



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Efecto del uso de la arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar
sobre las propiedades de durabilidad del concreto sometido en
ambientes marinos: Una revisión literaria**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE BACHILLER EN
INGENIERIA CIVIL**

Autor(es)

Tucto Sernaque Jose Luis

<https://orcid.org/0000-0003-0362-7143>

Samame Arce Cesar Enrique

<https://orcid.org/0000-0001-8684-6522>

Asesor

Mg. Villegas Granados Luis Mariano

<https://orcid.org/0000-0001-5401-2566>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la Industria
en un contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura**

Pimentel – Perú

2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, somos egresados del Programa de Estudios de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somo) autores del trabajo titulado:

Efecto del uso de la arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar sobre las propiedades de durabilidad del concreto sometido en ambientes marinos: Una revisión literaria

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Samame Arce Cesar Enrique	DNI: 44368892	
Tucto Sernaque Jose Luis	DNI: 46909180	

Pimentel, 31 de enero del 2025

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 14%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A nuestros queridos padres, cuyo amor incondicional, sacrificio y guía han sido el pilar fundamental en nuestras vidas. Su apoyo inquebrantable y sus enseñanzas nos han inspirado a perseverar en cada paso de este camino académico.

A nuestras familias, por ser nuestro refugio en los momentos difíciles, por sus palabras de aliento y por compartir con nosotros la alegría de cada logro alcanzado. Su paciencia y comprensión han sido nuestra mayor fortaleza.

Este trabajo es el reflejo de su amor y confianza en nosotros. A ustedes, con gratitud infinita.

AGRADECIMIENTO

A nuestras familias, por su amor incondicional, apoyo y motivación en cada paso de este camino. Su paciencia y confianza en nosotros han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A nuestros docentes, por su dedicación y enseñanzas, que han enriquecido nuestra formación y nos han inspirado a seguir adelante. Su guía ha sido clave en nuestro crecimiento académico y profesional.

Este trabajo es reflejo del esfuerzo conjunto, y a ustedes, familias y profesores, les debemos gran parte de este logro. ¡Gracias por su apoyo inquebrantable!

Índice

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Realidad problemática	9
1.2 Formulación del problema	10
1.3 Justificación e importancia del estudio	10
1.3.1 Justificación Ambiental	10
1.3.2 Justificación Social	11
1.3.3 Justificación Económica.....	11
1.3.4 Justificación Científica	11
1.4 Hipótesis	11
1.5 Objetivos	11
1.5.1 Objetivo General.....	11
1.5.2 Objetivo Específicos	12
1.6 Teorías relacionadas al tema.....	12
II. METODO DE INVESTIGACION.....	18
III. RESULTADOS.....	19
IV. DISCUSIONES	22
V. CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	24

Resumen

El estudio se realizó una revisión literaria del uso de la arcilla calcinada (AC) y la ceniza de la caña de azúcar (SCA) como sustitutos parciales en el concreto para fomentar la construcción sostenible. El objetivo del análisis fue identificar las características mecánicas, físicas y de durabilidad del concreto al añadir los residuos de la AC y la SCA, para lo cual se realizó una evaluación de los porcentajes óptimos de sustitución. La combinación óptima fue de la arcilla calcinada (10%) y la ceniza de caña de azúcar (20%) las cuales mejoran la resistencia y durabilidad del concreto en ambientes marinos. La arcilla calcinada fortalece el concreto en medios salinos, mientras que la ceniza de caña de azúcar reduce la permeabilidad y la percolación de agentes agresivos. Se concluyó que, su uso contribuye a la sostenibilidad en la construcción, al aprovechar subproductos industriales y agrícolas, disminuyendo el impacto ambiental y promoviendo concretos más duraderos.

Palabras claves: Arcilla calcinada – Ceniza de caña – Propiedades físicas – Propiedades mecánicas - Durabilidad

Abstract

The study conducted a literature review of the use of calcined clay (CA) and sugar cane ash (SCA) as partial substitutes in concrete to promote sustainable construction. The objective of the analysis was to identify the mechanical, physical and durability characteristics of concrete when adding CA and SCA residues, for which an evaluation of the optimal substitution percentages was performed. The optimum combination was calcined clay (10%) and sugar cane ash (20%), which improved the strength and durability of the concrete in marine environments. Calcined clay strengthens the concrete in saline environments, while sugarcane ash reduces permeability and percolation of aggressive agents. It was concluded that their use contributes to sustainability in construction by taking advantage of industrial and agricultural by-products, reducing environmental impact and promoting more durable concrete.

Keywords: Calcined clay – Sugarcane ash – Physical properties – Mechanical properties – Durability

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

El cemento, utilizado ampliamente en la construcción civil, es responsable de un elevado consumo de recursos naturales y emisiones de gases de efecto invernadero, beneficiando al cambio climático. La producción de cemento genera grandes cantidades de CO₂, representando el 7% de las emisiones globales [1]. A pesar de su popularidad debido a sus propiedades aglutinantes, su fabricación consume mucha energía y tiene un impacto ambiental significativo [2]. Por ello, se busca mitigar estos efectos utilizando subproductos industriales como la arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar, sustitutos potenciales del cemento, para crear morteros y concretos más ecológicos [3]. Estas alternativas podrían reducir la huella de carbono en la construcción y ofrecer soluciones más sostenibles, especialmente en ambientes marinos donde el concreto enfrenta desafíos adicionales [4].

Se está explorando la sustitución de materiales convencionales por alternativas sostenibles en la construcción, especialmente a través del reciclaje de desechos, este enfoque es clave tanto para la eficiencia económica como para la reducción del impacto ambiental [5]. En este contexto, el uso de fibras naturales en lugar de sintéticas en concreto y otros materiales ofrece beneficios significativos, como la disminución de CO₂ y la mejora en la gestión de residuos sólidos, las fibras naturales, como las provenientes de bagazos de caña de azúcar, son subproductos fácilmente disponibles y económicos [4]. La adición de fibras al concreto no solo reduce costos, sino también el tiempo de preparación y colocación [6]. Además, el empleo de fibras naturales como abacá, sisal y yute está impulsando la productividad, reduciendo el desgaste industrial y promoviendo el crecimiento económico, con un menor impacto ambiental [7].

