

Propuesta del uso de cabello contaminado con petróleo como fibra alternativa del concreto

Proposal for the use of oil-contaminated hair as an alternative fiber for concrete

Jorgelen de V. Figueroa-Salcedo

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0009-0005-1781-3176> | [Correo electrónico: jorgelen2003@gmail.com](mailto:jorgelen2003@gmail.com)

Recibido: 12-07-2024 Admitido: 21-07-2024 Aprobado: 01-08-2024

Resumen

El Lago de Maracaibo enfrenta una grave crisis de contaminación por petróleo, afectando la biodiversidad y la economía local. El Proyecto Sirena utiliza cápsulas de cabello humano para absorber el petróleo, pero su disposición final es problemática. Esta investigación propone usar cabello contaminado como fibra reforzante en concreto, mejorando sus propiedades mecánicas y ofreciendo una solución sostenible a la contaminación. Se evaluarán las propiedades físicas y químicas del concreto con cabello, comparándolo con fibras tradicionales, y se analizará la viabilidad ambiental de esta práctica, buscando reducir residuos peligrosos y promover materiales de construcción más sostenibles.

Palabras clave: Contaminación con petróleo, cabello, fibra reforzante de concreto.

Abstract

Lake Maracaibo faces a serious oil pollution crisis, affecting biodiversity and the local economy. Project Sirena uses human hair capsules to absorb the oil, but their final disposal is problematic. This research proposes using contaminated hair as a reinforcing fiber specifically, improving its mechanical properties and offering a sustainable solution to contamination. The physical and chemical properties of concrete with hair will be evaluated, comparing it with traditional fibers, and the environmental viability of this practice will be analyzed, seeking to reduce hazardous waste and promote more sustainable construction materials.

Keywords: Oil contamination, hair, concrete reinforcing fiber.

Planteamiento del problema

El Lago de Maracaibo, uno de los cuerpos de agua más grandes y antiguos del mundo, enfrenta una grave crisis de contaminación por petróleo. La explotación petrolera, el mantenimiento deficiente de la infraestructura y la falta de plantas de tratamiento de residuos han llevado a una acumulación significativa de petróleo en sus aguas. Según Yohan Flores, director de la Fundación Azul Ambientalista, “entre 300 y 1000 barriles de crudo se derraman diariamente en el lago, afectando principalmente la pesca y la biodiversidad local” [1, Párr.5]. Además, según investigaciones científicas, grupos ambientalistas y defensores de los derechos humanos, se registraron entre 40.000 y 50.000 fugas de petróleo en toda Venezuela, incluyendo el Lago de Maracaibo, entre 2010 y 2016, mostrando la magnitud del problema [2].

Esta situación ha tenido efectos devastadores en la vida acuática, la salud de las comunidades locales y el ecosistema en general. Los derrames continuos han resultado en una disminución significativa de la pesca, impactando económicamente a las comunidades que dependen de esta actividad [3].

Para abordar esta crisis, el Proyecto Sirena ha implementado una solución innovadora utilizando cápsulas de cabello humano para absorber el petróleo [4]. Este método se basa en la capacidad del cabello para adsorber grandes cantidades de petróleo y ha demostrado ser eficaz en estudios y aplicaciones previas. Sin embargo, una vez que estas cápsulas se saturan de petróleo, no hay un plan claro para su disposición final, lo que plantea un nuevo riesgo de contaminación del suelo y del aire.

Paralelamente, la industria de la construcción busca constantemente materiales sostenibles y alternativos para mejorar las propiedades del concreto. El uso de fibras naturales como el cabello humano, ha mostrado

potencial en estudios preliminares debido a la resistencia y flexibilidad que la queratina del cabello puede aportar al material.

Esta investigación se centra en evaluar la viabilidad del uso de cabello contaminado con petróleo como fibra reforzante en concreto, así como los posibles impactos ambientales y de salud pública asociados con esta práctica. De lo anterior se plantea la siguiente interrogante de investigación: ¿Puede esta solución proporcionar un método sostenible y efectivo para el manejo de residuos de cabello contaminado?

