos de agua superficiales al haber gran infestación por plantas acuáticas, una de las actividades que se ve directamente afectada es la producción pesquera, de tal forma que los ribereños cambian su ocupación de pesqueros por la de agricultores lo que conlleva un aumento de la contaminación de

los embalses por el uso de fertilizantes y pesticidas, tal situación se observa en los lagos de Chapala, de Pátzcuaro y de Cuitzeo, donde la grave infestación del espejo de agua por plantas como el lirio y/o Tule, han disminuido notablemente el área inundada azolvando el embalse por efecto de gran acumulación de materia orgánica fruto de la descomposición de todo el material vegetal, creando amplias zonas que aprovechan los ribereños para el cultivo y/o para nuevos asentamientos (IMTA, 2019).

III.-JUSTIFICACIÓN

3.1. Económica

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC, 2024) señala que el sector constructivo en México es una de las industrias con gran aportación en la economía del país y en los últimos años se destaca un creciente enfoque en el desarrollo de una construcción sustentable dirigida a reducir impactos ambientales.

La preocupación imperante sobre la conservación del medio ambiente ha llevado a que muchos sectores constructivos busquen alternativas ecológicas y sustentables para contribuir con este tema (Villao-Vera y Llangari-Romero, 2024), esto genera que la posible aplicación de materiales de construcción ecológicos en infraestructura sea el principal factor que impulse el crecimiento del mercado aunado a las existentes políticas gubernamentales favorables que apoyan la construcción de edificios ecológicos (Mordor Intelligence, 2024).

La Iniciativa de Bonos Climáticos (2020) en su informe “Financiando la construcción sustentable en México” destaca que:

En México existe el programa de EcoCasa el cual se enfoca en mejorar la calidad de vida, reducir el consumo de energía y proteger el medio ambiente disminuyendo las emisiones de GEI en un 20% a un 40%, así mismo el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, (INFONAVIT) cuenta con productos financieros que ayudan a medir la eficiencia de las viviendas y a mejorar la calidad de vida mediante el uso de las ecotecnologías, generando que la entidad se posicione como líder regional en edificación sustentable, apoyado principalmente en la demanda de viviendas del sector informal de la población, especialmente en ciudades y áreas metropolitanas, aumentado a medida que crecen estos centros poblacionales.

Sin embargo, en el territorio nacional actualmente no existen normativas o reglamentos que establezcan o promuevan el uso de ecotecnologías en el sector de la construcción, pero un ejemplo de esta iniciativa es la implementada en la Ley de Desarrollo Urbano y de Obras Públicas del Distrito Federal que establece su artículo 52 que en todas las construcciones de la ciudad públicas o privadas se deberá utilizar materiales reciclados, esto enfocado principalmente a los impactos ambientales producidos por la extracción de material pétreo (LDUDF, mayo 2023).

Uno de los materiales de construcción que representa una alternativa viable para la aplicación de técnicas ecológicas es el adobe, ya que se ha adaptado adecuadamente a las exigencias y necesidades de la sociedad actual, presentando interesantes aplicaciones desde el punto de vista de diseño y construcción, debido a sus propiedades y características de bajo costo de fabricación y amplia disponibilidad, alto ahorro de energía, gran trabajabilidad y propiedades mecánicas óptimas en la construcción (Martínez et al., 2015).

En México la producción ladrillera artesanal se caracteriza por ser una actividad económica importante, no obstante, la mayor parte de ladrilleras artesanales llevan el mismo proceso productivo desde generaciones pasadas sin cambios sustanciales en sus técnicas, lo que ha generado la necesidad de fomentar cambios en los procesos productivos actuales, impulsando la producción y minimizando los costos (Reyes y García, 2024).

La fabricación y comercialización de ladrillos ecológicos representa una alternativa en el sector ladrillero, esto debido a que los procesos de fabricación y la utilización de materiales reciclados generan ahorros en los costos productivos, brindando un precio del producto final menor a la oferta actual y ofreciendo mayor resistencia y/o solidez que los ladrillos convencionales (Villafuerte, 2015).

Por ello, al fabricar y comercializar un producto de menor costo se puede desarrollar un mercado creciente para los ladrillos ecológicos en la región, ya que es un campo comercial que ha sido poco explotado en los últimos años y si los fabricantes artesanales adoptan estas prácticas y procesos productivos los cuales generan bajo impacto en su fabricación pueden beneficiarse al reducir los costos de producción y generar una oferta competitiva en el mercado, ya que la extracción y procesamiento de arcilla tradicionalmente empleados en la fabricación de ladrillos convencionales en la región puede ser costosa, lo que incrementa los precios en el producto final.

Con la incorporación del lirio acuático como fibra orgánica para la sustitución de material utilizado en el proceso de fabricación de ladrillos convencionales, se puede conseguir una disminución porcentual de los costos de adquisición, ya que la materia orgánica utilizada, puede encontrarse localmente, con accesibilidad y sin costo actualmente en el mercado.

3.2. Social

Las densas alfombras que forma el lirio acuático impiden la realización de actividades productivas como la pesca, la navegación y algunas actividades turísticas, así mismo las estaciones hidroeléctricas se ven severamente afectadas debido a que obstruyen el flujo de agua causando daños, complicaciones y bajas en la producción eléctrica, paralelamente la disminución de la calidad del agua incrementa el costo del tratamiento que necesita el recurso hídrico para potabilizarla aumentando a su vez el costo de esta, por tanto, afectando a las comunidades aledañas (Sosa et al., 2023)

Dentro de los problemas de salud, el lirio acuático constituye el hábitat ideal para el desarrollo de organismos vectores de plagas y patógenos como la filariosis, la helmintiasis, el dengue, la encefalitis, el paludismo, la fiebre amarilla; los cuales afectan a las poblaciones cercanas que hacen uso de los cuerpos de agua colonizados por esta planta (Rodríguez-Lara et al., 2022).

En los últimos años en el Lago de Cuitzeo Michoacán, la proliferación del lirio acuático ha provocado que los pescadores locales enfrenten sequías extremas y por ende una baja producción, esto debido a que los motores de los botes se ven obstruidos por las raíces de la planta, lo que obliga a los trabajadores a invertir más tiempo y recursos (Juárez, marzo 2025).

La fabricación de ladrillos ecológicos incorporando el LA es un proyecto viable desde una perspectiva social debido a que es una alternativa de aprovechamiento la cual tiene un impacto positivo en el medio ambiente al abordar el problema de la proliferación del LA en cuerpos de agua superficiales, ya que, como se mencionó anteriormente, es una planta invasora que obstruye cuerpos de agua y amenaza los ecosistemas acuáticos, lo que afecta los servicios ambientales que los cuerpos de agua generan para la sociedad local; al generar una alternativa para extraer y utilizar el LA como materia prima en la producción de ladrillos, se disminuye el área afectada por el LA y se controla su propagación, lo que contribuye a la restauración de hábitats acuáticos, de la mejora de la calidad del agua, la reactivación de actividades pesqueras y agropecuarias.

3.3. Ecológica

En México, según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), se encuentran registradas 9,463 ladrilleras las cuales generan emisiones de contaminantes ya que dependen de la temperatura, combustible y el horno que se utilice, esto debido principalmente a que en el país la industria ladrillera se desarrolla bajo una tecnología de producción poco eficiente la cual genera problemáticas a la salud y al medio ambiente.

Una alternativa en la disminución de estas problemáticas es la utilización de fibras orgánicas para la disminución porcentual de materia prima (arcilla), así como el aprovechamiento de residuos con potencial de reciclaje, los cuales generan procesos en la fabricación de ladrillos

con altos ahorros de energía, haciendo uso principalmente de residuos con gran trabajabilidad y propiedades mecánicas óptimas para el proceso de elaboración (Martínez et al., 2015).

En la actualidad se han evidenciado múltiples aplicaciones del lirio acuático, ya que puede utilizarse como fuente de obtención de lignina, celulosa y hemicelulosa, se ha logrado obtener biocombustibles a partir de lirio, se le han atribuido propiedades de fitorremediación de aguas contaminados con metales pesados y se sabe que la fibra de lirio es capaz de absorber de 2.5 a 4 veces su peso en líquido, por lo cual se ha utilizado para tratar derrames (Ortiz y Linares, 2018).

El aprovechamiento y uso potencial del lirio acuático presente en un cuerpo de agua genera un control en la proliferación de esta plaga y produce una disminución de los impactos ambientales que subyacen del establecimiento de esta maleza (IMTA, 2019).

La extracción y aprovechamiento del LA en los cuerpos de agua afectados para la fabricación de ladrillos ecológicos, se plantea como una alternativa viable, ya que, esta especie es una planta invasiva en muchas regiones de México y la infestación de esta representa una amenaza para los ecosistemas acuáticos naturales al contaminar cuerpos de agua disminuyendo su calidad, los servicios ambientales y desplazando a las especies nativas.

Al utilizar esta planta como materia prima para la producción de ladrillos ecológicos contribuiría a la disminución, control y mitigación de los impactos provocados, así también la fabricación de ladrillos ecológicos ayudaría a reducir porcentualmente la demanda de recursos no renovables, como lo es la arcilla, el cual funciona como principal material para la producción convencional de ladrillos.

Sin embargo, la sustentabilidad en la construcción no puede limitarse solo en proteger el ambiente, si no también, en promover beneficios, en la responsabilidad social, económica, calidad

de vida, en la cadena de valor y de producción, por lo que los productos deben estar certificados por organismos autorizados por las autoridades competentes, para que se avale que cumplen con las especificaciones que ofrecen (CMIC, 2024).

IV.-OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Fabricar y evaluar ladrillos ecológicos que incorporen como material aditivo el lirio acuático proveniente de un cuerpo superficial de agua afectado en el estado de Chiapas.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar la estructura geométrica del ladrillo con base a las especificaciones que estipula la normatividad mexicana con respecto a estructuras de mampostería.
- Aplicar a las mezclas de arcilla porcentajes distintos de lirio acuático para la producción de los ladrillos ecológicos.
- Evaluar y determinar mediante pruebas físico-mecánicas el porcentaje más adecuado que cumpla con la normatividad vigente para que el producto sea utilizado como material de construcción.

V.-HIPÓTESIS

La incorporación de una mayor proporción de aditivo en la producción de ladrillos ecológicos, utilizando lirio acuático como material complementario, incrementará la resistencia a la compresión en comparación con los ladrillos tradicionales disponibles en el mercado, cumpliendo con los estándares de calidad vigentes establecidos por la Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, generando así un producto de calidad que contribuya a las alternativas de control ecológico de la especie *Eichhornia crassipes* en cuerpos de agua superficiales.

VI.-MARCO TEÓRICO

6.1. Conceptos

▪ Cuerpo de agua superficial

La FAO define a los cuerpos superficiales como agua que fluye o se almacena sobre la superficie del terreno, tales como, ríos, lagos, lagunas, arroyos y embalses, según su uso y calidad se clasifican en distintos estándares (FAO, 2010):

▪ Ecosistema

Lo especificado por la CONABIO (2020) indica que:

El ecosistema es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes; las especies del ecosistema, incluyendo bacterias, hongos, plantas y animales dependen unas de otras, las relaciones entre las especies y su medio, resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema. (p. 1)

▪ Contaminación del agua

La contaminación del agua es la alteración de su composición original, volviéndola dañina para las especies y ecosistemas que hacen uso de la misma, a su vez no es apta para los usos que originalmente se utilizaba (Ramírez et al., 2023).

▪ Especies nativas

La Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del estado de Guanajuato (2020) define a las especies nativas como:

Aquellas que se encuentra dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual) de acuerdo con su potencial de dispersión natural, estas especies forman parte de las comunidades bióticas naturales del área y estas tienen relaciones evolutivas y ecológicas con otras especies con las que han compartido su historia, es decir están bien adaptadas a las condiciones locales.

- **Especies exóticas**

Las especies exóticas son aquellas introducidas en un ecosistema fuera de su área de distribución natural donde se establecen y causan graves daños ambientales ya que compiten, depredan y desplazan a las especies nativas, alterando el equilibrio ecológico del ecosistema (Muñoz y Mendoza, 2009).

- **Malezas acuáticas**

Son definidas como plantas acuáticas que cuando se presentan con bajas densidades, generalmente resultan beneficiosas al ecosistema acuático, sin embargo, con densidades altas los efectos dañinos pueden ser directos como: la obstrucción de canales, navegación, pesca y disminución de las posibilidades del uso del agua para la población (FAO, 1996).

- **Eutrofización**

La eutrofización es el crecimiento excesivo de algas y malezas acuáticas por exceso de nutrientes, lo cual causa principalmente aguas turbias y florecimientos algales tóxicos que impactan en las poblaciones faunísticas y vegetales de las especies nativas, deteriorando en gran medida la calidad del agua (García y Miranda, 2018).

- **Fibras orgánicas**

Las fibras orgánicas son materiales filamentosos de origen biológico, compuestos principalmente de celulosa y lignina, que proporcionan soporte a las plantas, su resistencia mecánica y durabilidad se debe a que los microorganismos no pueden descomponer fácilmente su composición química. (Vidal y Hormazábal, 2016).

- **Lignina**

La lignina es un heteropolímero que forma parte de la pared celular del tejido vascular de las plantas y provee rigidez estructural, así como resistencia a la tensión y presión hídrica; además, confiere soporte a células especializadas en sostén y almacenamiento; la lignina y la celulosa son los principales componentes de la biomasa que pueden ser utilizados en la obtención de productos renovables como materia prima (Maceda et al., 2020).

- **Mampostería**

La mampostería es una estructura formada al unir piezas (como ladrillos o bloques) a base de un mortero, es muy usada en la construcción con piezas de arcilla cocida (ladrillos) para crear muros y divisiones. (Aulestia-Valencia et al., 2014).

- **Aditivo**

El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2006) señala que los aditivos son agregados químicos, minerales o fibras que se agregan a los materiales de construcción en la etapa de mezclado para modificar algunas de las propiedades físico-químicas de la mezcla resultando en un material diferente al original.

- **Normas técnicas complementarias para el diseño y Construcción de estructuras de mampostería**

Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCDCEM, 2010) es un conjunto de normas mexicanas vigentes de carácter nacional que permiten el diseño y construcción de estructuras nuevas de piezas artificiales a base de mampostería confinada o reforzada interiormente, aplicando análisis, diseño, construcción e inspección de estructuras de mampostería con muros constituidos por piezas prismáticas de piedra artificial, macizas o huecas, o por piedras naturales unidas por un mortero aglutinante.

6.2. Antecedentes

El hombre no siempre ha tenido viviendas; durante miles de años el ser humano llevó una vida nómada, es decir, agrupado en pequeñas comunidades de recolectores y cazadores que se desplazaban de un lugar a otro en búsqueda de alimento y de protección, a partir del período neolítico, desde el año 6000 hasta el 3000 a.c., con el desarrollo y la práctica de la agricultura, el hombre comenzó a construir pequeños asentamientos estables y poblados (Taborda, 2015).

Los conocimientos sobre el clima y la construcción, llevó al hombre rupestre a construir viviendas subterráneas; parece ser que las progresivas exigencias de espacio como también la cantidad insuficiente de cavernas para albergar un número cada vez mayor de habitantes, los llevo a edificar viviendas excavadas, naciendo de este modo lo que se conoce hoy como arquitectura subterránea (Valverde, 2015).