El cemento de arcilla calcinada, rico en aluminatos, es eficaz para unirse a iones corrosivos presentes en el agua de mar, lo que mejora la resistencia a la compresión del concreto. Investigaciones muestran que este tipo de concreto presenta una notable capacidad para integrar cloruros y crear mezclas con agua de mar que poseen propiedades óptimas [8]. A su vez, la arcilla calcinada reduce la expansión inducida por sulfatos, mejorando la durabilidad y resistencia del concreto, especialmente cuando se reemplaza un 5% de la mezcla [9]. Además, el uso de este material en la producción de cemento de piedra caliza ofrece una

alternativa sostenible al disminuir el contenido de Clinker, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental [10]. En otros materiales de construcción, como el adobe, se investiga la adición de fibras naturales para mejorar su resistencia frente a condiciones climáticas extremas, como las lluvias intensas, a consecuencia del cambio climático [11].

La India es el segundo mayor productor mundial de caña de azúcar, con una producción anual superior a los 350 millones de toneladas. El bagazo resultante, que suele usarse como combustible, genera contaminación ambiental debido al humo emitido [12]. En Indonesia, los ingenios azucareros procesan aproximadamente 30 millones de toneladas de caña, produciendo alrededor de 9.640 toneladas de bagazo, del cual hasta el 60% se utiliza como combustible o materia prima para otros productos, como papel [13]. Además, las nuevas variedades de caña de azúcar, con una mayor calidad genética, aumentarán el rendimiento por hectárea en un 80% [14]. Estos residuos, como la fibra y ceniza de bagazo, pueden incorporarse al concreto para mejorar sus propiedades y calidad. Este uso no solo contribuiría a reducir la contaminación, sino también a mejorar la durabilidad de las construcciones, especialmente en áreas donde los edificios presentan fisuras debido a la mala calidad de los materiales [15].

1.2 Formulación del problema

¿De qué manera influye el impacto del uso de la arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar sobre las propiedades de durabilidad del concreto sometido en ambientes marinos, Chiclayo 2024?

1.3 Justificación e importancia del estudio

Esta investigación tiene como objetivo exponer el impacto del empleo de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar sobre las propiedades de durabilidad del hormigón sometido a ambientes marinos, y la relevancia de su utilización desde los ámbitos económico, social y tecnológico.

1.3.1 Justificación Ambiental

En los años recientes, se ha buscado utilizar estos residuos, como la arcilla calcinada y la ceniza de caña de azúcar, los cuales son componentes ecológicos para el medio ambiente. La arcilla calcinada es un árido cerámico de ligereza que se emplea en la construcción de

hormigones, sirviendo como aislante térmico y acústico, dado que posee la resistencia necesaria para soportar el fuego y altas temperaturas. Por otra parte, la ceniza de caña de azúcar constituye una materia prima natural, debido a su composición constante y abundante. Estos materiales representan una nueva alternativa en la construcción, con el fin de sustituir y ayudar a reducir esa brecha.

1.3.2 Justificación Social

Este estudio tiene como objetivo ayudar a mejorar el sector de la construcción. Como ingenieros civiles, buscamos innovar y mejorar la calidad de vida, no solo a través de la construcción sino también reutilizando materiales y contribuyendo a la preservación del medio ambiente. Al presentar y compartir esta información, se pretende aportar y generar nuevas alternativas en el uso de los agregados, mejorando la calidad y durabilidad de las propiedades del concreto.

1.3.3 Justificación Económica

El sector de la construcción en Perú se encuentra en un proceso de innovación y mejora, ya sea a través de aditivos o materias primas que buscan optimizar y mejorar la calidad del concreto mediante la introducción de nuevos productos que pueden ser incorporados a este.

1.3.4 Justificación Científica

Esta investigación ha sido redactada y fundamentada mediante una recopilación de datos provenientes de tesis, artículos y ensayos aplicando el método científico, con el propósito de determinar las propiedades mecánicas y físicas del concreto con incorporación de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar, utilizando normativas y equipos especializados para evaluar y analizar los datos obtenidos.

1.4 Hipótesis

La incorporación de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar, mejoraremos las propiedades mecánicas y físicas del concreto para emplearlo en ambientes marinos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas y físicas y de durabilidad que se presenta en la sustitución de la arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar en el concreto.

1.5.2 Objetivo Específicos

- a) Identificar las características estructurales del concreto con incorporación de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar.
- b) Evaluar las propiedades mecánicas y físicas del concreto al añadir residuos de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar.
- c) Realizar el diseño de mezcla del concreto patrón y con la sustitución de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar.

1.6 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 El Concreto

El concreto es un material de construcción artificial compuesto por una mezcla cuidadosamente dosificada de cemento, arena, áridos de piedra o ladrillo y agua. Esta combinación permite al hormigón soportar fuerzas de compresión similares a las de la piedra natural, aunque es susceptible a la formación de grietas debido a las fuerzas de tensión. Los investigadores han explorado métodos para mejorar las propiedades del concreto, incluida la incorporación de aditivos y fibras para aumentar su resistencia a la fractura, flexibilidad y durabilidad en diversas condiciones ambientales [16].

De acuerdo con Yagual & Villacis [17], si bien se sabe que dentro de los materiales del sector construcción de uso indispensable y de gran importancia se encuentra el concreto, este estará en óptimas condiciones cuando en estado fresco se pueda ver buenos resultados en la trabajabilidad, y mientras que cuando se encuentre en estado endurecido la resistencia a la compresión sea la óptima. El empleo de buenos materiales tanto cemento como agregados en buena calidad permitirá obtener un hormigón que nos de las cualidades físicas requeridas. Los aditivos son aquellos que afectan la resistencia mecánica y la densidad final de la mezcla; Por eso ocupan gran parte del peso y volumen del hormigón.

1.3.2 Ventajas del concreto

En primer lugar, la trabajabilidad, segundo es la continuidad de las piezas de las estructuras, la tercera es la gran resistencia al fuego y a la intemperie, la cuarta ventaja corresponde a la simple disponibilidad de materiales baratos y, por último, su resistencia a la compresión es similar a la de los materiales naturales como una piedra [18].