Justificación de la investigación

El Lago de Maracaibo es una fuente vital de biodiversidad y recursos para las comunidades locales, pero enfrenta una crisis severa de contaminación por petróleo. Esta situación ha deteriorado gravemente el ecosistema del lago, poniendo en riesgo la fauna, flora y la subsistencia de las personas que dependen de la pesca y otras actividades económicas relacionadas. Aunque la calidad del agua se evalúa a través del Decreto 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos” [5], estudios han mostrado concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (THP) mayores a los permitidos, evidenciando la contaminación [6].

En el ámbito de la construcción, uno de los principales problemas del concreto es la generación de grietas, que pueden llevar a fallas estructurales significativas. Diversos aditivos como las fibras sintéticas de polipropileno, han surgido para reducir estas grietas, mejorar la resistencia al impacto, incrementar la resistencia a la fatiga, minimizar los efectos de contracción plástica y aumentar la vida útil del concreto. Sin embargo, al ser materiales plásticos derivados del petróleo, contribuyen al consumo masivo de este recurso [7].

La investigación propone reciclar el cabello contaminado con petróleo como una fibra reforzante en concreto, ofreciendo una solución dual: mitigación de la contaminación y mejora de materiales de construcción. Este enfoque puede reducir significativamente la carga ambiental al disminuir los desechos peligrosos y proporcionar una alternativa sostenible a las fibras sintéticas. La integración de fibras de cabello en el concreto aborda el problema de la contaminación por petróleo y promueve prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

Al mejorar las propiedades mecánicas del concreto, esta solución permite la producción de estructuras más seguras y duraderas, reduciendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento frecuentes, con implicaciones económicas positivas a largo plazo. Esta investigación no solo ofrece una solución innovadora y sostenible a la contaminación por petróleo, sino que también abre nuevas vías para la reutilización de residuos en la industria de la construcción. Al hacerlo, busca mejorar la calidad ambiental, fortalecer la economía local y avanzar en el desarrollo de materiales de construcción más eficientes y duraderos.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Proponer el uso de cabello humano contaminado con petróleo como fibra reforzante en concreto.

Objetivos Específicos

Caracterizar de las emisiones de petróleo al Lago de Maracaibo provenientes de derrames en la industria petrolera del Zulia.

Evaluar las propiedades físicas y químicas del concreto con cabello humano.

Comparar la resistencia del cabello humano como fibra con las propiedades del concreto reforzado con fibras tradicionales.

Analizar la viabilidad ambiental del uso de cabello contaminado con petróleo, como alternativa sostenible en la industria de la construcción.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se empleó una investigación de tipo proyectiva, la cual se enfoca en la formulación de propuestas concretas para resolver problemas específicos. Según Sampieri, Collado y Lucio [8], la investigación proyectiva se caracteriza por el desarrollo de soluciones aplicables a situaciones reales, basadas en un análisis riguroso y sistemático de la información disponible.

Fase I: Caracterización de las emisiones de petróleo al Lago de Maracaibo provenientes de derrames en la industria petrolera del Zulia

Se recopilarán informes de derrames de petróleo de las principales empresas petroleras de la región, así como datos de monitoreo ambiental del Lago de Maracaibo.

Según el Observatorio de Ecología Política de Venezuela, se documentaron al menos 86 derrames petroleros en el país en 2023, con el estado Zulia registrando el mayor número de incidentes (40 casos) [3]. Esta contaminación continua ha resultado en la presencia de manchas de petróleo que abarcan más de 30 kilómetros entre los municipios de Maracaibo [9].

En 2023, González [6] realizó un artículo de los análisis sobre las diferentes propiedades físico-químicas de las aguas del Lago de Maracaibo, permitiendo identificar los principales contaminantes que en él se presentan, así como las posibles fuentes que dan lugar a esa contaminación.