Figura 3

Primeras construcciones con ladrillo registrados en la historia.



Nota: Torre del Neolítico en Jericó, tomado de López-Arce (2012).

Para el hombre los primeros materiales manufacturados fueron los ladrillos de barro, que se remontan hasta el año 13.000 a.c., mientras que los primeros ladrillos de arcilla cocida que se conocen existen desde 4.000 a.c., hoy en día los ladrillos no solo son fabricados con barro o arcilla, sino que también se ha innovado con variedad de materiales orgánicos e inorgánicos como residuos agrícolas, fibras vegetales, etc. (Páliz, 2014).

En distintos países se han realizado investigaciones y estudios sobre la utilización de nuevos materiales para la fabricación de bloques, además, se han generado nuevos materiales para el área de la construcción, todo esto con el objetivo de reducir los costos de construcción, generar alternativas innovadoras que impacten las construcciones del futuro y así darle un nuevo uso a los materiales que muchas veces desperdiciamos y desecharnos sin darnos cuenta que su reutilización puede generar grandes cambios (Pérez et al., 2017).

Una alternativa actual y en constante desarrollo e innovación son los ladrillos ecológicos, Freire y Zevallos (2016) especifican que los ladrillos ecológicos pueden elaborarse con desechos de construcción civil y otros tipos de residuos sólidos como cáscara de coco, polvo de vidrio, lodo, polvo de mármol, bagazo de caña de azúcar, yeso y sílica.

Un caso de estudio es el de Muñoz-Pérez et al. (2021) el cual especifica que la adición de materiales reciclados sustituyen parcialmente a los componentes empleados en la fabricación tradicional del ladrillo cocido materiales como los que se muestran en la **Tabla 1** para el remplazo del agregado fino están los desechos de tallos de sorgo, que mejoran la resistencia a la compresión y aislación térmica; el polvo de mármol, que mejora la resistencia a compresión y como remplazo de la arcilla está la paja, que mejora la resistencia a la compresión; el aserrín, que mejora la absorción del agua, la aislación térmica y la absorción sísmica; el café molido el cual mejora la absorción del agua y la aislación térmica.

Tabla 1

Porcentajes óptimos de sustitución de distintos materiales reciclados.

MATERIAL REEMPLAZADO	MATERIAL RECICLADO	PORCENTAJE ÓPTIMO A REEMPLAZAR
Agregado fino	Desecho de tallos de sorgo	5
	Polvo de mármol	2
	Caucho	20
	Cáscara de arroz	4
	Cáscara de maní	3
	Desechos de aceituna	5
	Residuos de piedra	4
	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	19
	Polvo de acero	20
	Cenizas de estiércol de vaca	5
	Cenizas de cascaras de arroz	10
Arcilla	Paja	3
	Aserrín	3
	Café molido	17
	Papel	17

Nota: Esta tabla señala los porcentajes óptimos de sustitución de distintos materiales reciclados para la fabricación de materiales de construcción señalados por Muñoz-Pérez et al., (2021).

De la **Tabla 1** se resalta que para el material de construcción arcilloso los principales sustitutos son fibras orgánicas, Zevallos (2021) especifica que la adición de fibras orgánicas a la mezcla de materiales arcillosos contribuye a mejorar las características físico-químicas mejorando la absorción de la energía de los ladrillos que aumenta cuando se unen con algunos de los compuestos, presenta mayor absorción de agua y presenta una menor resistencia a la compresión que otros ladrillos de adobe.

Para un mayor análisis de lo anteriormente mencionado la presente investigación aborda distintos antecedentes de investigaciones que integran la utilización de fibras orgánicas e inorgánicas para la fabricación de ladrillos ecológicos, de las cuales, se destacan principalmente

las investigaciones que utilizan el LA como agregado a la fabricación de ladrillos ecológicos, sin exceptuar los estudios que guardan relación con la presente investigación.

6.2.1. Antecedentes a Nivel Internacional

El primer estudio experimental en demostrar la viabilidad del uso de la maleza acuática del LA en la fabricación de ladrillos es el de Goel y Kalamdhad (2018) “Una propuesta práctica para la utilización del lirio acuático: Reciclado en ladrillos cocidos” el cual mediante caracterización químico-mineralógica y físico-mecánica, se determinó la proporción óptima de adición de lirio acuático (LA) y material arcilloso para conseguir cumplir con los estándares de calidad indio y ASTM (resistencia a la compresión y absorción de agua), los resultados obtenidos confirmaron que la adición de LA no causa cambios composicionales en la fase y conduce simplemente a un aumento de porosidad en los ladrillos, una mezcla optima de adición es de 10% con material arcilloso y una temperatura de cocción de 900 °C resultan adecuados para la producción de ladrillos.

Un caso de estudio similar es el de Páliz (2014) “Factibilidad del uso del raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos” en el cual se revalorizó el “raquis” residuo de la palma africana, usándolo como componente principal en la fabricación de ladrillos ecológicos, se realizaron análisis físico-químicos, se analizaron parámetros químicos como pH, nitrógeno, carbono y silicio, se formularon cuatro mezclas diferentes para la fabricación de los ladrillos y se evaluó mediante pruebas de compresión, flexión y humedad las características mecánicas y físicas de los ladrillos fabricados basadas en la norma, los resultados señalan que el uso de la fibra del raquis en la fabricación de ladrillos para fines de construcción es posible, ya que mejoran las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo convencional, además de disminuir costos de producción y el impacto negativo al ambiente.

En el análisis comparativo realizado por Ongwen y Bandar (2023) “Acústica de bloques de tierra comprimida unidos con ceniza de bagazo de caña de azúcar y ceniza de lirio acuático” se investigó el coeficiente de transmisión acústica, la porosidad y la resistividad del flujo de aire variando las concentraciones de aglutinantes de ceniza de lirio acuático (LA) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (BCA), se descubrió que el aumento de la concentración de LA condujo a un aumento en el coeficiente de transmisión acústica y la porosidad, pero redujo la resistividad del flujo de aire de los bloques de tierra comprimida; mientras que el aumento del BCA redujo el coeficiente de transmisión y la porosidad, pero aumentó la resistividad del flujo de aire, se demostró que el BCA tiene una propiedad aglutinante más fuerte que el LA, lo cual es ideal para la fabricación de bloques de tierra más fuertes, mientras que la mayor porosidad de los bloques de tierra obtenidos con LA es eficiente para la construcción de paredes porosas, lo que es bueno para mantener el flujo de aire entre el interior de los edificios y el entorno.

6.2.2. Antecedentes a nivel nacional

Lanz (2014) en su “Estudio comparativo sobre ladrillos sustentables (base Cemento-PET, base Cemento-Lirio acuático) en la zona sur del Estado de Veracruz” determinó mediante un estudio comparativo las propiedades físicas de ladrillos sustentables, (base Cemento-PET, base Cemento-Lirio acuático) para la factibilidad de desarrollar un nuevo material para la construcción doméstica en la zona sur del estado de Veracruz, este estudio señala como resultado que los ladrillos sustentables pueden llegar a sustituir de manera adecuada a los ladrillos convencionales, se destaca que ambas opciones de ladrillo cumplen con los niveles de resistencia a la humedad, y ambos son muy buenos aislantes térmicos, sin embargo, el ladrillo a base de Cemento y PET funciona como un mejor aislante térmico, en cuestión de dureza se especifica que el ladrillo hecho

con cemento y PET resulta con mayor capacidad de durabilidad que el ladrillo de cemento y LA, siendo casi igual de resistente que el ladrillo convencional.

En México, diversas investigaciones se centran principalmente en usar residuos inorgánicos, con agregados para crear ladrillos ecológicos, esta práctica busca reducir la contaminación ambiental y aprovechar recursos disponibles, algunos estudios han demostrado su viabilidad como es el caso de Aquino (2015) en su investigación “Reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos sustentables” la cual integra los residuos de excavación, residuos de tala, agregados reciclados y agua-mucílago de nopal para la fabricación de ladrillos ecológicos evaluando su factibilidad mediante análisis físico-mecánicos y con ello generar una alternativa sustentable para el aprovechamiento de distintos materiales reciclados, los resultados especifican que los ladrillos fabricados cumplen con los parámetros de calidad establecidos en la normatividad mexicana presentando resistencias de 30 a 80 kg/cm², y que la fabricación de estos presenta ventajas principalmente ambientales y económicas ya que es un 33% más barato de construir 1 m².

El estudio señala la importancia de la dosificación de materiales para las mezclas usadas, ya que los resultados dependerán de gran medida de las características físicas de los residuos de excavación principalmente de granulometría y plasticidad.

6.2.3. Antecedentes a nivel estatal

En Chiapas, las investigaciones sobre la incorporación de fibras orgánicas en la fabricación de ladrillos ecológicos son limitadas, el enfoque de estudios realizados se reduce únicamente a abordar investigaciones que utilizan residuos sólidos para la fabricación de ladrillos ecológicos, un ejemplo de ello es la investigación desarrollada por Zea et al. (2021) la cual presenta el diseño

y elaboración de un tabique no convencional adicionado con plástico tipo 1 PET, proveniente del reciclaje de las botellas plásticas de gaseosas como agregado principal dentro de la mezcla, que después de pasar por un proceso de fundición se plantea como un material aglutinante en la elaboración de tabiques, la investigación señala que es de suma importancia estudiar sus características físicas y mecánicas, ya que en la obtención de resultados preliminares estos ladrillos ecológicos representan una alternativa viable para la fabricación de tabiques que se utilizan en el proceso de construcción de estructuras de mampostería destinados a viviendas rurales, donde se obtuvieron tabiques con resistencias superiores y comportamientos aceptables de acuerdo a lo requerido por las Normas Mexicanas vigentes.

Como anteriormente se menciona, la escases de investigaciones en el estado con respecto a el aprovechamiento de fibras orgánicas para la fabricación de ladrillos ecológicos representa una oportunidad para el desarrollo de investigaciones que presenten resultados factibles y eficientes, en específico, la utilización del lirio acuático se torna un estudio de caso viable debido a que en Chiapas es una planta que crece de forma abundante en cuerpos de agua como lagunas, lagos, embalses y ríos, lo que brinda una amplia oportunidad para estudios que busquen analizar y determinar la factibilidad del lirio acuático en la producción de ladrillos ecológicos en Chiapas.

6.3. Fundamentación Teórica

6.3.1. Generalidades del lirio acuático

La especie *Eichhornia crassipes* (LA) está ampliamente distribuido, sobre todo en la zona centro, en la vertiente del Pacífico, de Sinaloa hasta el sur, y en la del Golfo, de Tamaulipas a la península de Yucatán, en las zonas templadas y subtropicales de las cuencas hidrológicas de los ríos Lerma-Chapala-Santiago, Balsas, Pánuco y Bravo (CONABIO, 2015).

Figura 4

Distribución de lirio acuático en el territorio mexicano.



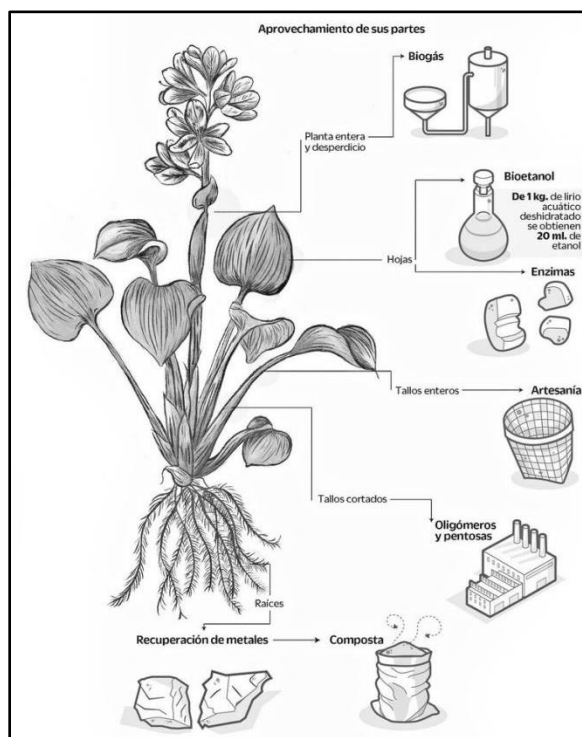
Nota: Los puntos rojos reflejan las infestaciones del LA en cuerpos de aguas superficiales; tomado de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2015).

Anteriormente se ha abordado la capacidad invasiva de esta planta la cual pone en peligro diversos ecosistemas, ya que aprovecha las aguas ricas en nutrientes, además, sus densas colonias flotadoras causan que el contenido de oxígeno descienda hasta cero debajo de su manto, lo que provoca daños a los ecosistemas (Rodríguez-Lara et al., 2022).

Sin embargo, es necesario abordar la fisiología y composición de esta planta debido a que diversas investigaciones se han desarrollado para estudiar los posibles usos del LA para el aprovechamiento de esta plaga y la contribución de su control como se ve reflejado en la **Figura 5**, esto con la intención de promover el crecimiento de la planta en lugar de erradicarla de los cuerpos de agua, un ejemplo de ello es la utilización de esta planta como fitorremediador la cual se estudia por varios grupos a nivel mundial (Mayo y Hanai, 2017).

Figura 5

Aprovechamiento potencial de las partes del LA.



Nota: Tomado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2017).

El LA es una especie con una biomasa con alto contenido de compuestos lignocelulíticos, lo que genera una amplia oportunidad de aprovechamiento de diferentes partes de esta planta para la generación de productos que contribuyen a la disminución y al control sustentable de esta especie (CONACYT, 2017).

Un ejemplo de estos aprovechamientos es el que propone Carrión et al., (2012) en el que valoró el uso potencial del lirio acuático como planta acumuladora de metales para los canales de Xochimilco, para ello se realizaron análisis estadísticos comparando las concentraciones de metales en la raíz y en la parte aérea; dentro de la fisiología del LA las raíces de esta especie se han tornado en los últimos años prometedora no solo para la fitorremediación sino también para múltiples usos debido a sus propiedades.

6.3.2. Composición de las raíces

El lirio acuático contiene entre 92.8 y 95 % de agua, de 4.2 a 6.1 % de compuestos volátiles, de 18.2 a 19 % de celulosa, de 48.7 a 50 % de hemicelulosa, de 3.5 a 3.8 % de lignina y de 13 a 13.5 % de proteína cruda, por lo que puede ser utilizado en una amplia variedad de procesos; sin embargo, es importante considerar que estas concentraciones pueden variar en función de la zona geográfica y las condiciones climáticas (Tovar-Jiménez et al., 2019).

Particularmente las raíces están sumergidas y su altura puede llegar a medir 50 cm e incluso 1 metro en condiciones muy favorables, por lo general, las raíces logran brotar fuera del agua cuando crecen en exceso (CONABIO, 2015) el contenido de esta parte fisiológica esta principalmente conformado por carbono (25.91%), hidrógeno (3.66%) y nitrógeno (2.38%), debido a la presencia de compuestos orgánicos y carbonato el LA contiene predominantemente SiO_2 , AlO_{23} , CaO y MgO (Goel y Kalamdhad, 2018).

Las raíces se muestran en la **Figura 6** y estas son partes con un alto contenido de compuestos orgánicos, que pueden ser aprovechados para la producción de etanol, de composta o inclusive como materiales de construcción, estos usos generan una alternativa de control que se torna viable para la disminución de los impactos ecológicos provocados (Ramírez et al., 2023).