1.3.3 Clasificación del concreto

El concreto ligero es una composición que consiste en cemento portland, agregado fino,

agregado grueso y agua. En esta mezcla, el agregado grueso debe estar completamente recubierto por la matriz de cemento, y el agregado fino debe llenar los espacios intersticiales entre el agregado grueso, a la vez que estar envuelto por la misma pasta. De manera análoga, el concreto armado incorpora armaduras de refuerzo para resistir las fuerzas de tracción, mientras que el concreto simple carece de dichos elementos. Finalmente, el concreto estructural se dosifica de acuerdo con especificaciones precisas, lo que facilita su mezclado, transporte y colocación, asegurando así una durabilidad mínima [18].

1.3.4 Consideraciones básicas para el diseño de una mezcla de concreto

El valor del concreto está determinado por el costo de los materiales, el costo de la mano de obra empleada y los gastos de entrega, con la excepción de algunos tipos de concretos especiales. Los costos de mano de obra y entrega dependen considerablemente del tipo y calidad del concreto producido, por lo que el valor de los materiales es el factor más relevante y el que debe ser evaluado al comparar diferentes mezclas. Dado que el cemento es más costoso que los áridos, es evidente que se debe procurar minimizar el contenido de cemento en el concreto, ya que este es el elemento más influyente para reducir el precio del concreto [19].

1.3.5 Información requerida para el diseño de una mezcla de concreto

El examen granulométrico de los agregados, la determinación de la unidad de masa prensada de los agregados (tanto finos como gruesos), el establecimiento del peso específico de los agregados (tanto finos como gruesos), la cuantificación del contenido de humedad y el cálculo del porcentaje de absorción de los agregados (tanto finos como gruesos), el análisis del perfil y la estructura de los agregados, así como la identificación del tipo y la marca de cemento [19].

1.3.6 Resistencia a la compresión y factores que la afectan

La capacidad del concreto para soportar esfuerzos depende tanto del tipo de carga aplicada como de la interacción entre sus componentes, los cuales influyen en su porosidad y, por ende, en su desempeño estructural. Factores como las propiedades y proporciones de los materiales, su concentración y las condiciones de curado determinan su comportamiento. En términos de resistencia, la relación agua/cemento es un factor clave, ya que controla la porosidad de la matriz cementicia, optimizando su densidad y reduciendo la permeabilidad del concreto [20].

1.3.7 Características generales de las técnicas para el diseño de mezclas de concreto

Según Ticlla [21]:

- Todas son sólo aproximaciones a la solución definitiva mientras no se validen en obra.
- Existen muchas y a diario brota una diferente
- Todas presentan mayor o menor sustento científico – experimental y mayor o menor sofisticación
- Discrepan en el procedimiento de como establecen la combinación y proporciones de agregado grueso y fino
- La óptima es la que satisface más eficientemente nuestras probabilidades.

1.3.8 Arcilla Calcinada

La arcilla es un material de origen cerámico, una de sus propiedades es que es porosa lo que ayuda que sea un material ligero, otra propiedad es que gracias a su dureza y resistencia se hace de principal materia para el hormigón donde podría reemplazar a otros componentes. Su resistencia y lisura son fundamentales en el uso de hormigones ligeros, se obtienen buenos resultados por la idoneidad constructiva, existen diversos hormigones ligeros con áridos de baja densidad en el suelo, pero no cumplen con los requisitos exigidos, por ser hormigones ligeros del suelo tratado con agregados de baja densidad que no reúnen las condiciones mecánicas para su uso como hormigón estructural ligero y de altas prestaciones [22].

1.3.9 Características de arcilla calcinada

Según Alonso [23], nos dice que el grano de arcilla calcinada está formado por una capa exterior rígida y de composición heterogénea, que permite una buena durabilidad, y un núcleo poroso, que le confiere la ligereza característica de este material debido a su bajo peso específico.



Fig. 1: Los fragmentos de arcilla cocida, tanto íntegros como fracturados, presentan una clara delimitación entre el núcleo y la corteza en aquellos que se encuentran fragmentados.

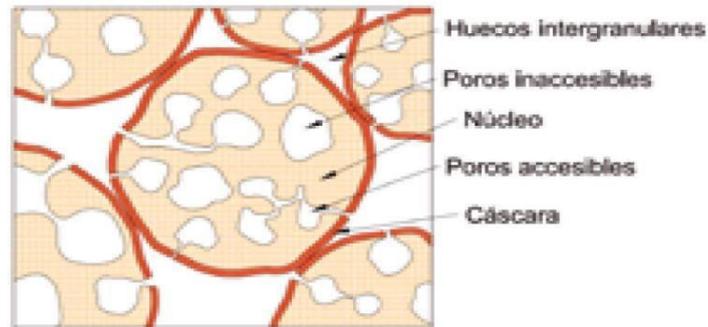


Fig. 2: La estructura fundamental de un grano de arcilla y de un conjunto de granos con sus espacios intersticiales.

1.3.10 Caña de azúcar

Pertenecientes a las familias de las gramíneas, con tallos leñosos de 2 metros de altura, poseen hojas largas y sin vello, y sus flores presentan una forma piramidal de color púrpura. Un tejido suave y dulce llena el tallo, siendo este el que se utiliza para extraer el azúcar. La caña de azúcar se cultiva en casi todas las regiones del planeta que presentan un clima tropical o subtropical. [24].



Fig. 3: Caña de azúcar

a. Bagazos de caña

El material leñoso consiste en los residuos fibrosos del prensado y extracción del jugo de caña de azúcar, componiéndose principalmente de agua, celulosa y pequeñas cantidades de sólidos solubles. La composición de dicho material varía según el tipo de caña, su grado de madurez, el procedimiento de cosecha y la eficacia del ingenio. [25].



Fig. 4: Bagazos de caña

b. Ceniza de bagazos de caña

El residuo que se genera después de someter los bagazos de cañas de azúcar a un proceso de calcinación a altas temperaturas se denomina cenizas de bagazo de caña [26]. El procedimiento para producir este residuo se ilustra en la Fig. 5, mientras que la Fig. 6 muestra una representación de las cenizas de los bagazos de cañas de azúcar.