Principales contaminantes	
Residuos	Fuente
Petroleros	Ocasionados por derrames debidos a fracturas en las tuberías y en las actividades de extracción y transporte de crudo.
Petroquímicos	Los cuales se generan en el área de El Tablazo, muchos de ellos de tipo eutroficantes o de acción tóxica y persistente, como fenoles, mercurio, compuestos fosfatados y nitrogenados.
Orgánicos y Fertilizantes	Acarreados por los ríos y drenajes pluviales de las áreas agropecuarias de la región sur del lago.
Líquidos y Sólidos Industriales	Descargas directas al lago, provenientes de industrias localizadas en los márgenes y de otras que drenan sus residuos en los ríos de la hoya hidrográfica del lago.

Figura 1. Principales tipos de contaminantes y fuentes emisoras [6]

Los resultados de la investigación mostraron concentraciones de THP y fenoles mayores a los permitidos, evidenciando la contaminación por hidrocarburos. Así mismo, se demostró que las concentraciones de sólidos disueltos fueron excedidas. A pesar de no poder realizar una comparación con valores de concentración permisible debido a que la legislación venezolana vigente, ya que ésta no establece esos límites de metales pesados en sedimentos para su disposición abierta en aguas costeras y marinas, los resultados evidenciaron concentraciones de metales pesados de $As > V > Pb > Cr$, lo cual corrobora la contaminación por hidrocarburos.

En referencia a los demás parámetros evaluados, se mantuvieron por debajo de los límites permisibles del Decreto 883. En cuanto a los metales presentes en el agua, se observaron valores de concentraciones de Ba, B, Cr, Fe, Cd, Pb y Zn por debajo de los niveles permisibles por el Decreto 883[10].

Fase II: Evaluación de las propiedades físicas y químicas del concreto con cabello humano

- A partir de experimentos de literaturas consultadas, se tomarán los resultados de la incorporación de diferentes proporciones de cabello humano en la mezcla de concreto.

- Analizar las pruebas de resistencia a la compresión, tracción y flexión en muestras de concreto con cabello humano.

La investigación realizada por Barreto & Trujillo [11] se centró en evaluar el efecto de la incorporación de fibras de cabello humano en diferentes proporciones (5%,10% y 15%) sobre la resistencia a compresión del concreto con un diseño de $f'c=175\text{kg/cm}^2$. El objetivo principal de este estudio fue determinar si la adición de fibras de cabello humano mejora las propiedades mecánicas del concreto, específicamente su resistencia a la compresión. Para ello, se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días en muestras de concreto con y sin la adición de estas fibras.