Figura 6

Raíces de la especie Eichhornia crassipes.



6.3.3. Métodos de control

En la actualidad para la disminución de las problemáticas que genera el LA existen tres tipos métodos que se han empleado con el principal objetivo de tener un control determinado en el crecimiento de esta especie: control biológico, control químico y control físico.

El control biológico o biocontrol, hace referencia al uso de diferentes organismos que solos o en combinación son capaces de disminuir los daños que causa una población patógena sobre el crecimiento y/o productividad de un cultivo (Pal y Gardener, 2006; Vinchira y Moreno, 2019).

En 2013 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua desarrolló y aplicó un método biológico para el control del LA en 6 distintos cuerpos de agua superficiales afectados por la problemática del LA utilizando especies de *Neochetina eichhorniae* y *N. bruchi* como agentes de control biológico para el LA.

Otro tipo de método es el control químico de plagas, este es el control de sus poblaciones o la prevención de su desarrollo mediante el uso de sustancias químicas, los compuestos químicos que se utilizan en la protección de los cultivos reciben el nombre genérico de pesticidas o plaguicidas (Sifuentes, 2013), herbicidas tales como glifosato (Roundup), Diquat y 2, 4-D amina, se han utilizado en todo el mundo para reducir las poblaciones de lirio acuático (Gutiérrez et al., 1994; Rodríguez-Lara *et al.*, 2022).

En torno al glifosato se desarrolla una gran polémica, pues por años se consideró inocuo para la salud y el ambiente; sin embargo, con el pasar del tiempo se acumularon múltiples evidencias sobre los daños que genera a la salud de seres humanos y animales, a tal grado que en marzo de 2015 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud, lo clasificó como genotóxico (que causa daño al ADN), carcinogénico para los animales y es probable que carcinogénico para los humanos (Torres, 2009).

El tipo de control más utilizado y efectivo por su bajo costo es el método mecánico el cual es la destrucción y remoción de los organismos que afectan a las plantas, ecosistemas, productos y subproductos, mediante dispositivos mecánicos o técnicas manuales de colecta y destrucción (Centeno, 2016).

El control mecánico incluye la recolección de plantas y el corte in situ, en general, no hay restricciones de uso del agua asociadas con el control mecánico y no requiere mucha experiencia técnica, el control mecánico abre de inmediato el espacio físico (hábitat) para los peces, el tráfico de embarcaciones, la pesca y la recreación (Rodríguez-Lara et al., 2022).

Sin embargo, el corte in situ, donde las plantas se dejan morir y se descomponen en el agua, puede disminuir el oxígeno disuelto y alterar la estructura trófica como resultado de cambios en los balances de nutrientes y carbono, todo esto cuando se lleva cabo la trituración de brotes de *Eichhornia crassipes* y se dejan en el agua para envejecer y morir, de tal forma que este método tiene menor costo que cosechar (Greenfield et al., 2007; Rodríguez-Lara et al., 2022).

En México, el método más utilizado es el mecánico, el cual consiste en la extracción del LA a partir de la trituración de la planta en el sitio afectado, este proceso comprende varias etapas: en el cual consiste en que la máquina pasa varias veces por las superficies más infestadas, una vez molida la hierba es retirada y llevada a un centro de depósito para ser aprovechado o dispuesto en rellenos sanitarios (Carreto y Gámez, septiembre 2022).

6.3.4. Aprovechamiento del lirio acuático

La extracción manual del LA desarrolla múltiples posibilidades para el aprovechamiento de esta especie y con la intención de promover el uso de la planta en lugar de erradicarla sin darle antes un uso potencial, Salamanca et al. (2015) describe los usos potenciales de la especie como por ejemplo la utilización de esta planta como fitorremediador para la remoción de organofosforados, la producción de etanol, de abono verde (composta), biogás producto de la alimentación animal y la extracción de ácidos grasos volátiles, así también describe el uso del lirio acuático como alimento para animales no rumiantes y también utilizado para hacer papel así mismo en industrias de muebles para hacer tableros de fibra, hilo y cuerda, así como cestas y alfombras.

Similar a ello un caso de estudio innovador es el de Goel y Kalamdhad (2018), en el cual durante las últimas décadas se ha trabajado arduamente en la utilización del LA para la fabricación de materiales de construcción específicamente en ladrillos de arcilla cocidos desarrollando un

proceso óptimo para la mezcla de esta especie exótica invasora como aditivo en la producción de ladrillos ecológicos, la cual es prometedora.

6.3.5. Importancia del aprovechamiento

Como se ha mencionado anteriormente el LA es una especie que en un cuerpo de agua superficial ocasiona problemas importantes para la navegación, pesca, actividades recreativas, sistemas de irrigación y generación de energía, la extracción de esta planta de los cuerpos de agua que infesta cuesta miles de pesos por hectárea al año y hasta el momento no se obtiene un beneficio extra, ante ello, el establecimiento y el desarrollo de alternativas para su uso constituye una estrategia idónea para transformar el problema de control del lirio acuático en una oportunidad (Martínez y Méndez, 2022).

Méndez-González et al., (2021) señala que la infestación de lirio acuático origina problemas ambientales, económicos y de salud humana; sin embargo, los esfuerzos para controlar su densidad poblacional son costosos y poco efectivos, para reemplazar estos métodos, se propone establecer formas de aprovechamiento capaces de procesar grandes cantidades de LA a la semana para obtener productos que signifiquen un beneficio económico para la comunidad.

6.3.6. Ladrillos

Los ladrillos cocidos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción, pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo, así como su uso en albañilería, ya sean muros, tabiques, tabicones, etc., se estima que los primeros ladrillos fueron creados alrededor del 6.000 a. C. (Moreno, 1981; Barranzuela, 2014).

La llegada de la revolución industrial en México aportó nuevos esquemas constructivos, que servirían de base para las tecnologías actuales, algunas de estas industrias que producían

ladrillos surgieron en las zonas periféricas de la ciudad de México, una de ellas es la ladrillera “La compañía” en San Gregorio Cuautzingo, esta fue una de las primeras industrias que tomo importancia en un periodo que abarca de 1898 hasta 1910 (Pérez, 2013).

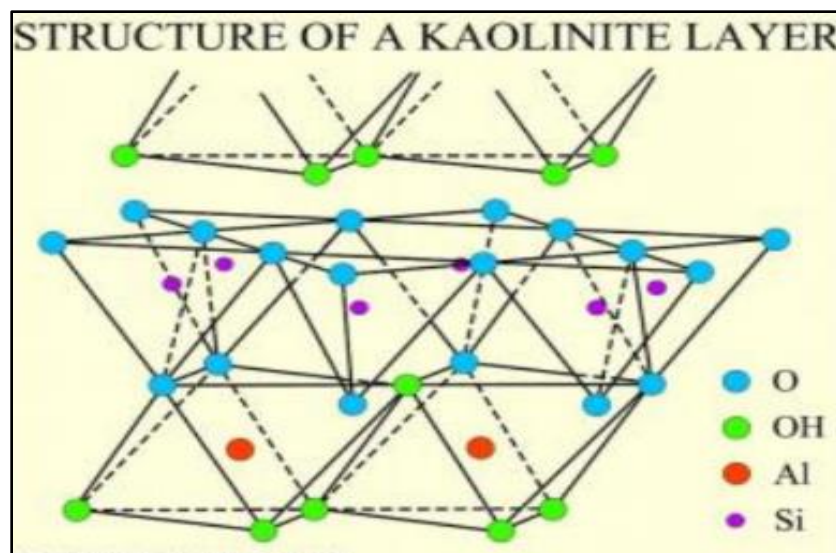
La importancia que ha adquirido el ladrillo a través de su historia lo ha colocado como un material indispensable en la industria de la construcción a nivel mundial, muchas de las construcciones de albañilería que se realizan hoy en día tienen como componente básico al ladrillo, que, en nuestro medio, es elaborado mayormente de arcilla (Barranzuela, 2014).

6.3.7. Arcilla

La arcilla es una sustancia mineral terrosa compuesta de hidrosilicato de alúmina que se hace plástica cuando se humedece y dura cuando se calcina, esta sustancia es la materia prima fundamental para la elaboración de cerámicos refractarios debido a la alta temperatura de cocción que exhibe y su capacidad de no perder solidez (Páliz, 2014).

Figura 7

Estructura molecular de láminas de arcilla.



Nota: Tomado de Páliz (2014).

Zea (2005) señala lo siguiente con respecto a la arcilla:

La materia prima para la fabricación de ladrillos es la arcilla y está compuesta principalmente del mismo que es el aglutinante del conjunto del material y cuerpos que constituyen el material a moldear, esta mezcla debe estar compuesta principalmente de un 47% de sílice, 39% de alúmina y 14% de agua, la composición total de la arcilla debe de representar como mínimo el 25% total de la mezcla para que sea adecuada en el moldeo de ladrillos, sin embargo dependiendo de la clase de arcilla que se utilice en la fabricación de ladrillos se obtendrán distintas características.

6.3.8. Industria ladrillera

La industria ladrillera son aquellos espacios destinados al moldeo y horneado del barro para la fabricación de los ladrillos utilizados para la edificación, se estima una producción anual mundial de 1 500 billones de ladrillos (Berumen-Rodríguez et al., 2021); la alta demanda de este producto ha generado que el proceso se desarrolle de forma artesanal; se señala que la oferta de ladrillos de arcilla cocida elaborados artesanalmente en el país, proviene de la producción la cual genera un número estimado de alrededor de 17,000 ladrilleras distribuidas en casi todo el país bajo condiciones de informalidad en pequeñas unidades de producción como se muestra en la **Figura 8**, con tecnología rudimentaria y que ofrecen productos que difieren en cuanto a dimensiones y características de apariencia así también en sus propiedades mecánicas (INEGI, 2016).

Figura 8

Ladrilleras rudimentarias en el estado de Chiapas.



Nota: Fotografía tomada por Jiménez (mayo, 2020) el cual refleja el área tradicional de una ladrillera chiapaneca para la elaboración de ladrillos de arcilla.

En el estado de Chiapas para la producción de ladrillo se tiene registro de la existencia de 248 ladrilleras repartidas en 26 municipios (Ortiz, 2012; González y Córdova 2019), una de las zonas con mayor producción del estado es la zona centro integrada por cuatro municipios: Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Berriozábal y Suchiapa; únicamente en el municipio de Chiapa de Corzo existen 126 hornos y 428 familias que dependen directamente de la producción de ladrillos rojos (Gómez et al., 2011).

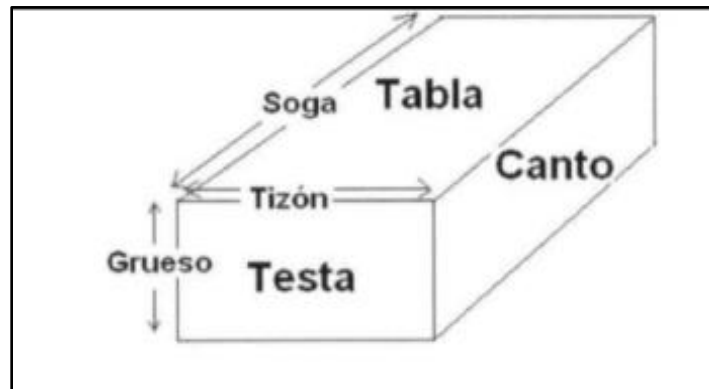
6.3.9. Características del ladrillo convencional

La forma de un ladrillo es un prisma rectangular, sus diferentes dimensiones reciben el nombre de sogá, tizón y grueso, siendo la sogá su dimensión mayor, así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de tabla, canto y testa (véase figura 9), por lo general, el lado más largo se conoce como sogá, el ancho llamado también tizón, es la mitad de la longitud de la

soga, la altura o grueso, puede variar en su longitud dependiendo de los estándares que se siguen (Afanador-García et al., 2012).

Figura 9

Partes geométricas que conforman un ladrillo convencional.



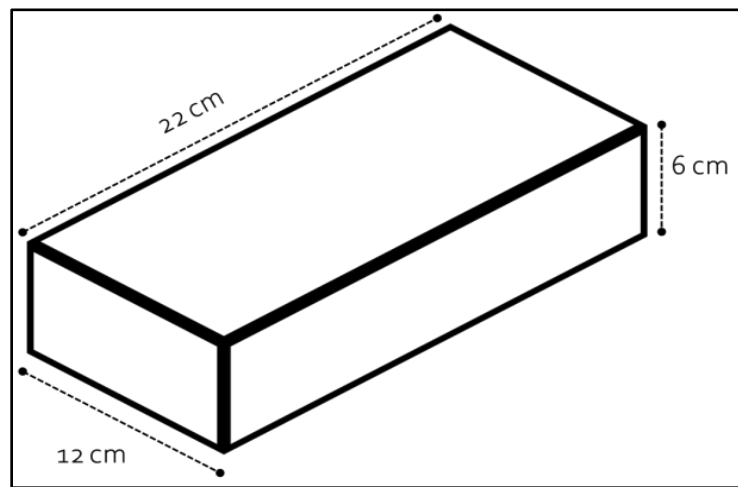
Nota: Tomado de Afanador-García et al., (2012).

Existen diferentes formatos de ladrillos, por lo general de un tamaño que permita manejarlo con la mano, se destaca el formato métrico, en el que las dimensiones son 24 cm x 11,5 cm x 5,25 cm (NTCDCEM, 2010).

En Chiapas específicamente en la zona metropolitana el ladrillo rojo mayormente comercializado es el fabricado de manera tradicional, Ruiz-Sibaja et al., (2011) identificó las variantes geométricas y de peso de diversos especímenes fabricado en esta zona, de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, obteniendo que un ladrillo convencional de la zona tiene una dimensión promedio de: 6 cm de grueso, 12 cm de tizón y 22 cm de soga como se aprecia en la **Figura 10** y con un peso neto de 2.60 kg por ladrillo y un peso volumétrico promedio de 1.506 kg/m³.

Figura 10

Características geométricas de un ladrillo convencional comercializado localmente.



Estas características generales dependen ampliamente de la industria ladrillera en la que se fabrica o en los requerimientos del comprador, sin embargo, estas piezas sin excepción deben de cumplir a lo indicado por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) y por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCDCEM, 2010), no obstante muchas de las piezas fabricadas en esta zona no cumplen con la resistencia mínima a compresión que se recomienda en la normativa y una situación semejante ocurre para el mortero estudiado pues su resistencia promedio a compresión es mucho menos y no clasifican en las características que se menciona en las NTCDCEM (Ruiz-Sibaja et al., 2011).

6.3.10. Clasificación

Las NTCDCEM (2010) especifican que existen 4 tipos de ladrillos conforme a su diseño, características y elaboración (véase Tabla 2), los cuales deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Tabla 2

Peso volumétrico neto mínimo de piezas de ladrillo en estado seco.

Tipo de pieza	Valores en kN/m³ (kg/m³)
Tabique de barro recocido	13 (1300)
Tabique de barro con huecos verticales	17 (1700)
Bloque de concreto	17 (1700)
Tabique de concreto (tabicón)	15 (1500)

Nota: Los valores en la tabla reflejan el peso mínimo que deben tener una pieza de ladrillo para cumplir con la normatividad mexicana vigente establecido en la NTCDCEM (2010).