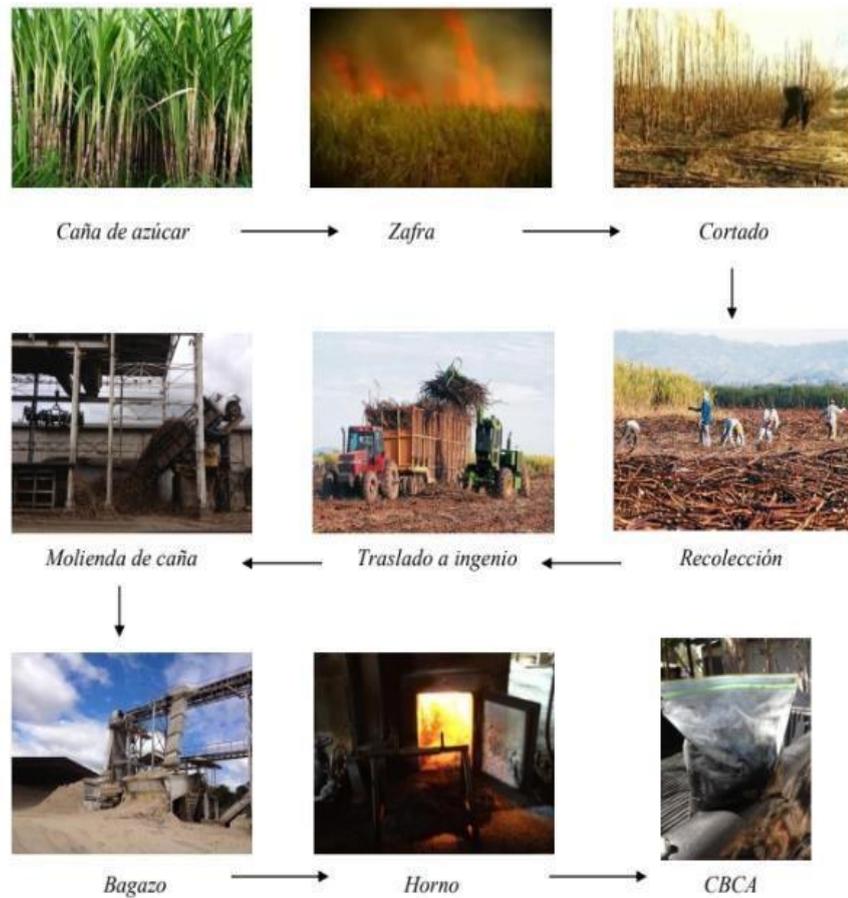


Fig. 5: Procedimiento para lograr CBCA



Fig. 6: Ceniza de bagazos de cañas

c. Composición de la ceniza de bagazos de las cañas de azúcar

Debido a sus características cementantes, la composición química de la ceniza

de bagazo de caña de azúcar incluye sílice, alúmina y óxido de hierro, los cuales conjuntamente mejoran el desempeño de las mezclas de agregados bajo esfuerzos de corte, así como su densificación y la adherencia entre las partículas. Las cantidades y el tipo de sílice presentes en las cenizas se ven influenciadas tanto por el tiempo de combustión como por la temperatura. La Figura 7 enumera las alteraciones que sufre el bagazo durante el proceso de quemado.

	A 100°C se presenta una pérdida inicial de masa, resultante de la evaporación de agua absorbida.
	A 350°C Inicia una ignición del material más volátil, aquí es donde inicia la quema del bagazo.
	Entre 400° a 500°C el carbón residual y los óxidos se forman, se observa una pérdida más importante de masa, después de esta etapa la ceniza se convierte en amorfa, rica en sílice.
	El uso de temperaturas por arriba de los 700°C puede llevar a la formación de cuarzos, y niveles aún más elevados de temperatura, pueden crear otras formas cristalinas.
	Encima de los 800°C, la sílice presente en la ceniza del bagazo de caña de azúcar es esencialmente cristalino.

Fig.7: Transcurso de modificaciones en la quema de las cenizas

La naturaleza de las cañas, sus etapas de desarrollo, los tipos de suelos y las cantidades de fertilizantes empleados tienen una influencia significativa en la composición de la ceniza. Las Tablas I y II exponen la distribución de la constitución química de los CBCA en países como Perú y Cuba.

Tabla I: Composiciones químicas de las cenizas de cañas de azúcar de Cuba

Composiciones químicas de las cenizas de cañas de azúcar de Cuba		
Compuestos constitutivos		Porcentajes
Nombres	Formas abreviadas	
Sílice	SiO ₂	56.40%
Óxidos férricos + Alúmina	F2O3 + Al2O3	5.15%
Óxidos de calcio + Óxidos de Magnesio	CaO + MgO	9.08%
Álcalis	Na ₂ O y K ₂ O	12.60%

Tabla II Composiciones químicas de las cenizas de caña de azúcar de Cuba y Perú

Composiciones químicas de ceniza de caña de azúcar Cuba y Perú									
Ceniza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₆	SO ₃
Cubano	64.71	4.21	13.77	6.22	1.37	6.87	1.00	0.27	0.01
Peruano	67.52	3.50	7.60	3.50	8.95	3.75	2.17	1.70	0.03

Propiedades: La ceniza de los tallos de caña de azúcar posee propiedades aglutinantes que facilitan la adherencia en las mezclas de los materiales básicos y la ceniza de caña de azúcar, lo que permite la elaboración de un material homogéneo y el logro de una densificación adecuada y resistencia a la carga de tracción mediante la compactación.

II. METODO DE INVESTIGACION

Este estudio se ha desarrollado mediante una metodología cualitativa documental, donde se ha recopilado información relacionada con el uso de arcilla calcinada y ceniza de caña de azúcar en el concreto. El procedimiento consistió en la búsqueda, selección y lectura de datos provenientes de bases de datos como Scopus, Scielo y ScienceDirect. La información recopilada fue interpretada, analizada y clasificada en una bitácora, extrayendo los datos más relevantes. Finalmente, se redactó el artículo argumentando y comparando los resultados de las investigaciones. Esta investigación ha utilizado un enfoque correlacional para considerar la relación entre la variable dependiente y sus variables independientes.