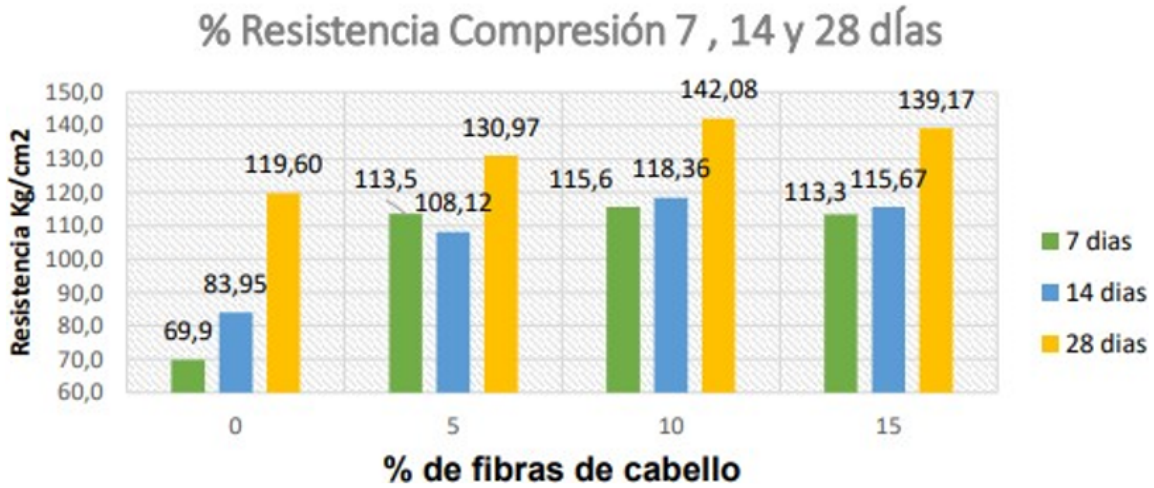


Figura 2. Equiparación de las resistencias a compresión del concreto patrón y experimentales [11].

Los resultados de la investigación mostraron que la incorporación de un 10% de cabello humano, en relación con el peso del cemento, mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto, alcanzando un $f'c$ de 175 kg/cm^2 . Este incremento se observa tanto a los 7, 14, como a los 28 días de curado, comparado con el concreto sin adición de fibras. Además, la maleabilidad del concreto no se ve afectada de manera considerable, lo que sugiere que el cabello humano puede ser una alternativa viable y económica, para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, aprovechando un material reciclable y abundante.

A su vez, Duarte-Montes de Oca et al. [12], realizaron una investigación sobre el uso de fibras de cabello humano en concreto tradicional, revelando resultados mixtos.

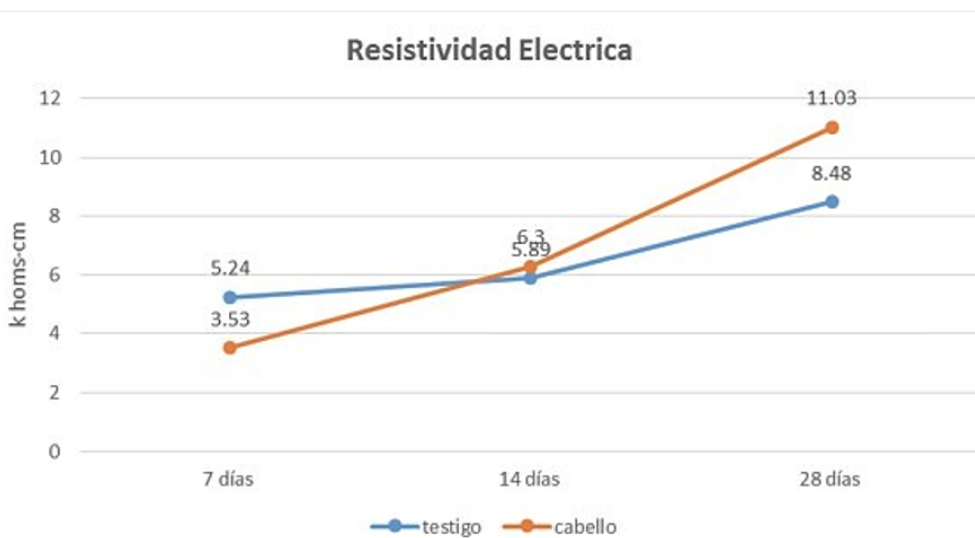


Figura 2. Resultados de resistividad eléctrica de las vigas analizadas a diferentes edades.