Los ladrillos fabricados en la zona metropolitana del estado de Chiapas debido a las características de peso volumétrico neto son clasificados como “Tabique de barro recocido” debido a que las características, diseño y proceso de fabricación son desarrollados artesanalmente dentro de las ladrilleras.

6.3.11. Proceso de fabricación del ladrillo

El proceso de fabricación tradicional del ladrillo, ha sido empleado por años, trasladado y enseñado de generación en generación, los métodos empleados en la fabricación del ladrillo son empíricos, basados en la experiencia de los artesanos y para que la fabricación del producto sea de buena calidad esta dependerá directamente del tipo de arcilla que se utilice, libre de impurezas, mezcla homogénea y del correcto proceso que consta de cinco etapas: extracción, mezclado, moldeado, curado y la cocción (Betancourt et al., 2013).

Extracción.

Para la fabricación de ladrillo tradicional se pueden utilizar arcillas roja que se extrae de excavaciones como se ve en la **Figura 11**, una vez extraído el suelo es necesario dejarlo reposar para que se produzca un proceso llamado de pudrición, el cual se va homogeneizando la masa al disolverse las sales, que luego da un mejor manejo para moldear y mejorar los productos terminados; es necesario agregar distintas materias orgánicas, para evitar las roturas o grietas debido a las contracciones, producidas en el secado o cocción, estiércol, aserrín, carbonilla, cáscara de arroz, o cascarilla de algodón, están entre los más usados (Bianucci, 2009).

Figura 11

Extracción del material arcilloso en depósitos.



Nota: Fotografía tomada por Zea (2005).

Mezclado

Se colocan pequeñas cantidades de materia prima (arcilla), humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre, donde el artesano la somete a un amasado continuo con los pies y manos, el proceso puede prolongarse varias horas, durante las cuales se eliminan aquellos

cuerpos extraños que son detectados, con el propósito de dotar de flexibilidad y homogeneidad a la mezcla (Reyes y García, 2022).

Figura 12

Mezclado y amasado del material arcilloso.



Nota: Fotografía tomada por De la Rosa (2015).

Moldeado

La mezcla es sacada de los pisaderos con palas y es trasladado en carretillas hasta la mesa de moldeo, el modelado se efectúa a mano introduciendo la arcilla en un molde doble, para dos adobes, con fuerza, las dimensiones son poco mayores que las del ladrillo terminado, teniendo en cuenta la retracción de la materia prima, que dependerá de sus componentes; seguidamente, con una tablilla se retira el barro sobrante y así es llevada a la cancha de oreo (Zea, 2005).

Figura 13

Moldeado a mano de la mezcla arcillosa.



Curado

Una vez que el ladrillo moldeado ha estado a la intemperie, tras un día o dos de exposición, se completa el proceso curado, apilando los adobes, parados y en forma cruzada, para asegurar un secado parejo, estas pilas deben ser cubiertas con esteras de paja para proteger los ladrillos de las lluvias, que lo convierten en los llamados “ladrillos llovidos”, de mala calidad en su apariencia y resistencia, el tiempo de curado puede demorar 3 o 4 días dependiendo del clima (Bianucci, 2009).

Figura 14

Proceso de curado de los ladrillos.



Cocción

Esta fase es considerada como la parte más importante del proceso de fabricación de los ladrillos tradicionales ya que en esta etapa se producen diversas transformaciones de las dimensiones y características físicas de las piezas, las que, de no transcurrir dentro de ciertas condiciones, producen efectos irreversibles tales como fisuras y deformaciones este proceso se lleva a cabo en los hornos de “campo o campaña” los cuales se arman apilando los adobes en forma de pirámide de dimensiones variables, 10 a 15 m. de largo por 6 a 10 de ancho y una altura de alrededor de 4,50 m., de acuerdo con la cantidad de ladrillos que, generalmente, varía entre 50.000 y 80.000 (Betancourt et al., 2013).

No obstante Bahena-Martínez et al., (2019) expone que esta fase en la producción de ladrillos artesanales es la que presenta mayor problemas ambientales, productivos y sociales, de los que destaca la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera que proceden de fuentes fijas y de área, junto con el CO₂ son el bióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los clorofluorocarbonos (CFC), el metano (CH₄), las partículas de hollín y los metales pesados.

Berumen-Rodríguez et al., (2021) señalan que en los últimos años esta actividad ha generado múltiples problemáticas ambientales derivado de los combustibles utilizados, ya que, son diversos y de baja calidad, como neumáticos, aserrín, cenizas, aceite, plásticos, basura electrónica, entre otros, esta actividad económica se convierte en un problema de salud pública en México.

6.3.12. Alternativas del ladrillo tradicional

Actualmente hay diversas alternativas ecológicas que disminuyen distintas problemáticas ambientales ocasionadas por el proceso que conlleva la obtención de una ladrillo tradicional, pero una alternativa actual y en constante cambio e innovación son los ladrillos ecológicos, Freire y Zevallos (2016) especifican que los ladrillos ecológicos pueden elaborarse con desechos de

construcción civil y otros tipos de residuos sólidos como cáscara de coco, polvo de vidrio, lodo, polvo de mármol, bagazo de caña de azúcar, yeso y sílica, estos materiales siguen un proceso de fabricación que se da de forma mecánica.

6.4. Ladrillos ecológicos

Los ladrillos ecológicos se han clasificado como alternativas significativas en el proceso de producción y reducir el gran aporte de energía necesario para la fabricación de ladrillos convencionales, numerosos estudios están desarrollando la incorporación de diferentes residuos en los ladrillos con el fin de disminuir el aporte de arcilla y la posibilidad de desarrollar ladrillos ecológicos (Cabo et al., 2011).

6.4.1. Tipos de ladrillos ecológicos

Los Ecoladrillos o también llamados ladrillos ecológicos se fabrican con diferentes materiales y algunos son más ecológicos que otros, considerando su nivel de sostenibilidad Duque (2015) los clasifica en:

Ladrillos de ceniza de carbón

Se fabrican con ceniza de carbón, grava y cemento, a temperatura ambiente, el Instituto Tecnológico de Massachusetts ha fabricado el Ecoblac. Este ladrillo combina cenizas producidas por los hornos de las fábricas de papel, con hidróxido de sodio, cal y arcilla, son económicos de producir y se han probado en proyectos de la India y Palestina.

Ecoladrillos compactados

Este tipo de ladrillos se produce con botellas plásticas rellenas de residuos de empaques, se conocen en Colombia y ya han sido probados en algunos proyectos, su solidez proviene de la compactación.

Ladrillos de plástico reciclado o PET

Se usan tanto para muros exteriores como interiores, se elaboran con partículas de botellas plásticas recicladas, que se aglomeran con cemento y aditivos. Se moldean con una máquina manual, lo cual los hace más ecológicos.

Ecoladrillos de fibras orgánicas

Desde hace años se vienen construyendo edificaciones con este material, los cuales tienen cualidades de aislante térmico, optimización de la humedad y su alta resistencia al fuego son sus principales ventajas, además, estos ladrillos se pueden usar en remodelaciones u obras objetivos sostenibles (Maldonado, 2014).

Mediante la aplicación de la técnica de fabricación tradicional de ladrillo el presente estudio de investigación plantea utilizar como aditivo las fibras orgánicas del lirio acuático para la producción de ladrillos ecológicos, implementando así una alternativa sustentable al proceso de producción convencional y que contribuya al desarrollo prácticas constructivas innovadoras en la zona centro del estado de Chiapas.

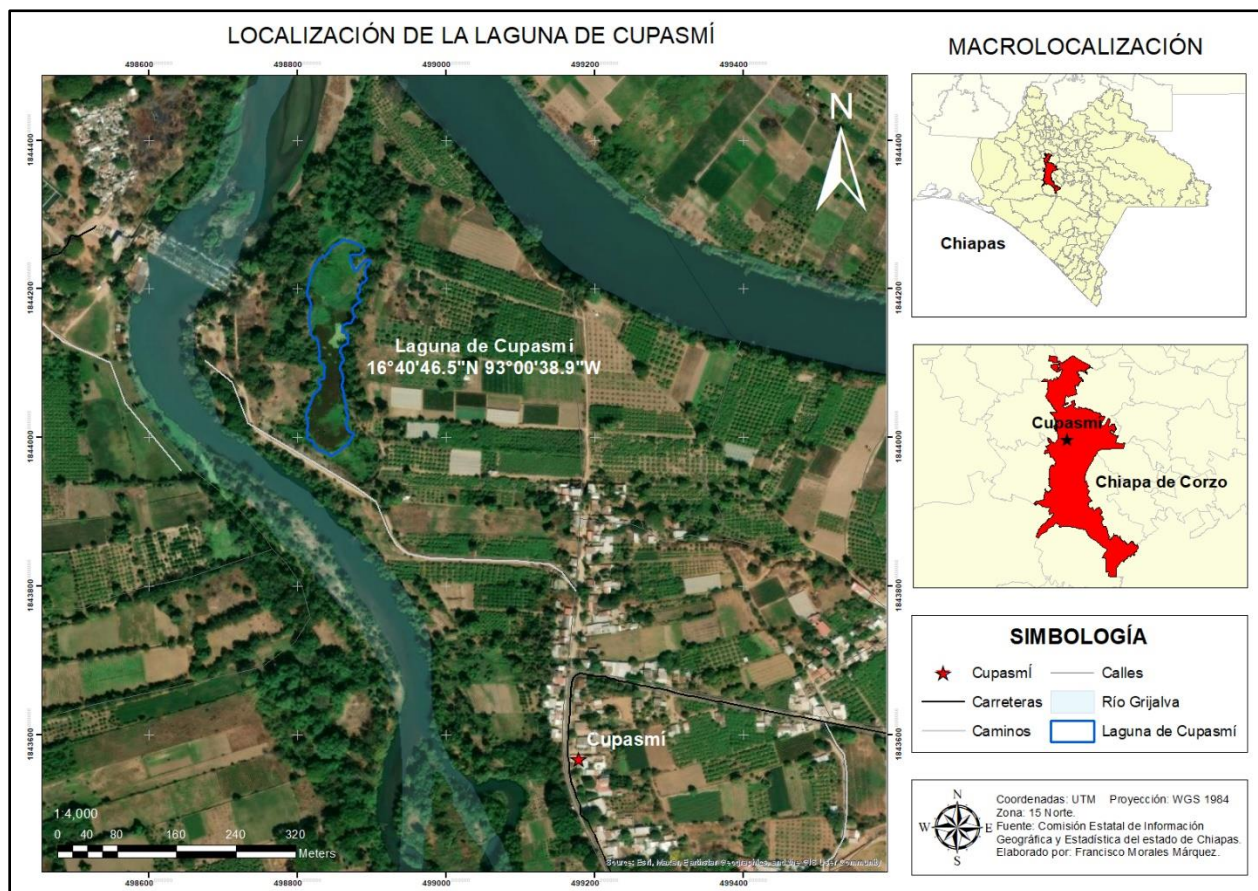
VII.-METODOLOGÍA

7.1. Extracción del lirio acuático

La extracción del LA (*Eichhornia crassipes*) utilizado en la presente investigación se realizó en un cuerpo de agua superficial afectado por esta especie invasora, específicamente es una laguna que se encuentra cercano al río Grijalva y geográficamente se encuentra en la localidad de Cupasmí, perteneciente al municipio Chiapa de corzo, con coordenadas geográficas 16°40'46.5"N-93°00'38.9"W, se muestra a continuación en la **Figura 15** la localización de la zona de extracción.

Figura 15

Mapa de la localización del punto de extracción.



Nota: La laguna de Cupasmí es un cuerpo de agua superficial con un área de 2.36 hectáreas.

En dicha laguna desde el año 2015 la proliferación del LA se ha asentado en un cuerpo superficial de agua de suma importancia ya que converge con un brazo (meandro) del río Grijalva y que actualmente la infestación del lirio acuático se ha tornado como una problemática debido a que esta especie ocupa un 90% del área total de la laguna como se puede apreciar en la **Figura 16**.

Figura 16

Ocupación cronológica del LA, en la laguna de Cupasmí.



Nota: Estas imágenes satelitales se obtuvieron mediante el software de Google Earth y en ellas se hace notorio el crecimiento del LA durante los años de 2011 hasta 2023 en la laguna.

El proceso de extracción aplicado en la laguna de Cupasmí fue el método de extracción manual, sin embargo, previo a la extracción del LA se llevó a cabo la determinación de la densidad de la especie en la laguna afectada por esta plaga, el método utilizado para la determinación de este valor es lo dictado por el Instituto Mexicano de Tecnología del agua el cual especifica la medición de 1 m² en una zona del cuerpo de agua densamente poblada por la especie que afecta el

cuerpo superficial, en el punto medido se procede a la extracción del LA sobre la delimitación como se aprecia en la **Figura 17** y posteriormente a su pesado en húmedo (IMTA, 2019).

Figura 17

Medición de 1m² en una zona densamente poblada por la plaga del LA.



Posterior al proceso de pesado de la especie, la cantidad extraída de LA se recolectó en costales para evitar la proliferación de insectos o la generación de malos olores y previo a pasar al proceso de tratamiento se llevó a cabo inmediatamente el traslado y transporte de la cantidad recolectada al área destinada para el proceso de tratamiento.

7.2. Tratamiento de la especie

Para el proceso de tratamiento se optó por utilizar el método implementado en Páliz (2014) el cual desarrolla un tratamiento de bajo costo para las fibras orgánicas; se aplicó para las raíces del LA una deshidratación térmica (secado al aire libre) colocando la especie sobre una superficie limpia y sin humedad con un intervalo de 5 a 10 días, hasta ser notorio la escasa humedad en las fibras, previo al proceso de trituración, se aplicó un análisis de humedad, con el propósito de

analizar la cantidad de agua que contienen las fibras orgánicas a utilizar en el proceso de fabricación de ladrillos ecológicos.

7.3. Humedad

El LA es catalogado como una planta flotante, sin embargo, su contenido de humedad es alto ya que se encuentra en un porcentaje de entre 90% y 95% de agua, es por ello que se aplicó el análisis de humedad para conocer el porcentaje de agua contenido en las raíces del LA, en el cual se procedió al pesaje de la muestra humedad obtenida en 1 m², posterior al transporte del LA las muestras obtenidas se sometieron a un tratamiento térmico y con ello se procedió al pesado en seco para la determinación del contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad de las fibras del LA con la finalidad de comparar el porcentaje de agua en la muestra obtenida en 1 m² y con ello conocer el peso en seco de la muestra, se utilizó el método establecido por Martines y Lira (2010) donde la humedad se expresa en relación al peso del agua presente en una determinada muestra de fibra y el peso de la muestra luego de ser secada por un tratamiento térmico, obteniendo así que la determinación del contenido de humedad se calcula por la siguiente formula:

$$\% \text{ humedad} = \left[\frac{(P_i - P_f)}{P_i} \right] * 100$$

En donde:

P_i = Peso de la muestra húmeda

P_f = Peso de la muestra en seco

Figura 18

Muestra de las fibras del LA pesado en seco.



7.4. Trituración de las fibras

Se aplicó un proceso de triturado a las raíces del LA debido a que lo señalado por Ongwen y Bandar en 2023 indican que una previa trituración de las raíces favorece al fácil manejo de las fibras durante el proceso de mezclado.