III. RESULTADOS

Según nos indica Chavarría et al., [27], el concreto en entornos marinos es susceptible a la acción de cloruros y sulfatos debido a su alta porosidad y permeabilidad, lo que afecta su durabilidad, en su investigación, se evaluó el reemplazo del agregado fino natural por arcilla calcinada en proporciones de 0, 15, 20 y 25%, analizando su efecto en las propiedades químicas y mecánicas del hormigón endurecido, así pues según sus resultados indican que la incorporación de arcilla calcinada mejora la resistencia del material, con incrementos del 1,5% en flexión, 3,2% en tensión y 8,6% en compresión axial. Se concluye que su utilización es viable para concreto estructural, siempre que el reemplazo no supere el 25%.

Según Córdoba et al., [28], la incorporación de arcillas calcinadas en el concreto puede mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad. La sustitución del 25% de cemento por arcillas illítica y caolinítica calcinadas aumenta la resistencia a tracción y compresión, siendo más efectiva la arcilla caolinítica. Sin embargo, la arcilla illítica presenta deficiencias iniciales en absorción capilar, penetración de agua y resistencia a cloruros, que mejoran con el tiempo debido a su actividad puzolánica tardía. Por el contrario, la arcilla caolinítica calcinada muestra un excelente desempeño en estos aspectos desde los 28 días. En conclusión, el uso de arcillas calcinadas permite obtener concretos con mayor resistencia mecánica y durabilidad, dependiendo del tipo de arcilla y las condiciones de curado.

Según nos indica Castillo et al., [29], el uso de arcillas calcinadas como sustituto del 30% del cemento en microhormigones influye en sus propiedades físico-mecánicas y de durabilidad, empleando una arcilla con bajo contenido de caolín para producir materiales cementicios suplementarios, como resultado la mejor resistencia a compresión a los 28 días se obtuvo con arcilla sedimentada y calcinada, debido a su mayor pureza tras un proceso de purificación, en contraste, el suelo arcilloso calcinado mostró la menor porosidad capilar y sorptividad en un 20% con relación al concreto de referencia, mejorando la impermeabilidad de la matriz cementicia. Esto sugiere que la finura del material favorece la compacidad estructural sobre la reacción puzolánica.

Según Strubny et al., [30], el empleo de arcilla calcinada en sustitución de hasta el 30% del cemento permite obtener propiedades mecánicas comparables al hormigón con cemento Portland puro. Además, este material resulta eficaz en entornos con elevada concentración de cloruros, mejorando la resistencia en dichos ambientes. Sin embargo, su incorporación disminuye la resistencia a la carbonatación y al ciclo de congelación-

descongelación, lo cual restringe su aplicación en estructuras expuestas a estas condiciones. Por consiguiente, se considera más apropiado para elementos de hormigón en espacios interiores con menores exigencias de durabilidad.

Según Akinpelu et al., [31], los ensayos de resistencia a la compresión, la tracción y el ataque por sulfatos indican que la calcinación de la arcilla a 800 °C durante 2 horas mejora su desempeño, así mismo la incorporación de un 10% de arcilla calcinada en la mezcla mostró incrementos del 6,4%, 14,7% y 14,1% en la resistencia a la compresión a los 14, 28 y 56 días, respectivamente, superando al hormigón convencional, si bien el mejor rendimiento se obtuvo con una sustitución del 10%, niveles de hasta el 30% también presentaron resultados satisfactorios, lo que demuestra su potencial para alcanzar resistencias adecuadas en diversas aplicaciones.

Según Garces et al., [32], el hormigón fabricado con arcilla calcinada y caliza presenta una elevada durabilidad, demostrada a través de pruebas de porosidad, permeabilidad a cloruros, carbonatación y resistividad eléctrica, así mismo las propiedades óptimas se obtienen con mezclas que contienen un 60% de arcilla calcinada, un 35% de piedra caliza y un 5% de yeso, con un 50% de Clinker, por otro lado, en zonas alejadas del agua, la saturación parcial de los poros favorece la penetración de dióxido de carbono, aumentando la carbonatación, no obstante, en entornos con alta concentración de cloruros, este tipo de hormigón exhibe una menor permeabilidad, reduciendo el riesgo de corrosión por cloruros.

Según Khan et al., [33], nos indicando que el uso combinado de ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) y polvo de piedra (SD) como sustitutos parciales del cemento y la arena en el hormigón ofrece ventajas mecánicas y ambientales. Las mezclas que contienen un 9% de SCBA y un 50% de SD mantuvieron una resistencia comparable al hormigón convencional, mostrando mejoras en la resistencia a la flexión (6,86%) y aumentos en la resistencia a la compresión (10,16%) y a la tracción (11,68%), estas mejoras se deben a la actividad puzolánica y al óptimo empaquetamiento de las partículas, no obstante, se observó un aumento significativo en la absorción de agua del 31.61%, evidenciando una compensación entre la resistencia y la durabilidad.

Según Vivek & Jayaguru [34], indican que el uso combinado de ceniza de bagazo de caña de azúcar (SBA) y nano sílice (NS) en concreto de cemento Portland permite mejorar notablemente tanto sus propiedades mecánicas como su durabilidad, así mismo se evaluó diversas proporciones de NS (0%-4%) manteniendo constante un 20% de SBA como

sustituto del cemento, dando como resultado, que la combinación óptima es 20% de SBA y 3% de NS, lo cual logra mejoras significativas en la resistencia a compresión, tracción y flexión, así como en la durabilidad frente a la penetración de cloruros, carbonatación y contracción, esto demuestra el potencial de estos materiales como alternativas sostenibles en concreto expuesto a ambientes agresivos.

Según nos indican Krishna et al., [35], con la sustitución parcial del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en proporciones de hasta el 25%, evaluando su impacto en la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto, se determinó que la trabajabilidad disminuye con un mayor contenido de ceniza, pero la resistencia a la compresión se mantiene por encima del mínimo requerido hasta un 20% de sustitución. Así mismo, la mezcla con 10% de ceniza mostró el mejor desempeño, con un aumento del 27,21% en resistencia a la compresión, 11,50% en resistencia a la tracción y 46,62% en resistencia a la flexión, por otro lado, se observó una pérdida de peso del 8,44% y una reducción del 21,44% en la resistencia a la compresión, lo que destaca la necesidad de equilibrar resistencia y durabilidad en aplicaciones prácticas.