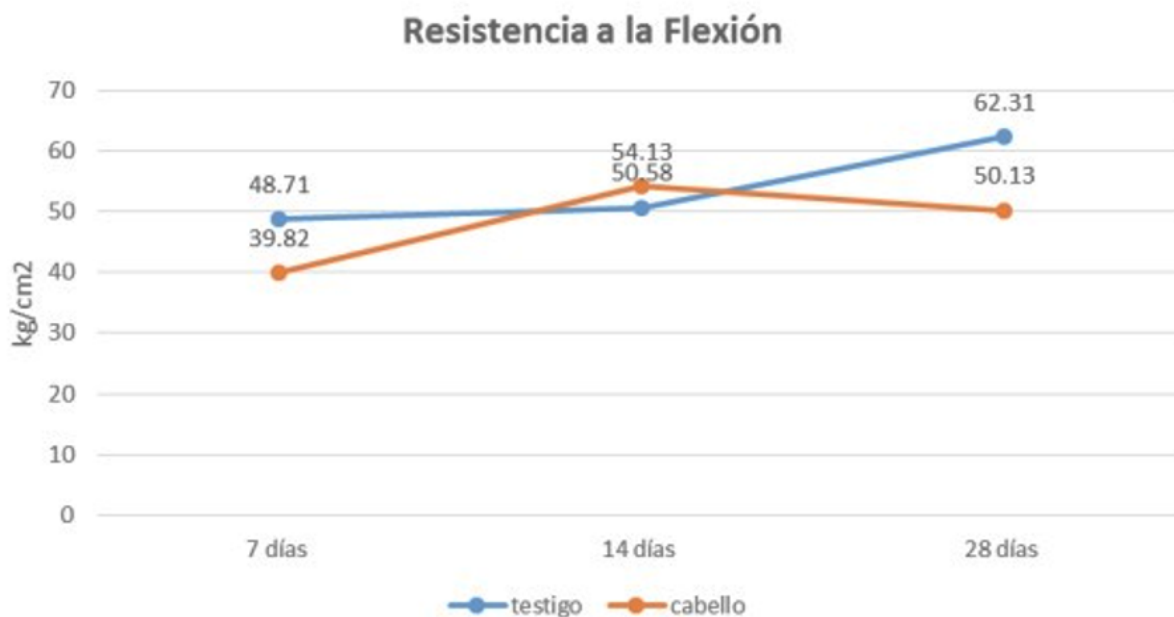


Figura 3. Resultados de la resistencia a la flexión[12].

Como resultado se observa, en términos de resistividad eléctrica, que los especímenes con cabello humano mostraron una resistividad baja, indicando un riesgo de corrosión, lo que es desfavorable para la durabilidad del concreto. La velocidad de pulso ultrasónico indicó que la calidad del concreto con cabello humano se clasificó como “buena”, aunque no alcanzó la categoría de “excelente”. En términos de resistencia a la flexión, el concreto con cabello humano mostró una mejora inicial en la capacidad de deformación, aunque esta ventaja disminuyó con el tiempo, resultando en una resistencia aproximadamente un 10% menor en edades tardías.

En resumen, aunque el cabello humano aporta cierta elasticidad y cohesión, posee ciertas limitaciones en la resistividad eléctrica y, por ende, en la durabilidad del concreto. Por lo tanto, su utilidad es limitada y debe considerarse con precaución en aplicaciones donde la resistividad eléctrica y la durabilidad a largo plazo son considerables.

Fase III: Comparación de la resistencia del cabello humano como fibra con las propiedades del concreto reforzado con fibras tradicionales

Se estudiará la eficacia y viabilidad del uso del cabello contaminado en comparación con fibras tradicionales (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de los parámetros obtenidos en concreto reforzado con fibras de cabello