Figura 19

Fibras de LA posterior al proceso de trituración.



Por ello, el proceso de trituración comenzó con el transporte del LA al área de la trituradora, mediante el cual una máquina posee unas pequeñas cuchillas adheridas a un tornillo giratorio que cortaron el LA y posterior a ello se pasaron a un recipiente de almacenamiento, el cual, una vez terminado el proceso de triturado, se verifica que se encuentre en el rango de longitud de entre 0.2 cm y 1.00 cm, así también corroborando que tenga una textura suave y sin humedad como se ve en la **Figura 19**.

7.5. Fabricación de ladrillos ecológicos

7.5.1. Diseño del ladrillo

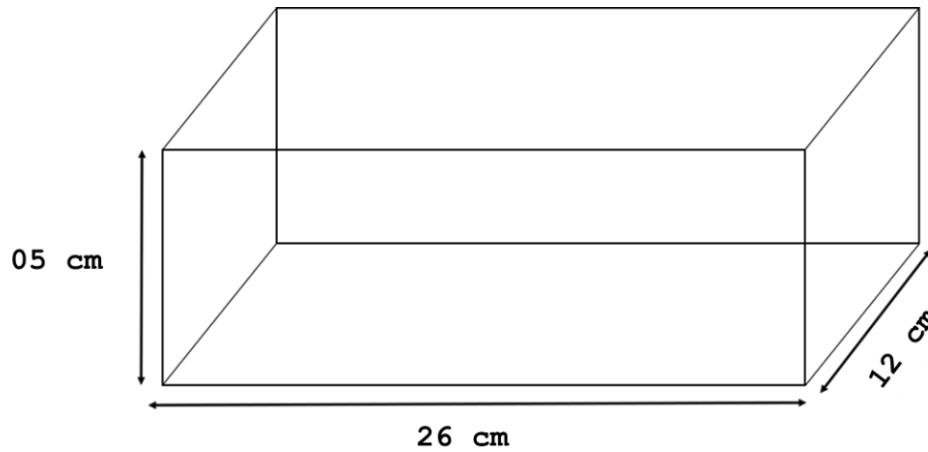
Se elaboró previo a la fabricación de los ladrillos ecológicos el diseño para las características geométricas del ladrillo, dichas medidas utilizadas fueron las establecidas en la norma **NMX-C-404-ONNCCE-2012**, esta es una norma mexicana vigente la cual especifica que las características de los moldes del ladrillo es correspondiente a un cubo rectangular, macizo, los cuales pueden tener imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas, por ser fabricados a mano, como diseño inicial se fabricaron moldes con las características siguientes (véase **Figura 20**):

- **Grueso:** 5 centímetros.
- **Soga:** 26 centímetros.
- **Tizón:** 12 centímetros.

Las características geométricas implementadas en la fabricación de los moldes se establecieron para cumplir la normatividad mexicana vigente **NMX-C-404-ONNCCE-2012**, debido a que los ladrillos deben cumplir con lo especificado dentro de los estándares de calidad mencionados en la norma anterior.

Figura 20

Diseño geométrico aplicado para los ladrillos ecológicos.



7.5.2. Adición y mezclado

En la elaboración de los distintos porcentajes de material arcilloso y el diseño experimental se estableció conforme a la metodología especificada por Goel y Kalamdhad (2018) en el cual se usaron porcentajes escalados de adición de LA (peso en seco) teniendo como punto de partida el 5% de adición a la mezcla arcillosa.

Tabla 3

Diseño experimental aplicado en la fase de adición del LA.

% Adición	% Material arcilloso	Especímenes
0%	100%	100
5%	95%	100
10%	90%	100
20%	80%	100

De tal forma que los especímenes que se fabricaron en el diseño experimental son de composiciones porcentuales distintas de LA, así mismo utilizando un blanco el cual aplicaría como especímenes sin adición (ladrillos fabricados tradicionalmente); el diseño experimental se presenta en la **Tabla 3**, para la fabricación de estos especímenes se señala que durante la fabricación se hizo uso de una misma mezcla arcillosa para todos los porcentajes durante el proceso experimental, únicamente añadiendo el porcentaje correspondiente y distinto a los demás de LA durante el mezclado del material arcilloso.

En el desarrollo del diseño experimental se realizó la fabricación de 100 ladrillos ecológicos (especímenes) por cada porcentaje señalado.

En esta fase se procuró el cumplimiento de la normatividad mexicana vigente establecido por la **NMX-C-036-ONNCCE-2013**, la cual especifica que para pruebas validas de calidad para piezas de mampostería se seleccionarán de un lote de 100 ladrillos, 10 de manera aleatoria, de los cuales 5 especímenes serán para la determinación de resistencia a la compresión y 5 especímenes para la determinación de absorción y humedad.

7.5.3. Moldeado y curado

La compactación y moldeado de los especímenes se aplicó de una forma tradicional asegurando que el moldeado de todos los especímenes producidos en el diseño experimental se manipulara por un único productor, para posterior a ello proceder al proceso de curado, el cual es se desarrolló un proceso de secado al sol durante 5 días, en esta fase se siguieron los lineamientos establecidos por la fabricación tradicional de ladrillos de la zona.

7.6. Evaluación mecánica

Derivado a que el presente estudio tiene como propósito generar ladrillos no tradicionales y que cumplan con los estándares de calidad se buscó dar cumplimiento con las normas técnicas

complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería (NTCDCEM, 2010), esta norma mexicana señala tres principales pruebas que deben ser aplicadas a los especímenes, en la **Tabla 4** se especifican las características de dichas pruebas.

Tabla 4

NTCDCEM a implementar en el proyecto.

NORMA	ESPECIFICACIONES
NMX-C-036-ONNCCE-2013	Industria de la construcción-mampostería, método de ensayo para la determinación de resistencia a compresión en bloques, tabiques, ladrillos, tabicones, celosías y adoquines de fabricación nacional.
NMX-C-404-ONNCCE-2012	Norma que establece la clasificación de las piezas conforme a su geometría, material y tipo; especifica el área neta mínima, las dimensiones y tolerancias, la resistencia a la compresión, la absorción inicial, la absorción total de agua y la contracción por secado de acuerdo con su clasificación.
NMX-C-037-ONNCCE-2013	Establece el método para determinar la cantidad de agua absorbida al sumergirse completamente en agua por un largo periodo (absorción total; así como la cantidad de agua que absorben por capilaridad al sumergirse una de sus caras por un periodo corto (absorción inicial).

Nota: La tabla contiene las tres normas en la cual la investigación se basó para realizar la metodología aplicada, adaptado de NTCDCEM (2010).

Para que los ladrillos ecológicos puedan ser utilizados en estructuras de carga en mampostería de forma general las pruebas a cumplir con respecto a lo anteriormente mencionado son la resistencia a compresión, absorción, humedad y características físicas; las pruebas y análisis físico-mecánicos especificados se desarrollaron en un laboratorio certificado siguiendo estrictamente las especificaciones establecidas en las normas vigentes mexicanas.

7.6.1. Prueba de resistencia a compresión

Para el análisis y verificación de la **NMX-C-036-ONNCCE-2013** se aplicó la metodología dictada por Páliz en el 2014, en el que se realizó dicha prueba verificando que las caras de los ladrillos estén planas y paralelas, se pesaron los ladrillos y se tomaron las dimensiones, posteriormente se colocó una de las muestras en la máquina de ensayo centrándola con respecto a la rótula, de manera que la carga se aplicó en la dirección de su menor dimensión, esta carga fue aplicada lentamente hasta que la parte superior del ladrillo tocó contacto con la superficie de la máquina y se generó la primer grieta superficial.

La carga restante se aplicó gradualmente, en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos, se tomó la lectura de la carga máxima aplicada, y se procedió a realizar los cálculos.

La resistencia a la compresión se calculó por la ecuación siguiente:

$$COMPRESIÓN (C) = \frac{P}{A}$$

Dónde:

C = resistencia a la compresión.

P = carga aplicada y A = área de contacto del ladrillo.

7.6.2. Evaluación física

La **NMX-C-404-ONNCCE-2012** establece que, para la determinación de la masa de los ladrillos, se deben pesar los especímenes fabricados en una báscula calibrada con un rango no mayor a 40 kilos, para así obtener el peso neto de cada uno de los ladrillos fabricados, así mismo se señala que para la determinación de la geometría de los especímenes se utilizó un flexómetro para la medición de cada una de las partes de un ladrillo.

7.6.3. Pruebas de absorción

La **NMX-C-037-ONNCCE-2013** especifica que para la determinación de absorción total los especímenes deben de estar en peso constante, para el cumplimiento de dicha norma se procedió a utilizar un horno que tenía la capacidad de soportar 24 horas con una temperatura constante de 110 °C, una vez transcurrido ese tiempo los especímenes se dejaron reposar por 6 horas y se sumergieron en agua potable con una temperatura de entre 15 °C a 30 °C durante 24 horas de forma paralela entre cada espécimen.

Posterior a ello, transcurridas las 24 horas se sacó del almacenamiento de agua cada muestra y se secaron superficialmente con papel absorbente, luego se procedió a tomar el peso de cada espécimen, una vez obtenido el peso seco de la muestra se llevó a cabo el cálculo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción } \frac{P2 - P1}{P1} \times 100$$

Dónde:

P2 = peso de la muestra superficialmente seca después de 24 horas de inmersión.

P1 = peso de la muestra seca en el horno.

VIII.-RESULTADOS

8.1. Humedad

Los resultados obtenidos en los análisis de humedad señalan que el lirio acuático posee un alto contenido de agua, alcanzando un 85% de humedad esto se ve reflejado en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Comparativa del peso mojado y peso en seco del lirio acuático.

Agua (Peso mojado)	Planta LA (Peso seco)
85%	15%
9.440 Kg	1.435 Kg
1000 Kg	150 Kg

La **Tabla 5** refleja el porcentaje de agua contenida en las raíces del LA y el porcentaje recuperable de raíces secas para su uso en la fabricación de ladrillos ecológicos, como se observa el LA extraído de la laguna de Cupasmí es una especie que presenta un 85% de humedad y solo el 15% de raíces secas es recuperable, es decir que, en términos de peso, una muestra inicial de 1000 Kg (una tonelada) de LA, el resultado del tratamiento térmico sería la obtención de 150 Kg de raíces para usar en el proceso de fabricación.

Estos resultados se obtuvieron mediante la comparación de dos procesos, en el cual, el primero consistió en el pesado de la especie en húmedo, y posterior al proceso de tratamiento térmico, se determinó el peso de la especie en seco (véase **Figura 21**).

Figura 21

Pesado del lirio acuático.



Nota: La imagen representa los dos procesos de pesado para la determinación de humedad del LA en donde se aprecia en a) Pesado en húmedo del LA, b) Pesado en seco del LA.

8.2. Fabricación de los Especímenes

Debido a que la **NMX-C-036-ONNCCE-2013** establece que para pruebas validas de calidad se debe seleccionar un lote de 100 ladrillos, se fabricaron la cantidad de 300 ladrillos ecológicos (100 por cada adición) tal como se ve en la **Figura 22**, con porcentajes al 20%, 10%, 5% y otros 100 especímenes que aplicaron en las evaluaciones como blancos. La dosificación de LA se realizó conforme al peso en seco de la arcilla necesaria para la fabricación de 100 ladrillos, esto se refleja en la **Tabla 6**.

Tabla 6

Peso en kilogramos del LA dosificado para la fabricación de 100 ladrillos.

Dosificación	Kg de arcilla	Kg de LA
20%	260	65
10%	292.50	32.50
5%	308.75	16.25
0%	325	0

Figura 22

Especímenes fabricados para la realización de pruebas físico-mecánicas.



Estos 400 especímenes fueron fabricados de un mismo aditivo, mezcla y se manipularon por una única persona, posterior al proceso de fabricación los especímenes fueron evaluados en un laboratorio certificado de estudio de mecánica de suelos y resistencia de materiales “LabSur”.

8.3. Evaluaciones Físicas

8.3.1. Área Neta

Las dimensiones de área neta mínima y peso volumétrico neto mínimo de los especímenes están establecidos en la **NMX-C-404-ONNCCE-2012**, para el cálculo de esta caracterización como se visualiza en la **Figura 23** se utilizó una balanza previamente calibrada, en la cual, espécimen por espécimen fue pesado y con un flexómetro se determinó el área neta de este.

Como primer análisis, el diseño del ladrillo establecido bajo las condiciones especificadas en la anterior norma arroja que los especímenes con adición de LA, moldeados con las características del diseño experimental cumplen con el área neta mínima permisible sobrepasando los 290 cm² de área neta mínima que requiere el espécimen para cumplir con los estándares de

calidad, siendo los ladrillos fabricados convencionalmente los que se encuentran en el límite del área neta mínima permisible, siendo estos de menor tamaño que los adicionados con lirio acuático.

Figura 23

Evaluaciones físicas realizadas a los especímenes.

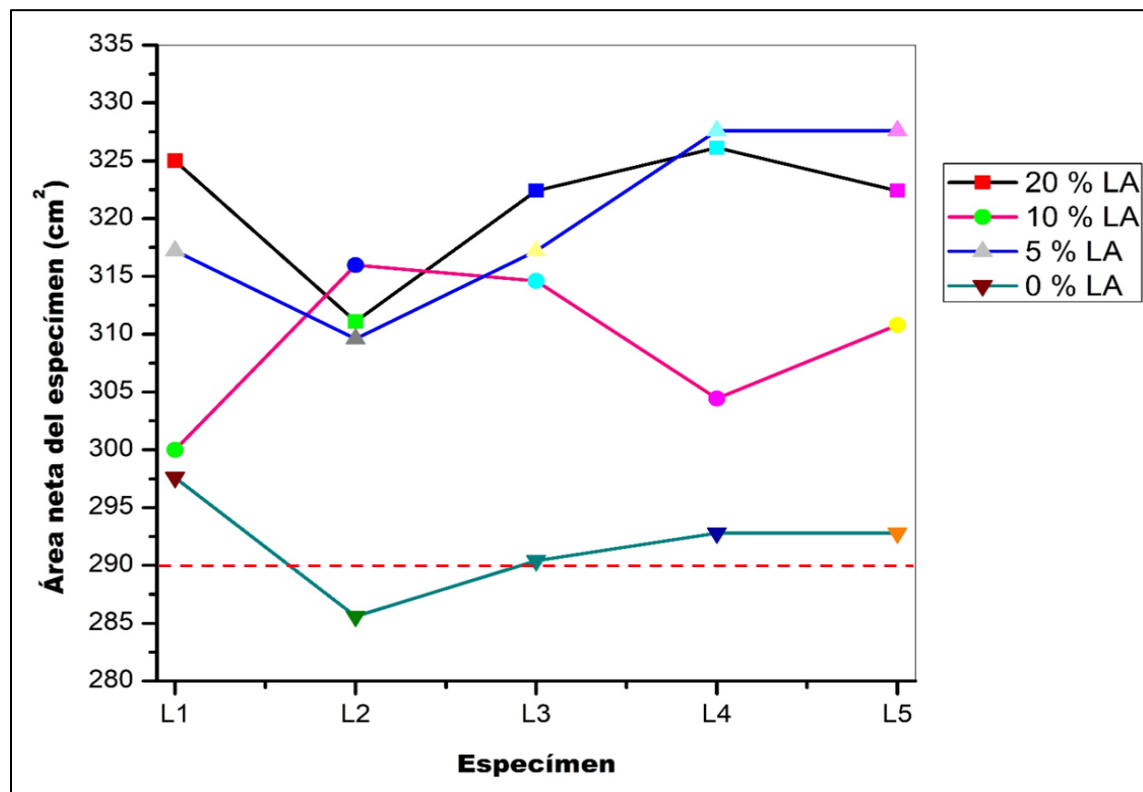


Nota: En la figura se aprecia a) la medición de los especímenes y b) determinación de la masa.