Según Singh & Patel [36], el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) como sustituto parcial del agregado fino en el concreto mejora su durabilidad y reduce el impacto ambiental de estos residuos. Los estudios experimentales han demostrado que una sustitución del 10% de SCBA optimiza la resistencia a la compresión y a la tracción, además de mejorar la resistencia al ataque de sulfatos y la absorción superficial inicial. La durabilidad del concreto se ve favorecida por la reducción en la permeabilidad y una mayor resistencia química, lo cual es fundamental en ambientes marinos. Asimismo, el análisis de inteligencia artificial y estadístico ha confirmado la viabilidad del SCBA en mezclas de concreto, evidenciando su potencial en aplicaciones estructurales. Estos resultados respaldan su utilización como alternativa sostenible, contribuyendo a la mitigación del calentamiento global y la gestión eficiente de residuos industriales.

Según nos indican Zaheer & Tabish [37], el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) como sustituto parcial del cemento Portland en el hormigón ha demostrado mejorar su durabilidad, siempre que se emplee un proceso de incineración controlado, con un reemplazo óptimo del 20% de SCBA favorece la resistencia mecánica y reduce la permeabilidad del hormigón, protegiéndolo de agentes agresivos en entornos marinos, así mismo, la microestructura resultante mejora la resistencia a la carbonatación y al ataque de sulfatos, prolongando la vida útil del material, por otro lado, persisten desafíos en su

aplicación estructural, ya que no se recomienda su uso en elementos de hormigón armado, se concluye que si bien existen discrepancias en algunos estudios, la mayoría coincide en que la incorporación de SCBA es una alternativa viable y sostenible para mejorar la durabilidad del hormigón en diversas aplicaciones.

Según nos indica Memon et al., [38], la utilización de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en el hormigón ha demostrado mejorar su durabilidad al disminuir la lixiviación y la incrustación causadas por agentes agresivos como el ácido sulfúrico y clorhídrico, haciendo un procesamiento adecuado, que incluye tamizado y molienda, incrementa su reactividad puzolánica, favoreciendo la formación de hidratos secundarios que densifican la microestructura del hormigón, así mismo, la incorporación de hasta un 30% de CBCA como sustituto del cemento mejora la resistencia a la compresión, alcanzando los 21 MPa en 28 días, cumpliendo con la normativa ACI 318-16, sin embargo, su inclusión reduce la densidad del hormigón, lo que podría afectar a ciertas aplicaciones estructurales, estos hallazgos resaltan el potencial de la CBCA como un material sostenible que contribuye a la durabilidad del hormigón en entornos agresivos, promoviendo el aprovechamiento de residuos agrícolas y reduciendo su impacto ambiental.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

4.1 DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se resalta el efecto positivo del uso de arcilla calcinada (AC) en la durabilidad del concreto en ambientes marinos, como indican Chavarría et al., [27], que sustituir hasta un 25% del agregado fino por AC mejora la resistencia mecánica sin comprometer la viabilidad estructural, así mismo, Córdoba et al., [28], destacan que la arcilla caolinítica calcinada presenta un mejor desempeño en durabilidad en comparación con la arcilla ílítica, la cual muestra mejoras con el tiempo, así pues, Castillo et al., [29], señalan que la finura del material influye más en la impermeabilidad del concreto que su actividad puzolánica, así mismo, Garcés et al., [32], concluyen que el hormigón con AC y caliza exhibe alta durabilidad, especialmente en ambientes con cloruros. por otro lado Strubny et al. [30], advierten que, si bien la AC mejora la resistencia a cloruros, disminuye la resistencia a la carbonatación y a los ciclos de congelación-descongelación, lo que limita su durabilidad ante ambientes agresivos, de igual manera, Akinpelu et al., [31], informan que la calcinación óptima de la arcilla a 800 °C y un reemplazo del 10% mejoran significativamente la resistencia mecánica, aunque porcentajes mayores siguen siendo favorables.

Por otro lado, los resultados destacan la influencia favorable de la ceniza de caña de azúcar (SCA) sobre la durabilidad del concreto en entornos agresivos. Así pues, Vivek & Jayaguru indican que la adición de nano sílice junto con SCA optimiza la resistencia y la durabilidad frente a cloruros y carbonatación, siendo la proporción ideal del 20% de SCA y 3% de NS. Krishna et al. reportan que un reemplazo del 10% de SCA ofrece el mejor desempeño mecánico, aunque niveles superiores podrían comprometer la durabilidad, así mismo, Singh & Patel [36], afirman que el SCA como sustituto del agregado fino reduce la permeabilidad y mejora la resistencia química en ambientes marinos, de igual manera, Zaheer & Tabish [37], concluyen que un reemplazo óptimo del 20% de SCA mejora la resistencia a sulfatos y carbonatación, si bien su aplicación en concreto armado sigue siendo limitada, además, Memon et al., [38], resaltan que la SCA procesada mejora su durabilidad al reducir la lixiviación y densifica la microestructura, mejorando la resistencia a agentes químicos, aunque disminuye la densidad del concreto, por otro lado, Khan et al., [33], señalan que la combinación de SCA y polvo de piedra mejora las propiedades mecánicas, aunque incrementa la absorción de agua, afectando su durabilidad.

4.2 CONCLUSIONES

Sobre la base de la amplia gama de revisiones de estudios previos realizados para investigar los efectos del uso de la arcilla calcinada y la ceniza de caña de azúcar sobre la durabilidad del concreto, se extraen las siguientes conclusiones:

- La incorporación de arcilla calcinada y la ceniza de caña de azúcar en el concreto mejora su resistencia mecánica y su durabilidad en entornos marinos, especialmente en presencia de cloruros, sin embargo, su efectividad depende del tipo de arcilla y las proporciones utilizadas de la ceniza de la caña de azúcar.
- Los porcentajes de utilización óptimos de la arcilla calcinada y la ceniza de caña de azúcar serían del 10% y 20% respectivamente, estos mejoran la resistencia del concreto y su comportamiento frente a ataques químicos en ambientes marinos.
- Tanto la arcilla calcinada como la ceniza de caña de azúcar presentan beneficios en la durabilidad del concreto favoreciendo su resistencia química y mecánica, la arcilla calcinada por su lado incrementa la resistencia en medios salinos, la ceniza de caña de azúcar reduce la permeabilidad y lixiviación de agentes agresivos.
- Ambos materiales representan soluciones sostenibles para la industria de la construcción, al reducir el impacto ambiental y aprovechar los subproductos industriales y agrícolas en la producción de concreto más durable.