Variable	Barreto & Trujillo (2021)	Montes de Oca, et al (2019)	Fibras tradicionales
Resistencia a la compresión	La adición de un 10% de fibras de cabello humano respecto al peso del cemento ha mostrado un aumento significativo en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.	El concreto con adición de cabello humano mostró una resistencia a la compresión ligeramente inferior al concreto sin adición de fibras.	Las fibras de vidrio y acero son conocidas por mejorar significativamente la resistencia a la compresión del concreto. Las fibras de acero, en particular, proporcionan una alta resistencia a la compresión debido a su alta rigidez y resistencia.
Resistencia a la tracción y flexión	La adición de hasta un 2% de fibras de cabello humano ha mostrado incrementos en la resistencia a la tracción dividida y flexión.	En pruebas de flexión, el concreto con cabello humano presentó una resistencia inicial similar al concreto sin fibras, pero a edades más avanzadas, la resistencia cayó aproximadamente un 10%.	Las fibras de vidrio proporcionan una excelente resistencia a la tracción, mientras que las fibras de acero mejoran tanto la resistencia a la tracción como la flexión debido a su alta resistencia y ductilidad. Las fibras de vidrio ayudan a reducir el agrietamiento por contracción plástica y mejoran la durabilidad del concreto. Las fibras de acero son efectivas en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia al impacto y a la fatiga.
Durabilidad	La durabilidad del concreto reforzado con fibras de cabello humano puede ser una preocupación debido a la naturaleza orgánica del cabello. Aunque mejora la resistencia a la formación y propagación de grietas, la baja resistividad eléctrica sugiere un alto riesgo de corrosión.		Las fibras de vidrio y acero son conocidas por su durabilidad y resistencia a la corrosión (vidrio) y a la oxidación (acero), proporcionando una mejora significativa en la durabilidad del concreto, especialmente en ambientes agresivos.
Sostenibilidad y costo	Es un material de desecho abundante y de bajo costo, lo que lo hace una opción económica para reforzar el concreto. Además, su uso contribuye a la reducción de residuos y a la sostenibilidad ambiental.		Las fibras de vidrio y acero pueden ser más costosas en comparación con el cabello humano. Sin embargo, su disponibilidad y propiedades mecánicas superiores pueden justificar el costo adicional en aplicaciones donde se requiere un alto rendimiento.

El uso de fibras de cabello humano en el concreto muestra ventajas en términos de costo y sostenibilidad, y puede mejorar ciertas propiedades mecánicas y la resistencia a la formación de grietas. No obstante, la durabilidad y resistencia a la corrosión son preocupaciones significativas que limitan su viabilidad en aplicaciones estructurales exigentes. Por otro lado, las fibras tradicionales como las de vidrio y acero ofrecen mejoras superiores en la resistencia a la tracción, flexión y durabilidad del concreto, aunque a un costo mayor.

Fase IV: Análisis de la viabilidad ambiental del uso del cabello contaminado con petróleo como alternativa sostenible en la industria de la construcción

Se desarrollarán recomendaciones y directrices para la implementación del uso de cabello contaminado en la industria de la construcción, destacando beneficios ambientales y económicos.

Diversos estudios han confirmado que la inclusión de fibras naturales, como el cabello humano, en la mezcla de concreto aumenta su resistencia y flexibilidad. Smith et al.[13] demostraron que el concreto

reforzado con cabello humano tiene una resistencia a la tracción mejorada en un 15% y una mayor capacidad para absorber energía antes de fracturarse, en comparación con el concreto tradicional.

Aunque los resultados preliminares son prometedores, es crucial realizar un análisis más riguroso para asegurar que el petróleo residual en el cabello no comprometa las propiedades del concreto a largo plazo. Se recomienda llevar a cabo las siguientes evaluaciones:

- **Análisis químico del concreto contaminado:** Investigar cómo los compuestos de petróleo residual afectan la química del concreto.
- **Pruebas de durabilidad a largo plazo:** Evaluar la durabilidad del concreto reforzado con cabello contaminado bajo condiciones ambientales extremas.
- **Estudios de impacto ambiental:** Analizar el impacto ambiental del uso de cabello contaminado en concreto.
- **Evaluación de seguridad y salud:** Examinar los posibles riesgos para la salud pública asociados con la manipulación del concreto que contiene petróleo residual.