En la **Gráfica 1** se muestra una leve variación del área neta de los especímenes de ladrillos fabricados con diferentes porcentajes de lirio acuático (20%, 10% y 5%), sin embargo, para el 0% de adición (blanco) el área neta mínima de los especímenes muestra un valor constante cercano a los 295 cm², manteniendo una tendencia que limita con los mínimos permisibles establecidos en la **NMX-C-404-ONNCCE-2012**, los especímenes con 5% de lirio acuático son los que se fabricaron con un área mayor, fluctuando alrededor de 325 cm² con un pico en la muestra L4.

Gráfica 1

Resultados de las evaluaciones de área neta.



Los especímenes en la **Gráfica 1** que fueron evaluados están representados en el eje X como L1, L2, L3, L4 y L5, siendo estos la cantidad de ladrillos señalados por la normatividad para obtener resultados validos con respecto a calidad de materiales de mampostería.

Se establece que la adición de un 10% de lirio acuático demuestra una tendencia más variable, con valores que oscilan entre los 315 cm² y los 320 cm² y los especímenes con 20% de lirio acuático presentan una fluctuación notable en el área neta, especialmente en las muestras L1 y L2, alcanzando valores mínimos de 300 cm², el cual está en el límite de lo mínimo permisible por la norma, se señala que los especímenes adicionados con el 5%, 10% y 20% reflejan en la **Gráfica 1** características geometrías similares las cuales cumplen con la normatividad, siendo los

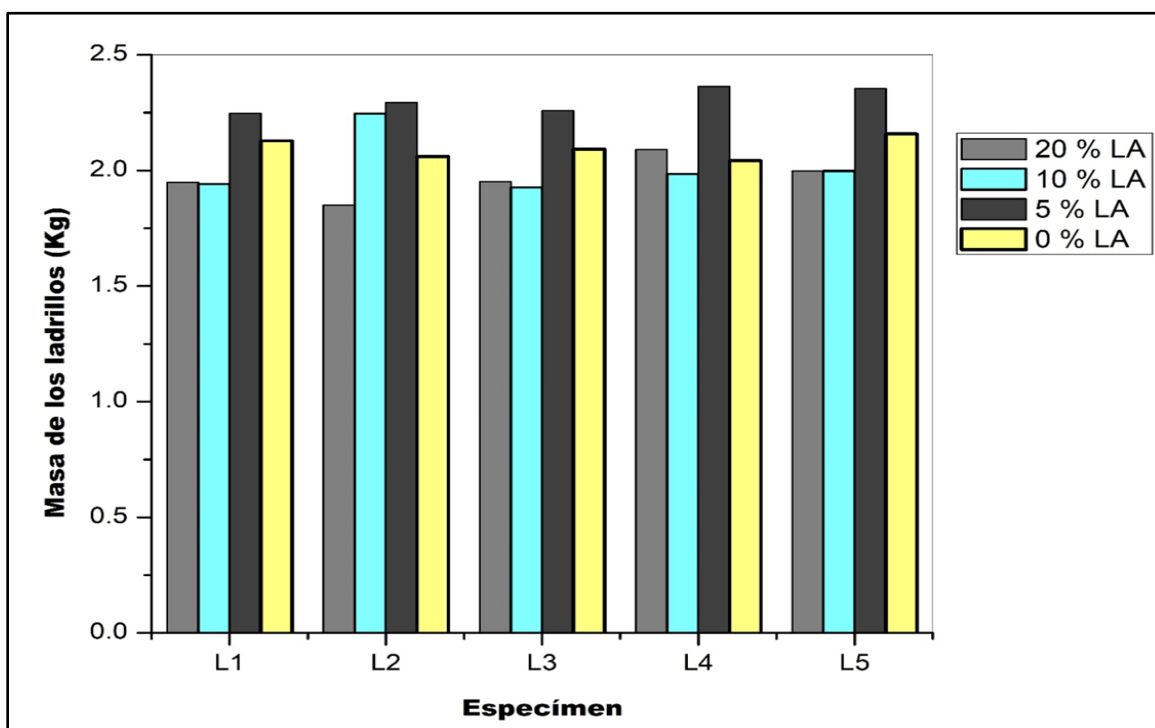
especímenes que son comercializados tradicionalmente en la zona los que están en el límite de los mínimos permisibles dictados por la **NMX-C-404-ONNCCE-2012**.

8.3.2. *Peso Volumétrico Neto*

La **NMX-C-404-ONNCCE-2012** especifica que la masa máxima permisible de un ladrillo elaborado tradicionalmente es de 2.65 Kg, en la **Gráfica 2** se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis de peso volumétrico neto de los diferentes porcentajes adicionados.

Gráfica 2

Resultados de las evaluaciones de la masa de los especímenes.



La **Gráfica 2** presenta el peso volumétrico neto de ladrillos fabricados con diferentes porcentajes de lirio acuático (LA) en las muestras etiquetadas como L1 a L5 y en ella se identifica que los ladrillos con 0% de lirio acuático muestran una masa cercana a los 2.0 kg en todas las muestras, los ladrillos con 5% de lirio acuático presentan las masas más elevadas, con valores que oscilan alrededor de los 2.2 kg, así mismo los ladrillos con 10% de lirio acuático muestran una

masa intermedia, con variaciones entre 1.8 y 2.0 kg, los ladrillos con 20% de lirio acuático tienen una masa similar a los de 10%, fluctuando alrededor de 1.9 kg en promedio.

Se especifica conforme a los resultados obtenidos que con una mayor adición de lirio acuático el peso del espécimen resulta menor, siendo esto reflejado en los especímenes de mayor peso los cuales son los adicionados con menor porcentaje de lirio acuático (0% y 5%).

8.4. Evaluaciones Mecánicas

8.4.1. Resistencia a compresión

Para el desarrollo de esta evaluación se realizaron ensayos de resistencia a compresión (véase **Figura 24**) a los especímenes desarrollados en el proceso de fabricación, de cada porcentaje adicionado se procedió a la aplicación de pruebas de resistencia a la compresión a únicamente 5 especímenes seleccionados aleatoriamente, ya que así lo establece la normatividad vigente; para esta evaluación se obtuvo el análisis y aplicación de pruebas de compresión a 20 especímenes, con una edad de maduración de 8 días posterior a su producción.

Previo a la aplicación de las pruebas de resistencia a compresión se implementó el cabeceo de los prototipos como se ve en la **Figura 25** para un cálculo más certero, esto debido a lo señalado por la **NMX-C-036-ONNCCE-2013**, la cual señala que los cabeceos de los especímenes para compresión deben de ser planos dentro de una tolerancia de ± 0.05 metros puesta en todas las direcciones ortogonales.

Figura 24

Pruebas de resistencia a la compresión aplicadas a distintos porcentajes de adición.



Figura 25

Cabeceo aplicado para las pruebas de resistencia a la compresión en especímenes.

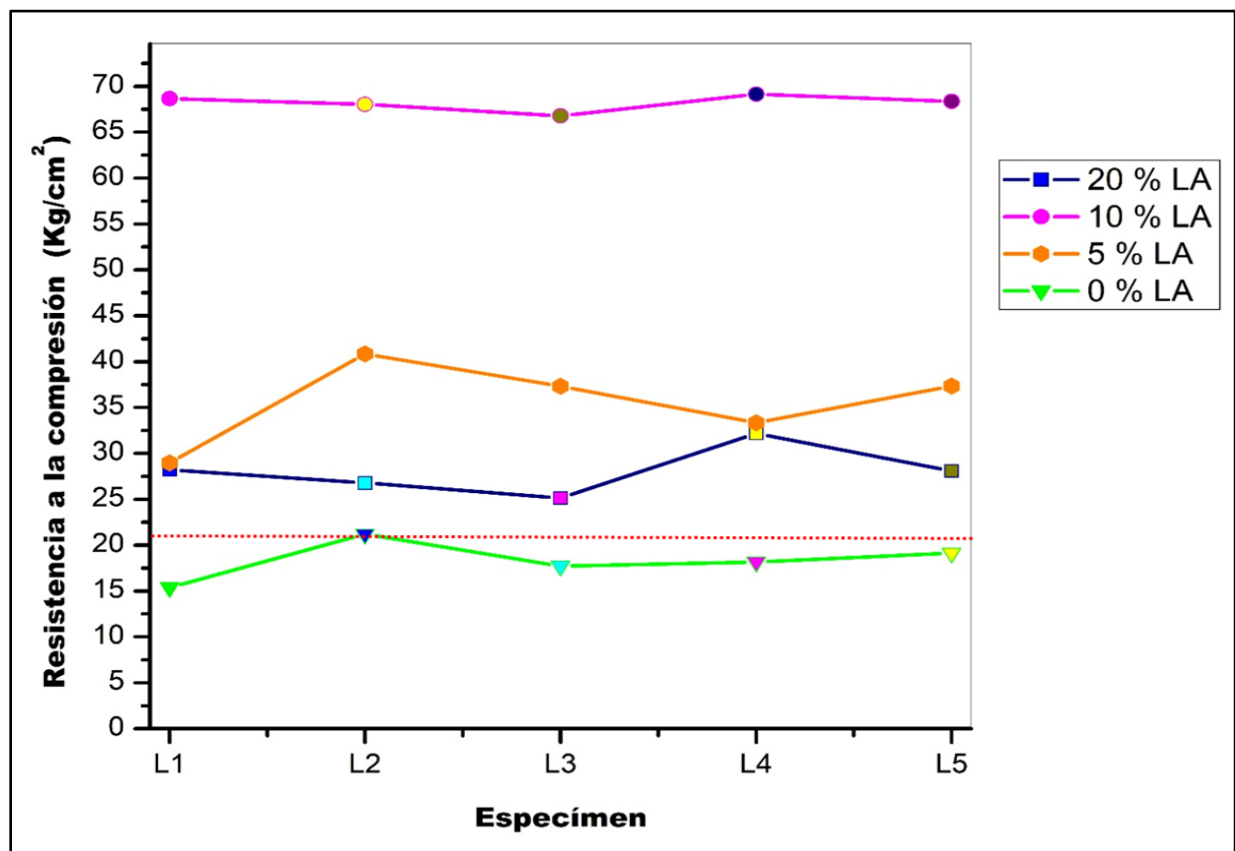


Nota: Se destaca en la figura las grietas que se obtuvieron con distintos porcentajes de LA.

En la **Gráfica 3** se reflejan los valores obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión, se señala que los porcentajes que mayor resistencia a la compresión obtuvieron fueron los adicionados con 10% y 5% de LA, los de menor resistencia corresponden a los adicionado con 20% y 0% de LA, la **NMX-C-036-ONNCCE-2013** establece que el mínimo permisible para este factor es de 20.39 Kg/cm² (línea roja), el cual es un factor de suma importancia no estar debajo de este límite para los materiales de construcción utilizados para muros de carga.

Gráfica 3

Resistencia a la compresión obtenida de los especímenes evaluados.



Es importante destacar que la mayor resistencia a la compresión lo obtuvieron los especímenes adicionados con 10%, con un promedio de resistencia de 68.5 kg/cm² el cual triplica la resistencia obtenida para los ladrillos que se comercializan tradicionalmente, estos especímenes

obtuvieron una resistencia de 18.7 kg/cm^2 , reflejando que los ladrillos tradicionales fabricados en la zona no cumplen con los estándares de calidad dictados por la **NMX-C-036-ONNCCE-2013**, así mismo, la **Gráfica 3** refleja que una adición mayor de LA reduce la resistencia a la compresión del ladrillo como en el caso de los especímenes adicionados con el 20%, estableciendo en la presente investigación que un porcentaje óptimo del 10% genera propiedades de resistencia mayores a los convencionalmente comercializados en la región y que cumplen bajo los estándares de calidad establecidos en las normas mexicanas vigentes.

8.4.2. Absorción

El método de evaluación para la determinación de absorción para los especímenes (véase Figura 26) se desarrolló mediante lo especificado en la **NMX-C-037-ONNCCE-2013**, en el cual se especifica que de un lote de 100 ladrillos 5 especímenes son seleccionados para determinar la absorción total de los porcentajes adicionados y el blanco utilizado.

Figura 26

Determinación de la absorción de los especímenes.

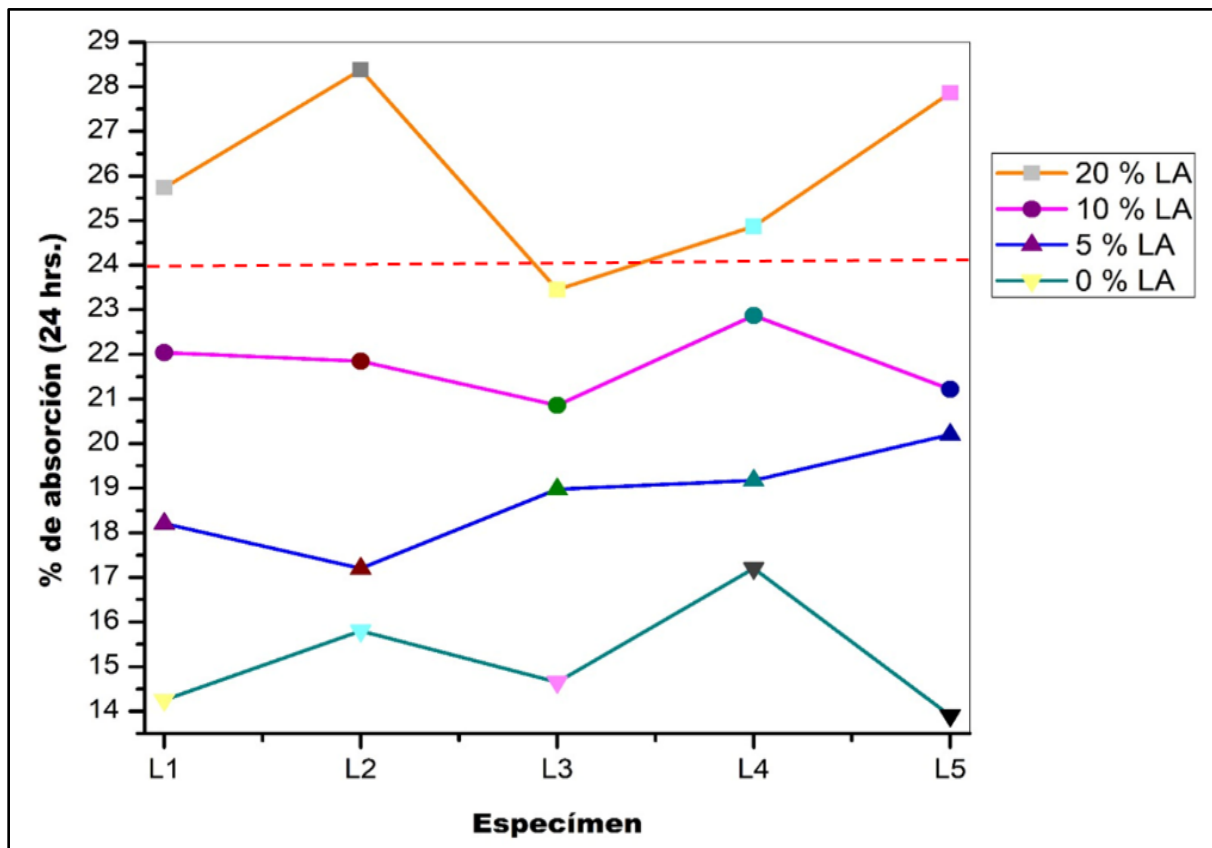


Nota: Los especímenes fueron llevados a peso constante en un horno durante 24 horas.