V. REFERENCIAS

- [1] S. Zhang, J. Ding, C. Guo, C. Li y S. Wang, «Mechanical and microstructural properties of cemented marine dredged clay with pre-hydrated ground granulated blast furnace slag,» *Construction and Building Materials*, vol. 404, 2023.
- [2] G. Chennakesava Reddy y D. S. Chandra, «Influence of marine environment on durability and microstructural properties of fly ash-based geopolymer concrete,» *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 28, 2023.
- [3] F. Shamseldeen and D. Thanon, "Limestone powder, calcined clay and slag as quaternary blended cement used for green concrete production," *Journal of Building Engineering*, vol. 79, 2023.
- [4] H. Madhwani, D. Sathyan and K. Mini, "Study on durability and hardened state properties of sugarcane bagasse fiber reinforced foam concrete," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 4782-4787, 2021.
- [5] B. L. Pedraza Teves, «Evaluación del comportamiento físico mecánico de adobes artesanales con adición de hojas de palmera,» Repositorio Digital Institucional Universidad Cesar Vallejo, Cusco, 2021.
- [6] M. L. Santillan, «Divulgacion de ciencia - UNAM,» 07 12 2020. [En línea]. Available: <https://ciencia.unam.mx/leer/1069/concreto-reforzado-con-fibras-aporta-beneficios-a-la-construccion>.
- [7] J. N. Huayllapuma Huerta y S. S. Saldivar Astete, «Adición de las cenizas de bagazo de caña de azúcar en el comportamiento mecánico del concreto F´C=210kg/cm² en Abancay 2020,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2020.
- [8] C. Shi, J. Yin and C. Hu, "Microstructure, Hydration, and Chloride Binding Behavior of Limestone Calcined Clay Cement Prepared Using Seawater," *Technical Papers*, vol. 28, 2023.
- [9] W. Qiu, S. Xie, C. Wang, Y. Fang, F. Peng, S. Ding, Z. Nie, G. Zhao y T. Hou, «Application of calcined clay in cast-in-situ concrete for saline areas: the experimental study on degradation behavior,» *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, vol. 14, pp. 237-252, 2025.

- [10] A. R. Abdelfattah, A. Ragab, M. Elyamany y Y. S. Younis, «Innovative Utilization of Limestone Calcined Clay Cement from the Egyptian Desert: Enhancing the Physico-Mechanical Properties for Sustainable Construction,» *Civil Engineering and Architecture*, vol. 13, pp. 237-256, 2025.
- [11] D. E. Gamero Valencia, «Caracterización de los tipos de ceniza utilizados en concreto, mortero y adobe, Cajamarca 2020,» Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2021.
- [12] P. Kathirvel, G. Murali, S. Sreenath and A. Krishna, "Effect of Partial Replacement of Ground Granulated Blast Furnace Slag with Sugarcane Bagasse Ash as Source Material in the Production of Geopolymer Concrete," *Materials Science*, vol. 26, pp. 477-481, 2020.
- [13] F. Samosir, L. Hutabarat, C. Purnomo and S. Tampubolon, "The effect of bagasse fibers material with pumice as a partial substitution of coarse aggregate to increase compressive strength and tensile strength on lightweight concrete," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021.
- [14] C. E. Chero Sanchez, «Estudio comparativo de la influencia de la ceniza de bagazo de caña versus la fibra de bagazo de caña en mezclas de concreto en el distrito de Pucalá,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2022.
- [15] C. J. P. Salinas Diaz, «Influencia de la adición de fibra de coco en la resistencia a la compresión del concreto f'c 210 kg/cm²,» Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2022.
- [16] A. Sharba, J. Al-Kaabi y S. Al-Taai, «The feasibility of improving concrete strength properties by adding wast wood chips,» *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 21, nº 2, pp. 462-469, 2023.
- [17] D. G. Yagual Vera y D. W. Villacis Apolinario, «Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida,» Tesis de Pregrado - Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, 2015.
- [18] L. Gutierrez de Lopez, *El concreto y otros materiales para la construcción*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [19] V. H. Aliaga Cordova, «Evaluacion tecnica de la mezcla de concreto con PET reciclable, para la produccion de ladrillo de concreto compuesto en la construccion,» Tesis de Pregrado - Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, 2017.

- [20] P. Kumar Mehta y P. J.M. Monteiro, *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*, Berkeley: Universidad de California, 1985.
- [21] J. Ticlla Rivera, *Tecnología del Concreto - Diseño de mezclas del concreto*, Universidad Continental, 2018.
- [22] L. Alcivar, «Concreto de alto rendimiento con inclusion de arcilla,» 2019.
- [23] E. Alonso, «Geotecnia de la arcilla cocida en altos hornos,» 2021.
- [24] E. Lagos-Burbano y E. Castro-Rincón, «Sugar cane and by-products of the sugar agro-industry in ruminant feeding: A review,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 30, nº 3, pp. 917-934, 2019.
- [25] D. Resano, O. W. Guillen, F. D. Ubillús y J. L. Barranzuela, «Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción,» *Información tecnológica*, vol. 33, pp. 247-258, 2022.
- [26] M. Millones-Chapoñan, S. P. Muñoz-Pérez y C. D. Villanueva-Meza, «a Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar Como Aditivo Estabilizador en Suelos Arcillosos con Fines de Pavimentación: Una Revisión Literaria,» *Ingeniería y competitividad*, vol. 25, 2023.
- [27] L. J. Chavarria Reyes, C. M. Chavarry Vallejos, A. Valencia y E. Pereyra Salardi, «Arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural,» *APORTE SANTIAGUINO*, 2021.
- [28] G. Cordova, S. Zito, R. Sposito y V. Rahhal, «Durabilidad de hormigones con arcillas calcinadas: comparación entre illita y caolinita de bajo grado,» de *IX Congreso Internacional y 23ª Reunión Técnica*, 2020.
- [29] R. Castillo Lara, M. Antoni, A. Alujas Diaz, K. Scrivener y J. F. Martirena Hernandez, «Estudio de la adición de arcillas calcinadas en la durabilidad de hormigones,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 26, pp. 25-40, 2011.
- [30] B. Strubny, T. Schack, J. Link y M. Haist, «Calcined Clays as Concrete Additive in Structural Concrete: Workability, Mechanical Properties, Durability, and Sustainability Performance,» *Materials*, vol. 17, 2024.
- [31] M. Akinpelu, A.-S. M. Salman, Y. A. Jimoh, I. T. Yahaya y H. M. Salami, «Impact of treatment temperature of metakaolin on strength and sulfate resistance of concrete,» *Research on Engineering Structures and Materials*, vol. 10, pp. 1261-1279, 2024.