Resultados esperados

La utilización de cabello contaminado con petróleo como fibra en concreto presenta una solución innovadora y sostenible para abordar simultáneamente la contaminación por petróleo y la búsqueda de materiales ecológicos en la construcción. Este enfoque no solo gestiona eficazmente los residuos de petróleo, sino que también promueve prácticas sostenibles en la industria, generando beneficios ambientales y económicos para las comunidades afectadas por la contaminación del Lago de Maracaibo. Los estudios demuestran que el cabello humano mejora la resistencia y durabilidad del concreto; sin embargo, es crucial realizar análisis exhaustivos para asegurar que el petróleo residual no comprometa las propiedades del concreto a largo plazo. Para garantizar el éxito de esta propuesta, se recomienda llevar a cabo investigaciones detalladas, establecer colaboraciones con instituciones académicas y organizaciones ambientales, generar oportunidades de empleo en la recolección y tratamiento del cabello, y fomentar prácticas sostenibles en la construcción, contribuyendo así a un futuro más resiliente y sostenible.

Referencias bibliográficas

[1] Y. Flores, “Entrevista con Efecto Cocuyo sobre derrames en el Lago de Maracaibo”, *Efecto Cocuyo*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://efectococuyo.com/cambio-climatico/mil-barriles-de-petroleo-se-derraman-a-diario-en-el-lago-de-maracaibo/>

[2] NASA, “Aguas turbulentas”, *NASA Earth Observatory*, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/>

[3] “Reporte Especial: Balance de derrames petroleros 2023”, Observatorio de Ecología Política de Venezuela, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://ecopoliticavenezuela.org/2024/01/08/reporte-especial-balance-de-derrames-petroleros-2023/>

[4] “Proyecto Sirena y el estado del Lago de Maracaibo”, *Tal Cual*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://talcualdigital.com/proyecto-sirena-recolecta-pelo-humano-y-de-mascotas-para-salvar-el-lago-de-maracaibo/>

[5] *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Gaceta Oficial Nro. 5.021 Extraordinario. Decreto 883.* República Bolivariana de Venezuela, fecha 18 de diciembre de 1995.

[6] A. González, “¿LAGO DE MARACAIBO, EL DE LAS AGUAS DE SEDA! Un 24 de agosto es avistado y descubierto el ‘Coquivacoa’ || Aquí está su historia (Fotos+Gráficos)”, *Noticialminuto*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://noticialminuto.com/lago-de-maracaibo-el-de-las-aguas-de-seda-un-24-de-agosto-es-avistado-y-descubierto-el-coquivacoa-aqui-esta-su-historia-fotosgraficos/>

[7] E. Duarte-Montes de Oca, C. Ríos-Reyes, y A. Reyes-Camacho, “Uso de fibras sintéticas de polipropileno en el concreto”, *Rev. de Materiales de Construcción*, vol. 69, no. 1, pp. 45-57. 2019.

[8] R. H. Sampieri, C. F. Collado, y M. P. B. Lucio, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education, 2014.

[9] “En Venezuela hubo 86 derrames petroleros en 2023, según un observatorio ecológico autónomo”, *Efecto Cocuyo*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://efectococuyo.com/la-humanidad/en-venezuela-hubo-86-derrames-petroleros-en-2023-segun-un-observatorio-ecologico-autonomo/>

[10] J. Marcovecchio, y R. Freije, “Concentration of heavy metals in the sediments of Lake Maracaibo”, *Journal of Environmental Science*, vol. 22, no. 4, pp. 789-801, 2013.

[11] C. M. Quito Barreto, y D. W. Trujillo Baltazar, “Evaluación de la adición de fibras de cabello humano en la resistencia a compresión de concreto $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$ ”, Tesis de fin de grado. Univ. César Vallejo., Huaraz, Perú, 2021.

[12] J. Duarte-Montes de Oca, et al., “Análisis del comportamiento mecánico de un concreto tradicional con adición de fibra de cabello humano”, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 2019.

[13] A. Smith, M. Johnson, y R. Lee, “Improved tensile strength in concrete in forced with human hair fibers”, *Construction and Building Materials*, vol. 240, pp. 117930. 2020.