Los resultados de la determinación de la absorción con los especímenes seleccionados para la aplicación de esta prueba se ven reflejados en la **gráfica 4**.

Gráfica 4

Absorción total obtenida en 24 horas de los especímenes evaluados.



Abordando los resultados obtenidos en la **Gráfica 4** se señala que una mayor adición de LA (20%) aumenta la porosidad del espécimen ya que los ladrillos adicionados con 20% de LA presentan los mayores porcentajes de absorción, con valores que en casi todos los especímenes puestos a prueba superan el límite del 24%, lo que indica una alta absorción de humedad de estos, sin embargo los porcentajes de adición del 10% y 05% están por debajo de los máximos permisibles para absorción, ya que se destaca que mantienen un porcentaje de absorción cercano al 22%, siendo estos porcentajes aptos dentro de lo especificado en los estándares de calidad de

la **NMX-C-037-0NNCCE-2013**, así mismo, los ladrillos sin adición de lirio acuático, es decir, con 0%, presentan los menores porcentajes de absorción, alrededor del 15%, lo que indica una mayor resistencia a la absorción de agua.

A partir de lo anterior se señala que los mayores porcentajes de adición de LA (20%, 10% y 5%) tienen la capacidad de absorber considerables proporciones de agua lo que está directamente relacionado con la formación de una estructura porosa que permite el ingreso del agua durante un tiempo de 24 horas.

IX.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos señalan que una mayor adición de LA no genera un aumento en las propiedades físico-mecánicas del ladrillo, ya que una adición del 20% resultó en una resistencia a la compresión significativamente menor con respecto a otras dosificaciones (10%y 5%), por lo que no respalda la hipótesis inicial la cual especifica que la mayor proporción de LA obtendría las características físico-mecánicas óptimas para ser utilizado como material de construcción en estructuras de mampostería.

Los resultados obtenidos en la presente investigación se asimilan con el estudio realizado por Goel y Kalamdhad (2018) en donde se fabricaron diferentes mezclas de LA con material arcilloso para la fabricación de ladrillos cocidos, a estos especímenes se les aplicaron pruebas de absorción, resistencia a la compresión y eflorescencia, se destaca que de los resultados obtenidos señalan que una mezcla óptima del 10% de LA como sustituto porcentual del material arcilloso resultó adecuado para la producción de ladrillo, obteniendo una resistencia a la compresión de 40.78 Kg/cm² y una absorción total de 21% lo que demostró la viabilidad de utilizar una maleza acuática como aditivo en la producción de ladrillos cocidos.

En cuanto a la absorción total los resultados obtenidos se comparan con los determinados por Ongwen y Bandar (2023) en el que se analizó la influencia de los aditivos de LA y BCA el coeficiente de transmisión acústica y la porosidad del ladrillo, se determinó en este estudio que los dos aglutinantes exhibían comportamientos diferentes, mientras que el BCA redujo el coeficiente de transmisión y la porosidad (de 0% al 11%) y aumentó la resistividad del flujo de aire, se demostró que el LA aumenta el coeficiente de transmisión y la porosidad con un aumento que va desde el 0 % al 15 % lo que genera una reducción en la resistividad del flujo de aire.

Se determina a partir de los resultados obtenidos en la presente investigación que el aumento porcentual de lirio acuático (LA) en la mezcla de arcilla para la elaboración de ladrillos ecológicos provoca un incremento en la porosidad del material, y se señala que el incremento en la porosidad de los ladrillos tiene un efecto directo sobre las propiedades mecánicas, en particular en la resistencia a la compresión.

Comparando también estos resultados con estudios que demuestran la viabilidad del uso de fibras orgánicas para la fabricación de ladrillos, se destacan los resultados obtenidos por Páliz (2014) en el que se caracterizó física y químicamente el raquis de palma africana y se obtuvieron resultados mayores con respecto a la resistencia a la compresión ya que con un porcentaje óptimo del 38% de adición de raquis de palma se obtuvo una resistencia de 114 Kg/cm^2 , sin embargo los resultados de absorción total obtuvieron una media 33.47% lo que señala que no está dentro los límites permisibles de la normatividad mexicana vigente.

Estar dentro de los límites permisibles establecidos en la normatividad mexicana es fundamental para garantizar la calidad y seguridad estructural de edificaciones, estos valores aseguran que los materiales de construcción tengan las características necesarias para soportar cargas, un valor de absorción que sobrepasa la norma tiene un alto contenido de agua lo que genera mayor humedad en la estructura y su degradación, así mismo una resistencia a la compresión por debajo de la norma refleja una estructura débil, inestable y propensa a colapsar.

El análisis de estas comparaciones especifica que las propiedades físico-mecánicas de un ladrillo dependen en gran medida de las características de las fibras orgánicas con las que se mezclan, cada tipo de fibra orgánica posee propiedades particulares como se ha señalado en la: absorción de humedad, la flexibilidad o la resistencia a la tracción; esto generan diferentes interacciones con el

material arcilloso y estas interacciones pueden influir significativamente en pruebas de cohesión, porosidad y específicamente en la resistencia y durabilidad del ladrillo.

Como se destaca en la **Tabla 7** con una adición del 10% de LA aplicada a la fabricación de ladrillos ecológicos se obtienen las características físico-mecánicas óptimas y en las cuales, se cumple con lo establecido en la normatividad mexicana vigente para ser utilizados como materiales de construcción.

Tabla 7

Resultados obtenidos en las evaluaciones físico-mecánicas.

% Adición	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)	% Absorción promedio	Masa promedio (Kg)	Área promedio (cm ²)
0%	18.324	15.60%	2.096	291.84
5%	35.564	18.75%	2.3032	319.84
10%	68.198	21.76%	2.0196	309.164
20%	28.073	26.06%	1.9676	321.404

X.-CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación para la fabricación de ladrillos ecológicos con la adición de LA revelan que la adición de un porcentaje mayor no representa el aumento de las características y propiedades físico-mecánicas de un ladrillo, ya que un porcentaje de 10% es el óptimo para funcionar como un aditivo, debido a que estos especímenes alcanzaron una resistencia a la compresión de 68.19 kg/cm² y un porcentaje de absorción de 22.4%.

Estos valores obtenidos no respaldan la hipótesis propuesta en el presente trabajo de investigación y denotan favorablemente que el porcentaje óptimo de adición es del 10% ya que en

comparación con las evaluaciones aplicadas a otros porcentajes de adición del LA, el 0% mostró una resistencia a la compresión menor a la establecida por las normas mexicanas vigentes y un porcentaje de absorción bajo, mientras que la adición del 5% se encuentra en el límite de la resistencia a la compresión mínima permisible, así mismo se señala que el 20% presentó una absorción excesiva, conforme al máximo permisible de 24% de humedad establecido en la normatividad mexicana vigente.

Se señala que la mezcla optima de adición de LA para la fabricación de ladrillos ecológicos que cumplan con la normatividad mexicana vigente para ser utilizados como materiales de construcción en estructuras de mampostería son los ladrillos ecológicos adicionados con el 10% de lirio acuático como material aditivo.

La incorporación del 10% de lirio acuático no solo aumento las propiedades mecánicas y físicas de los ladrillos, sino que también permitió mantener las características dimensionales en el proceso de fabricación con una masa similar al de los ladrillos comercializados tradicionalmente en la región, esto sugiere que el uso de esta cantidad porcentual de lirio acuático en la mezcla es viable desde el punto de vista de la producción industrial, sin comprometer la calidad del producto final y los procesos tradicionalmente aplicados en la industria ladrillera, este aprovechamiento destaca el potencial del lirio acuático como un recurso para la fabricación de materiales de construcción, promoviendo una alternativa para la disminución de las problemáticas ambientales que subyacen de esta plaga.

La presente investigación muestra parcialmente que la incorporación de lirio acuático en la producción de ladrillos ecológicos presenta un potencial significativo para el desarrollo de materiales de construcción ecológicos, sin embargo, previo al uso de estas alternativas en dicho

ámbito se tienen que identificar rigurosamente las propiedades físico-mecánicas de los materiales, lo que sugiere la necesidad de ampliar en lo posible las pruebas a implementar.

Así mismo, se señala que la principal limitación de esta investigación radica en la aplicación de únicamente cuatro pruebas físico-mecánicas las cuales fueron la absorción total, resistencia a compresión, volumen y área, dichas pruebas se aplicaron como fundamento base en el cumplimiento normativo mexicano vigente y los estándares de calidad especificados en sus apartados, no obstante, existen otros tipos de pruebas como la flexión, capacidad térmica, resistencia acústica y la durabilidad del ladrillo, las cuales pueden garantizar un material de mayor calidad, en pruebas como lo, se destaca que el aumento de pruebas para las evaluaciones de las características de un ladrillo ecológico permiten un análisis completo de las propiedades del material, asegurando un producto de calidad en el ámbito de la construcción.

XI.-RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones sobre la incorporación de LA en la fabricación y producción de ladrillos ecológicos, se recomienda ampliar el rango de pruebas físico-mecánicas, incluyendo análisis de durabilidad, resistencia al desgaste, flexión, abrasión, etc., esto permitirá simular mayormente el comportamiento de los ladrillos ecológicos en un entorno real y con ello determinar su aplicabilidad en diferentes tipos de construcción, así mismo se recomienda realizar una caracterización química de las interacciones que surgen de diferentes tipos de fibras y el material arcilloso lo cual puede ofrecer una perspectiva más amplia sobre la viabilidad de producción de materiales de construcción con la adición de fibras orgánica.

Previo a la comercialización de estos ladrillos ecológicos se recomienda evaluar su potencial mediante un estudio del producto en el mercado que analice tanto las factibilidades económicas

como sociales, enfocándose principalmente en costos de producción, aceptación en el mercado, y competitividad frente a la producción tradicional, así como la disposición de las ladrilleras de adoptar un proceso diferente al actual.

Las principales limitaciones del presente estudio surgen de la representatividad y escalabilidad de los resultados obtenidos, debido a que la investigación se desarrolló en una escala reducida y la capacidad para registrar de manera periódica y sistemática ciertos parámetros bajo condiciones estrictamente controladas se vio restringida, debido a esto los resultados obtenidos deben interpretarse como aproximaciones experimentales que, si bien aportan evidencia inicial, requieren ser corroborados en escenarios de mayor variabilidad.

Así mismo, es importante señalar que el LA empleado proviene de un único cuerpo de agua superficial afectado, siendo este un parámetro importante que establece una línea base de investigación ya que puede variar la obtención de resultados dado que las propiedades físico-químicas del LA cambia sustancialmente según su origen. Por ello, los resultados observados podrían variar si se aplicará el mismo enfoque, pero en diferente región.

REFERENCIAS

- Afanador-García, N., Guerrero-Gómez, G. y Monroy-Sepúlveda, R. (2012).** Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 22(1), 43-58. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91125275003.pdf>
- Aguirre, A. R. y Mendoza, A. (2009).** Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. *Capital natural de México*, pp. 277-318. https://www.islas.org.mx/articulos_files/2009.%20Aguirre%20Mu%C3%B1oz%20et%20al.%20I106_Especies%20exoticas%20invasoras_Impactos%20CAPITAL%20NATURAL.pdf
- Aquino, E. (2015).** *Reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos sustentables* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://acortar.link/XCx8cy>
- Aulestia-Valencia, Guevara-Urquiza, L. F., Paredes-Cortez, R. D. y Toral Valdivieso, J. A. (2016).** Mampostería estructural. *En Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. <https://acortar.link/59UWVP>
- Bahena-Martínez, F. N., Corral-Avitia, A. Y., Juárez-López, A. L., Rosas-Acevedo, J. L., Reyes-Umaña, M. y Bedolla-Solano, R. (2019).** Estudio socio ambiental del sector ladrillero artesanal en el municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero. *Ciencia En la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*. 16, 7-19.
- Barranzuela, J. (2014).** *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura* [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. <https://acortar.link/fztEJR>
- Berumen-Rodríguez, A. A., Pérez-Vázquez, F. J., Díaz-Barriga, F., Márquez-Mireles, L. E. y Flores-Ramírez, R. (2021).** Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. *Salud pública de México*, 63(1), 100-108. <https://doi.org/10.21149/11282>

- Betancourt, D., Díaz, Y. y Martirena, F. (2013).** Influencia de la adición de un 2% de carbonato de calcio en el proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja: etapas de secado y cocción. *Revista de Ingeniería de Construcción RIC*, 28(2), 113-124. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v28n2/art01.pdf>
- Bianucci, M. A. (2009).** El Ladrillo – Orígenes y Desarrollo. *Cátedra Introducción A la Tecnología Área de la Tecnología y la Producción*, 2-19. <https://acortar.link/EBqmfN>
- Cabo, M. (2011).** Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. *Universidad Pública de Navarra*, 1. <https://acortar.link/M7lczB>
- Caicero, A. P. y López, H. (2024).** La eutrofización de los lagos tropicales y su impacto en los servicios ecosistémicos. *Revista COLVESATORIO el Colegio de Veracruz*, 20(1), 23-28. <https://acortar.link/4yItDo>
- Carreto, B. y Gámez, U. (2022, septiembre).** Lirio acuático: la planta invasora que pone en riesgo los lagos de México. Mongabay. Recuperado 11 de febrero de 2024, de <https://es.mongabay.com/2022/09/lirio-acuatico-planta-invasora-en-mexico/>
- Carrión, C., Ponce-de León, C., Cram, S., Sommer, I. y Hernández, M. (2012).** Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Revista de Agrociencia*, 46(6), 609-620. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30224486007>
- Centeno, G. H. (2016).** MÉTODOS DE CONTROLES: CULTURAL, FÍSICO y MÉCANICO. En *Universidad Central Maracay Venezuela*. <https://acortar.link/30zq2O>
- CIDETEQ. (2013).** Método de control del lirio acuático y equipo que aplica dicho método. En *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico En Electroquímica*. <https://acortar.link/yuh2ww>
- Cirelli, A. F. (2012).** El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>

- CMIC. (2024).** Edificios con emisiones de carbono neto cero. *Construyendo México*. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 62(1). <https://cmicedomex.com.mx/wp-content/uploads/2024/05/SUSTENTABILIDAD-EN-EDIFICACIONES.pdf>
- CONABIO. (2015).** Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. En Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado 10 de febrero de 2024, de <https://acortar.link/UxUdH1>
- CONABIO. (2016).** Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México Eichhornia crassipes (Mart.). En Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://acortar.link/lpnaoQ>
- CONABIO. (2020).** ¿Qué es un ecosistema? En *Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees>
- CONACYT. (2017).** Maleza útil: Usos y aprovechamiento del Lirio acuático. *Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología*. <https://tecotito.elsiglodetorreon.com.mx/i/2017/05/935844.jpeg>
- CONAGUA. (2015).** Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. En *Comisión Nacional del Agua*. Recuperado 10 de febrero de 2023, de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro7.pdf>
- CONAGUA. (2019).** Situación de los recursos hídricos. En *Comisión Nacional del Agua*. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>
- De la Rosa, M. B. (2015).** Hornos artesanales de ladrillo: Patrimonio industrial vivo de Coria del Rio. En III Jornadas Andaluzas de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública: 23, 24 y 25 de octubre de 2014 (p. 54). *Fundación Patrimonio Industrial de Andalucía*.