- [32] J. F. Garces-Vargas, Y. Díaz-Cardenas y J. F. Martirena Hernandez, «Evaluation of the Durability of Concrete with the Use of Calcined Clays and Limestone in Salinas, Ecuador,» *Minerals*, vol. 14, 2024.
- [33] M. A. Khan, B. Zhang, M. Ahmad, M. Niekurzak, M. S. Khan, M. M. Sabri Sabri y W. Chen, «Optimizing concrete sustainability with bagasse ash and stone dust and its impact on mechanical properties and durability,» *Scientific reports*, vol. 15, p. 1385, 2025.
- [34] D. Vivek y C. Jayaguru, «Assessing the impact of sugar cane bagasse ash and nano silica on mechanical and durability properties of concrete,» *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2025.
- [35] Y. M. Krishna, P. Dhevasenaa, G. Srinivasan y C. N. Satish kumar, «Sugarcane bagasse ash as a partial replacement in concrete: a performance analysis,» *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 9, 2024.
- [36] R. Singh y M. Patel, «Experimental and machine learning approaches to investigate the application of sugarcane bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate for concrete production,» *Journal of Building Engineering*, vol. 76, 2023.
- [37] M. M. Zaheer y M. Tabish, «The Durability of Concrete Made Up of Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) as a Partial Replacement of Cement: A Review,» *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 48, pp. 4195-4225, 2023.
- [38] S. A. Memon, U. Javed, M. I. Shah y A. Hanif, «Use of Processed Sugarcane Bagasse Ash in Concrete as Partial Replacement of Cement: Mechanical and Durability Properties,» *Buildings*, vol. 12, 2022.
- [39] T. E. Harmsen, *Diseño de estructuras de concreto armado*, Lima: Fondo Editorial PUCP, 2002.
- [40] K. A. Masias Mogollon, «Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso,» Universidad de Piura, Piura, 2018.
- [41] E.060, «Concreto Armado,» de *Norma Técnica de Edificación*, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009.
- [42] NTP 400.037, «AGREGADOS,» de *Agregados para concreto. Requisitos*, Lima, INACAL, 2018.
- [43] NTP 400.021, «AGREGADOS,» de *Metodo de ensayo normalizado para peso especifico y absorcion del agregado grueso*, Lima, INDECOPI, 2002.

- [44] NTP 339.184, «CONCRETO,» de *Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo*, Lima, INACAL, 2021.
- [45] M. A. Ayacila Tineo, «Evaluación de la influencia del agregado reciclado en la resistencia a la compresión del concreto para ser usado en elementos no estructurales,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2020.
- [46] J. Carrillo, J. Cardenas Pulido y W. Aperador, «Propiedades mecánicas a flexión del concreto reforzado con fibras de acero bajo ambientes corrosivos,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 32, nº 2, pp. 59-72, 2017.
- [47] D. Delgado, J. Morales y F. Peralta, «Determinación del módulo elástico del concreto hidráulico a la edad de 14 días, para un $f'c = 150 \text{ kg / cm}^2$, $f'c = 200 \text{ kg / cm}^2$, $f'c = 250 \text{ kg / cm}^2$ y $f'c = 300 \text{ kg / cm}^2$. Con agregados petreos del Municipio de Técpan de Galeana, Guerrero,» *Revista de Ingeniería civil*, vol. 2, nº 4, pp. 8-15, 2018.
- [48] R. C. Castillo Velarde, «Uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar para la estabilización de base en la carretera Santiago de Cao – Huanchaco, 2021,» Universidad Ricardo Palma, Trujillo, 2022.
- [49] R. Carmelo Muñoz, «Propiedades Físicas Y Durabilidad De Morteros Aligerados Con Arcilla Y Agregados Con Aridos Reciclados,» Tesis Postgrado - Universidad de Burgos, Burgos, 2015.
- [50] D. R. Martinez Pineda, «Concreto liviano estructural con arcilla expandida termicamente extraída de canteras localizadas en el sur de La Sabana de Bogota,» Tesis de Postgrado - Universidad Nacional de Colombia, Bogota D.C., 2010.
- [51] M. B. Obregon Bonifacio y A. L. Osorio Villazana, «Influencia de la arcilla expandida en el diseño de mezcla de concreto liviano de alto rendimiento en el distrito de Lircay – Angaraes - Huancavelica,» Tesis de Pregrado - Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, 2021.
- [52] P. Fernandez Garcia, G. Vallejo Seco, P. E. Livaric Rojas y E. Tuero Herrero, «Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales,» *Anales de Psicología*, vol. 30, nº 2, pp. 756-771, 2014.
- [53] G. A. Quispe Vilchez y J. C. Vera Vera, «Evaluación del concreto con

arcilla como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano,» Tesis de Pregado - Universidad de San Martín de Porres, Lima, 2018.

- [54] C. Ganesh, H. Prasad Raju, J. R. Prasad y M. Mukilan, «Effect of granite waste in slag-based geopolymer activated by RHA derivative,» *Innovative Infrastructure Solutions*, 2023.
- [55] K. Mariano Corne, «Comparación de las resistencias a compresión y flexión del concreto adicionado con las cenizas de bagazo de caña de azúcar con el concreto normal $f'c = 210\text{kg/cm}^2$,» Tesis de Pregrado - Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huanuco, 2019.
- [56] R. S. Coronel Camino, «Uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como reemplazo puzolánico porcentual en la fabricación de concreto estructural,» Tesis de Pregrado - Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2020.
- [57] L. Sembrera Murga, «Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del concreto con sustitución de cenizas de bagazo de caña,» Tesis de Pregrado - Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2022.
- [58] J. W. Suarez Peche, «Evaluación de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto Adicionado con Cenizas de Bagazo de Caña de Azúcar,» Tesis de Pregrado - Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2023.