- DOF (2016).** Acuerdo por el que se determina la Lista de Especies Exóticas Invasoras para México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Estados Unidos Mexicanos. DOF 07/12/2016. Disponible en versión HTML en: <https://acortar.link/eaGZm6>
- Duque, F. (2023).** *Ladrillos ecológicos: incentivos en Colombia para su uso*. Stretto. Recuperado 24 de febrero de 2022 d. C., de <https://www.strettocolombia.com/post/ladrillos-ecologicos-incentivos-en-colombia-para-su-uso>
- FAO. (1996).** El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas. En *Food And Agriculture Organization Of The United Nations*. <https://www.fao.org/4/t1147s/t1147s00.htm#Contents>
- FAO. (2010).** Norma ambiental de calidad de agua superficiales y costeras. En *Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/dom218332.pdf>
- Fleming, J. P., & Dibble, E. D. (2015).** ~~E~~Cological mechanisms of invasion success in aquatic macrophytes. *Hydrobiología*, 746, 23-37.
- Freire, L. J. y Zevallos, M. A. (2016).** *Plan de negocios para la fabricación de ladrillos ecológicos: Ecoladrillos S.A.* [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
- García, F. y Miranda, V. (2018).** Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. En *Universidad Autónoma del Estado de México*. <https://ru.iiec.unam.mx/4269>
- Goel, G., & Kalamdhad, A. S. (2018).** A practical proposal for utilization of water hyacinth: Recycling in fired bricks. *Journal of Cleaner Production*, 190, 261-271. <https://www.elsevier.com/locate/jclepro>
- Gómez, C., Farrera, N., López, P. F. y Domínguez, J. (2011).** Estudio exploratorio del impacto ambiental generado por la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. *Revista Lacandonia*, 89-96. <https://hdl.handle.net/20.500.12753/1849>

- González, E. y Córdova, F. (2019).** Determinación de los eco indicadores de una ladrillera de la Ribera de Cupía, Chiapa de Corzo, Chiapas. *Vivienda y Comunidades Sustentables*.
<https://revistavivienda.cuaad.udg.mx/index.php/rv/article/view/125/341>
- Gregorio, J. L. (2011).** *Cambios en la composición del lirio acuático (Eichhornia crassipes) debido a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica* [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. <https://acortar.link/lxk1NC>
- IMCO. (2023).** Aguas en México, ¿escasez o mala gestión? En Instituto Mexicano Para la Competitividad (IMCO). Recuperado 10 de febrero de 2024, de https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Resumen-ejecutivo_Aguas-en-Mexico.pdf
- IMCyC. (2006).** Los aditivos para concreto en seis pasos. En *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.* <https://www.imcyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>
- IMTA. (2013).** Control biológico del lirio acuático en México: primera experiencia exitosa con neoquetinos en distritos de riego. En *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. <https://acortar.link/K1utnC>
- IMTA. (2019).** Mejora en el manejo de plantas acuáticas exóticas invasoras. En *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. <https://acortar.link/34KLZo>
- INECOL. (s. f.).** Lirio acuático Eichhornia crassipes. En *Instituto de Ecología A.C.* <https://acortar.link/EgZ323>
- INEGI. (2016).** Análisis de mercado del sector de la construcción y proyecto piloto a nivel región. En *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/253631/8_CGCV_2016_Analisis_de_Mercado_Ladrilleras_Artesanales_CDMEX.pdf
- Jiménez, D. (2020, mayo).** Las ladrilleras de San Francisco El Calvito, más de 30 años de antigüedad. *Chiapas Paralelo*. Recuperado 6 de febrero de 2024, de

<https://www.chiapasparalelo.com/noticias/chiapas/2020/05/las-ladrilleras-de-san-francisco-el-calvito-mas-de-30-anos-de-antiguedad/>

Juárez, L. (marzo, 2025). El lago de Cuitzeo en crisis: lirio acuático amenaza la pesca y economía local.

Periódico Correo. Recuperado de: <https://acortar.link/OhAF3H>

Khan, F. A., & Ansari, A. A. (2005). Eutrophication: an Ecological vision. *The Botanical Review*, 71(4), 449-482.

Lanz, C. (2014). Estudio comparativo sobre ladrillos sustentables (base Cemento-PET, base Cemento-Lirio acuático) en la zona sur del Estado de Veracruz. *Investigación II*, 1.

<https://es.scribd.com/document/448793088/Analisis-comparativo-de-ladrillos-sustentables-docx>

LDUDF. (mayo, 2023). Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. <https://acortar.link/OGS6GG>

López-Arce. (2012). Caracterización de ladrillos históricos. La Conservación de los Geomateriales En el Patrimonio, 2(28). <https://acortar.link/1fJmEa>

Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C. y Terrazas, T. (2020). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27(2).

<https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/2137/>

Maldonado, M. I. (2014). *Aprovechamiento de los residuos de construcción y materia orgánica en la fabricación de Ecoladrillos para el parque ecológico Tuzandepetl, Veracruz*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

Marcovecchio, J. E., Botté, S. E. y Freije, R. H. (2014). *Geoquímica de la superficie argentina* (1.a ed., Vol. 4) [Virtual]. Universidad Nacional del Sur.

<http://ocs.congresos.unlp.edu.ar/index.php/RAGSU/VRAGSU>

Martínez, G., Bosco, J., López, T. y Menchaca, C. (2015). Materiales sustentables y reciclados en la construcción. *OmniaScience*, 1(1). <https://acortar.link/NUaMoT>

- Martínez, J. A. y Méndez, J. F. (2022).** Biorrefinería: control y aprovechamiento del lirio acuático. *Ciencia*, 73(2), 79-84. Obtenido de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/14_73_2_1439_DesdeUAM.pdf
- Mayo, A. W. y Hanai, E. E. (2017).** Modelado de la fitorremediación de aguas contaminadas con nitrógeno utilizando el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). *Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C*, 100, 170-180. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S147470651630050X>
- Melcón, E. (2019).** Aguas residuales como fuente de nutrientes. [Tesis de maestría, Universidad de Alcalá].
- Méndez-González, F., A. Pichardo-Sánchez, B. H. Espinosa-Ramírez, N. Rodríguez-Durán, G. Bustos-Vázquez & L. V. Rodríguez-Durán (2021).** “Valorization of non-native aquatic weeds biomass through their conversion to biofuel”, *Apple Academic Press*, pp. 271-282.
- Miranda, M. G. y Lot, A. (1999).** El lirio acuático ¿Una planta nativa de México? *Revista Ciencias*, 50-54. <https://acortar.link/lzWc89>
- Mora, J. y Calvo, G. (2010).** Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología En Marcha*, 23(5), 34-40. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4835746.pdf>
- Mordor Intelligence. (2024).** *Análisis del tamaño del mercado y participación de materiales de construcción verde - Tendencias de crecimiento y pronósticos (2025 - 2030)*. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/green-building-materials-market>
- Muñoz, A. y Mendoza, A. R. (2009).** Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. *Capital Natural de México*, 2(1). <https://acortar.link/Th2Mlf>

- Muñoz-Pérez, Delgado-Sánchez, J. L. y Facundo-Peña, L. E. (2021).** Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. *CULCYT*, 18(1), 1-9.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7773786.pdf>
- NTCDCEM. (2010).** Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. En *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación*.
- Ongwen, N. O., & Bandar, A. (2023).** Acoustics of Compressed Earth Blocks Bound Using Sugarcane Bagasse Ash and Water Hyacinth Ash. *Applied Sciences*, 13. <https://doi.org/10.3390/app13148223>
- Ortiz, J. A. y Linares, C. A. (2018).** Aprovechamiento de fibra de lirio acuático en cultivos semi-hidropónicos. *Revista Jóvenes Ciencia*, 4(1). <https://acortar.link/tndvjd>
- Páliz, D. C. (2014).** “Factibilidad del uso del raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos” [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Pedrozo, A. y Ramírez, N. (2020).** La eutrofización de cuerpos de agua: un síntoma antropogénico que requiere atención. *Perspectivas IMTA*, 8(1). <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-08>
- Pérez, H., Pimentel, K., De Meza, O. y Hernández, M. (2017).** Diseño y prueba experimental de bloques ecológicos a base de materiales orgánicos e inorgánicos. *Revista de Iniciación Científica*, 3(1).
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1454>
- Pérez, J. A. (2013).** La industrialización del ladrillo de 1898 a 1910 [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2013/febrero/0688602/0688602.pdf>
- Perna, C., & Burrows, D. (2005).** Improved dissolved oxygen status following removal of exotic weed mats in important fish habitat lagoons of the tropical Burdekin River floodplain, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 51, 138-148.

- Ramírez, J. A., Portillo, E., Román, A., & Ramírez, Y. X. (2023).** Uso del lirio acuático *Eichhornia crassipes* en la elaboración de lombricomposta para producir plántulas de hortalizas. *Ciencia Latina*, 16(4). <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/9162/13657>
- Ramírez, L. J., Méndez, A. y Morales, A. L. (2023).** Contaminación del medio ambiente. En *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública*. <https://acortar.link/uAdrby>
- Reyes, A. A. y García, P. M. (2022).** Transformación de la producción ladrillera mediante la introducción de Hornos MK-2 a través de la gestión social solidaria Cholula, Puebla. *Instituto de Investigaciones Económicas*, 3, 431-448. <https://ru.iiec.unam.mx/5873/>
- Rodríguez, J. P., Serna, J. A. y Sánchez, J. M. (2016).** Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Logos, Ciencia y Tecnología*, 8(1), 159-168. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5177/517752176015/517752176015.pdf>
- Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L. y Andrio-Enríquez, E. (2022).** Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*): Una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 1-12. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/437/43768481006/43768481006.pdf>
- Ruíz, H. (2011).** *Extracción de metales pesados de aguas residuales de tratadora «Samsara Ecosystems» con lirios acuáticos* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
- Ruiz-Sibaja, A., Silva-Acevedo, G., De León-Argüello, A., Nazar-Beutelspacher, M. y Vidal-Sánchez, F. (2011).** Obtención de características geométricas y mecánicas del ladrillo de barro recocido de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Quehacer Científico En Chiapas*, 1(12), 14-26. <https://acortar.link/UdazHN>

- Salamanca, E., Rengifo-Gallego, A., Madera-Parra, C., Ríos, D., & Avila-Williams, C. (2015).** Phytoremediation using terrestrial plants. in A. Ansari, S. Gill, R. Gill, G. Lanza, & L. Newman (Eds.). *Phytoremediation: Management Of Environmental Contaminants*, 305-319.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambrano, L. (2007).** *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (1.a ed.). Instituto Nacional de Ecología.
- Santos, M. J., Anderson., L. W., & Ustin, S. L. (2011).** Effects of invasive species on plant communities: example using submersed aquatic plants at the regional scale. *Biological Invasions*, 13(2), 443-457.
- SEMARNAT. (2012).** El agua dulce en el mundo. En Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado 9 de febrero de 2023, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_1.html
- Sifuentes, H. (2013).** Control Químico y las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). *Guía Para el Manejo Integrado de Plagas*, 1.
- SMAOTG. (2020).** Documento técnico Base del Inventario de especies vegetales nativas del Estado de Guanajuato. En *Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato*. <https://acortar.link/B72nbj>
- Sosa, M. P., García, L. V. y Hernández, F. (2023).** Estudio teórico sobre las características, los impactos negativos y los usos alternativos del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). *Revista Ingeniantes*, 3(2), 45-51. <https://acortar.link/3sgXX5>
- Taborda, A. E. (2015).** Cómo se le ocurrió al hombre construir ciudades. *Universidad EAFIT*. <https://acortar.link/tNuC95>
- Torres, B. (2020).** Un herbicida que envenena todo lo que toca. *La Jornada Ecológica*, 233(4). <https://www.biodiversidadla.org/Recomendamos/La-Jornada-Ecologica-233-Quiere-su-comida-con-glifosato-%21Yo-no>

- Torres, P., Hernán, C. y Patiño, P. J. (2009).** Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica. *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Tovar-Jiménez, X., Favela-Torres, E., Volke-Sepúlveda, T. L., Escalante-Espinosa, E. y Díaz-Ramírez, I. D. (2019).** Influencia de la zona geográfica y fracción del lirio acuático en su composición química. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1), 39-52.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/inagbi/v11n1/2007-4026-inagbi-11-01-39-es.pdf>
- UPME. (2015).** Hidrogenaria. En *Unidad de Planeación Minero-Energética*.
https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- Val de Gortari, E. (2012).** *La invasión del lirio acuático*. SaberMás. <https://acortar.link/QHLBJc>
- Valverde, F. (2015).** La vivienda desde tiempos remotos hasta nuestros días en el Mediterráneo. *Casa, Hogar y Residencia*, 2(1), 49-84.
- Vidal, G. y Hormazábal, S. (2016).** Las fibras vegetales y sus aplicaciones: Innovación en su generación a partir de la depuración de agua. *Centro de Recursos Hídricos Para la Agricultura y la Minería*, 1(1). <https://frontera.koha.theke.io/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=88647>
- Vilà, M., Bacher, S., Hulme, P., Kenis, M., Kobelt, M., Nentwig, W., Sol, D. y Solarz, W. (2006).** Impactos ecológicos de las invasiones de plantas y vertebrados terrestres en Europa. *Ecosistemas*, 15 (2), 1-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54015203>
- Villafuerte, M. M. (2015).** *Plan de negocios para la fabricación y comercialización de ladrillos ecológicos en Lima Metropolitana* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

- Villao-Vera, R. A. y Llangarí-Romero, B. K. (2024).** Durabilidad de los materiales utilizados en proyectos de construcción ecológicos. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 7(14). <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/download/207/294/831>
- Vinchira, D. M. y Moreno, N. (2019).** Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 1, 2-5. <https://www.redalyc.org/journal/776/77660294001/html/>
- Wang, Z., Zhang, Z., Zhang, J., Zhang, Y., Liu, H., & Yan, S. (2012).** Large-scale utilization of water hyacinth for nutrient removal in Lake Dianchi in China: the effects on the water quality, macrozoobenthos and zooplankton. *Chemosphere*, 89(10), 1255-1261.
- Zea, J. A., Hernández, D., Mandujano, J. E., López, A. y Garnica, P. (2021).** Tabiques no convencionales a base de residuos plásticos destinados a viviendas rurales. *CONPAT2021*.
- Zea, N. L. (2005).** *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Zevallos, G. D. (2021).** *Elaboración de ladrillos a partir de aditivos orgánicos e inorgánicos. Revisión sistemática 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].